Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki
Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

Komitet Techniki Rolniczej PAN

Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej

Współczesna inżynieria rolnicza - badania i zastosowania

MONOGRAFIA

pod redakcją

Tadeusza Juliszewskiego

Sławomira Kurpaski

Kraków 2011

Recenzenci:
Prof. dr hab. inż. Kazimierz Dreszer – UP Lublin
Prof. dr hab. inż. Jerzy Dąbkowski – PK Kraków

Redakcja naukowa:
Prof. dr hab. inż. Tadeusz Juliszewski
Prof. dr hab. inż. Sławomir Kurpaska

© Copyright by Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Kraków 2011
ISBN 978-83-930818-1-3

Opracowanie redakcyjne:
Dr Stanisława Roczkowska-Chmaj,
Dr inż. Maciej Kuboń

Wydanie I
Druk i oprawa:
DRUKROL S. C., Kraków, al. 29 Listopada 46
tel./fax (12) 412 46 50
e-mail: drukarnia.drukrol.pl
www.drukrol.pl
Ark. wyd.: 29,4 ; ark. druk.: 26

Nakład: 500 egz.

Spis treści:

Tadeusz Juliszewski: Przedmowa 5

Sławomir Kurpaska: Rudolf Michałek – naukowiec, dydaktyk i organizator nauki... 7

Rudolf Michałek: Inżynieria rolnicza w uniwersytecie przyszłości 13

Andrzej Chochowski: Promieniowanie słoneczne jako sygnał wymuszający w badaniach diagnostycznych słonecznych instalacji grzewczych 27

Bogusław Cieślikowski: Uwarunkowania techniczne stosowania FAME w eksploatacji pojazdów rolniczych 39

Jan Bronisław Dawidowski, Tomasz Dobek, Jan Jurga: Rolnictwo precyzyjne 65

Ján Frančák, Maroš Korenko: Storing of potatoes in Slovakia and its impact on the quality and amount of loss 87

Janusz Haman: Dlaczego należy uznać rolnictwo jako temat wiodący – zadania dla nauki 97

Ryszard Hołownicki, Grzegorz Doruchowski: Technika opryskiwania upraw polowych i sadowniczych – współczesne problemy i aktualne kierunki 101

Józef Horabik, Grzegorz Józefaciuk: Agrofizyka i inżynieria rolnicza w rozwiązywaniu problemów współczesnego rolnictwa 133

Tadeusz Juliszewski: Inżynieria rolnicza z perspektywy CIGR i CIOSTA 143

Adan Krzysztofiak: Problem optymalizacji typoszeregu ciągnikowych przyczep technologicznych 157

Leon Kukiełka, Krzysztof Kukiełka, Radosław Patyk, Katarzyna Szczepanik: Nowoczesna metodyka modelowania i analizy numerycznej zjawisk fizycznych podczas nagniatania tocznego jako operacji wykończeniowej w procesie regeneracji części maszyn rolniczych 167

Janusz Laskowski, Stanisław Skonecki: Znaczenie właściwości fizycznych surowców roślinnych w procesie granulowania 193

Aleksander Lisowski: Biomasa jako źródło energii odnawialnej 203

Andrzej Myczko: Energetyzacja rolnictwa z uwzględnieniem odnawialnych źródeł energii 217

Jan Pabis: Zintegrowane systemy energetyczne w rolnictwie 253

ks. Kazimierz Panuś: Troska o uniwersalne spojrzenie. Problemy filozoficzno-teologiczne w ogólnopolskich konferencjach naukowych prof. Rudolfa Michałka 265

Tadeusz Rawa, Zdzisław Kaliniewicz: Metoda wyznaczania parametrów procesu czyszczenia nasion gryki za pomocą sit i specjalnych tryjerów 285

Jan Szczepaniak: Metody i techniki komputerowe wspomagające proces projektowania i wytwarzania maszyn rolniczych 299

Aleksander Szeptycki: Postęp techniczny w uprawie roślin okopowych 313
Józef Szlachta: Inżynieria w produkcji zwierzęcej – rozwój – zastosowanie praktyczne 325
Marek Tukiendorf: Technika wytwarzania mieszanek paszowych 341
Ewa Wachowicz: Innowacyjne algorytmy sterowania mikroklimatem w przechowalniach płodów rolnych wykorzystujące modele procesów 353
Jerzy Weres: Technologie informacyjne w rolnictwie 375
Zdzisław Wójcicki: Organizacja produkcji w rolniczych przedsiębiorstwach rodzinnych 393
Piotr Zalewski: 60 lat akademickich podręczników maszynoznawstwa rolniczego w Krakowie 411

PRZEDMOWA

Inżynieria Rolnicza jako dyscyplina naukowa i kierunek kształcenia zmienia się, jak cała współczesna nauka. Zmiany te wynikają przede wszystkim z postępu naukowo-technicznego i organizacyjnego – bezprecedensowego w minionych kilkudziesięciu latach. Projektowanie, konstruowanie i eksploatowanie urządzeń technicznych, stosowanych w technologiach produkcji i przetwarzania surowców pochodzenia biologicznego, wymaga od współczesnych agroinżynierów – naukowców i praktyków – nowych, bardziej wszechstronnych kompetencji zawodowych.

W zmianach jakie zachodziły i zachodzą w inżynierii rolniczej, uczestniczył – i uczestniczy nadal – Pan Profesor Rudolf Michałek, członek rzeczywisty Polskiej Akademii Nauk i doktor honoris causa multi. Jego wszechstronna działalność naukowa, organizacyjna, dydaktyczna i redakcyjna przyczyniła się do rozwoju inżynierii rolniczej w ogóle, jak również w każdym z ośrodków naukowych w Polsce oddzielnie. W każdym z tych ośrodków są osoby, których rozwój i awans naukowy był bądź to inspirowany, bądź życzliwie wspierany przez Pana Profesora. Doprawdy nie ma drugiej takiej osoby w naszym naukowym środowisku inżynierii rolniczej, której moglibyśmy zawdzięczać tak wiele.

Monografia, którą Czytelnik ma właśnie w rękach, zawiera omówienie współczesnych problemów inżynierii rolniczej. Została napisana przez przyjaciół, kolegów i współpracowników Pana Profesora Rudolfa Michałka w chwili, gdy w pełni sił twórczych, przechodzi – bo tak mówią przepisy prawa – na emeryturę. Chcemy wierzyć, że Pan Profesor znajdzie w niej fragmenty, omawiające te aspekty agroinżynierii jakie sam inicjował, badał, koordynował, recenzował, krytykował, zmieniał, poprawiał itd. itd.

Monografia ma nie tylko charakter okolicznościowy, jest opracowaniem naukowym z jakiego niewątpliwie skorzystają naukowcy i studenci inżynierii rolniczej – a być może i osoby spoza tej dyscypliny naukowej. Naukowa i praktyczna przydatność tej monografii będzie najlepszym podziękowaniem dla Pana Profesora Rudolfa Michałka – za wszystko co zrobił i co jeszcze zrobi dla inżynierii rolniczej.

Tadeusz Juliszewski
Dziekan Wydziału

RUDOLF MICHAŁEK – NAUKOWIEC, DYDAKTYK I ORGANIZATOR NAUKI

Sławomir Kurpaska

Instytut Inżynierii Rolniczej i Informatyki
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
e-mail: rtkurpas@cyf-kr.edu.pl

Profesor Rudolf Michałek urodził się 1.02.1941 r. w Pewelce pow. Żywiec. Studia wyższe na Wydziale Rolniczym byłej Wyższej Szkoły Rolniczej w Krakowie ukończył w roku 1964. Już w czasie studiów i realizacji pracy doktorskiej swoje zainteresowania naukowe skoncentrował na problematyce ekonomiczno-organizacyjnej w mechanizacji prac w gospodarstwach rolnych. Wymiernym efektem tych zainteresowań była napisana pod kierunkiem naukowym Ryszarda Gąski i obroniona w 1969 roku praca doktorska z zakresu wykorzystania ciągników i maszyn w kółkach rolniczych województwa krakowskiego. Stopień doktora habilitowanego uzyskał w 1973 r. na podstawie dorobku naukowego i rozprawy habilitacyjnej pt. „Uproszczenie produkcji roślinnej a efektywność mechanizacji w gospodarstwach wielkoobszarowych". Obydwa stopnie naukowe uzyskał na Wydziale Rolniczym. Zawarty w pracy habilitacjnej materiał badawczy pozwolił na opublikowanie monografii naukowej z zakresu modelowych form organizacji mechanizacji produkcji roślinnej w gospodarstwach wielkoobszarowych. W 1974 roku uzyskał etat docenta oraz równocześnie powierzono Mu stanowiska wicedyrektora Instytutu Mechanizacji i Energetyki Rolnictwa, będącego wówczas Oddziałem na Wydziale Rolniczym. Z chwilą powołania samodzielnego Wydziału Techniki i Energetyki Rolnictwa w roku 1977 został prodziekanem tego Wydziału. Po śmierci Profesora Ryszarda Gąski (1979 r.), został dyrektorem Instytutu oraz dziekanem Wydziału. W roku 1979 uzyskał tytuł naukowy profesora nadzwyczajnego i awansował na stanowisko profesora nadzwyczajnego.

Funkcję dziekana pełnił do końca kadencji tj. do 1981 r. oraz dwukrotnie w latach 1984/87 i 1987/90.

W roku 1986 uzyskał tytuł naukowy profesora zwyczajnego, w tym roku awansował również na stanowisko profesora zwyczajnego. W 1991 r. został wybrany członkiem korespondentem PAN, zaś członkiem rzeczywistym PAN w roku 2002. Od 1992, w wyniku zmian struktury organizacyjnej uczelni (likwidacja instytutów) został wybrany kierownikiem Katedry Mechanizacji Rolnictwa,

przemianowanej w roku 2004 na Katedrę Inżynierii Rolniczej i Informatyki. Funkcję tę pełnił do roku 2009. Już w trakcie studiów i na początku pracy zawodowej odbył 8-miesięczny staż w Gospodarstwie Doświadczalnym AGH w Goszycach. Odbył również kilkumiesięczne staże naukowe w ośrodkach akademickich w RFN (dwukrotnie) oraz w Holandii i we Francji. W trakcie pracy zawodowej nawiązał współpracę z ośrodkami naukowymi w: Pradze, Nitrze, Lwowie i Kijowie (uniwersytety rolnicze) oraz z Uniwersytetem Technicznym w Monachium.

W trakcie pracy zawodowej, główne zainteresowania naukowe Profesora ewoluowały od zagadnień związanych typowo z aspektami ekonomiczno-organizacyjnymi świadczenia usług mechanizacyjnych, poprzez analizę postępu naukowo-technicznego w gospodarstwach rodzinnych do organizacji i podziału nauki.

Analizując szczegółowo dorobek naukowy i kierunki aktywności badawczej można wyróżnić zagadnienia związane z: określaniem kosztów eksploatacji agregatów rolniczych, organizacji i ekonomiki mechanizacji rolnictwa, energochłonności produkcji rolniczej, psychologicznych i socjologicznych aspektów mechanizacji, organizacji transportu rolniczego, mechanizacji produkcji rolniczej w rejonach podgórskich i górskich, metodycznych aspektów postępu naukowo-technicznego i jego efektywności w różnych typach gospodarstw, organizacji usług technicznych dla gospodarstw indywidualnych, organizacji zaplecza technicznego mechanizacji rolnictwa, wykorzystania źródeł energii odnawialnej do ogrzewania obiektów ogrodniczych, metodologii i organizacji nauki.

Przedstawiona problematyka znalazła odzwierciedlenie w publikacjach naukowych, promocjach doktorskich i zainicjowaniem problematyki badawczej w rozprawach habilitacyjnych. Wymiernym efektem działalności naukowej są wypromowani pracownicy naukowi. Profesor Michałek był promotorem 14 prac doktorskich. Z tej grupy 7 pracuje bezpośrednio w nauce a 7 poza nauką m.in. w biznesie, szkolnictwie średnim i NOT. W okresie pełnienia funkcji dyrektora instytutu oraz kierownika katedry, z wyszczególnionego zakresu badań naukowych, 15-tu pracowników uzyskało stopień naukowy doktora habilitowanego, zaś 8-miu tytuł naukowy profesora. W swej aktywności dydaktycznej był opiekunem ponad 300 prac magisterskich i wielu inżynierskich.

Łączny dorobek naukowy obejmuje ponad 500 pozycji, z czego przeszło 200 stanowią oryginalne opublikowane prace twórcze, wydane zarówno w krajowych jak i zagranicznych wydawnictwach naukowych. Istotnym osiągnięciem naukowym jest opublikowanie 14 prac o charakterze monograficznym i podręcznikowym. Omówiona w nich problematyka dotyczy nie tylko samej inżynierii rolniczej, ale obejmuje zagadnienia bardziej ogólne jak np. rekonstrukcję i rozwój gospodarki żywnościowej, energetyczne aspekty wprowadzania postępu technicznego do produkcji rolnej.

Poza pracą zawodową Profesor prowadził aktywną działalność społeczną, w obrębie której można wyróżnić aktywny udział w Radzie Naukowo-Technicznej Ministerstwa Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej, Zespole

Dydaktyczno-Naukowym ds. Mechanizacji przy Ministrze Nauki i Szkolnictwa Wyższego, Radzie Konsultacyjnej Wojewody Tarnowskiego, Radzie Konsultacyjnej Wojewody Krakowskiego, Radzie Naukowo-Społecznej Żywieckiego Parku Krajobrazowego. W latach 1985-1989 był posłem na Sejm i wiceprzewodniczącym Sejmowej Komisji Nauki i Postępu Technicznego.

Profesor swoją opieką naukową otacza również całe krajowe środowisko inżynierii rolniczej. Znakomitym tego przejawem jest utworzona przez Niego w roku 1982 coroczna szkoła naukowa, znana przez pierwsze dziesięciolecie pod nazwą *„ETO w badaniach rolniczych"*, a od 1993 roku *„Postęp naukowo-techniczny i organizacyjny* w *rolnictwie"*. Corocznie w tych szkołach uczestniczy liczne grono pracowników naukowych wszystkich krajowych ośrodków akademickich i instytucji naukowych związanych z inżynierią rolniczą. Oprócz organizacji tych szkół, przez blisko 20 lat współpracował także przy organizacji podobnych konferencji naukowych, w tym również Szkoły Letniej z zakresu: „Metodologia Nauk – Działy Wybrane". Można jednoznacznie stwierdzić, że większość, obecnej samodzielnej kadry naukowej z zakresu tej dyscypliny naukowej, poprzez uczestnictwo w tych szkołach, doskonaliła swój warsztat naukowy. W ostatnich latach zakres szkół w środowisku inżynierii rolniczej powiększył się o *„Letnią Szkołę inżynierii przemysłu rolno-spożywczego"* oraz *„Warsztaty Naukowe z inżynierii rolniczej"*.

Wpływ Pana Profesora na rozwój kadry uzewnętrzniał się również poprzez nieprzerwaną Jego pracę przez pięć kolejnych kadencji (od 1990 r.) w Centralnej Komisji ds. Spraw Stopni i Tytułu. Sformalizowana praca w tej Komisji została zapoczątkowana w latach 80-tych ub. wieku (a więc w okresie kiedy nie istniała jeszcze samodzielna dyscyplina inżynieria rolnicza). Wówczas był On zapraszany na obrady sekcji technicznej opiniującej prace promocyjne i postępowanie o tytuł naukowy pracowników z zakresu ówczesnej mechanizacji rolnictwa.

Na wniosek Rad Wydziału i Rad Naukowych Profesor był recenzentem 18 prac doktorskich, 7 habilitacyjnych, 8 wniosków o tytuł profesora i 14 wniosków na stanowisko profesora zwyczajnego i nadzwyczajnego. Z ramienia Centralnej Komisji opiniował 36 prac doktorskich, 74 habilitacyjnych oraz 81 wniosków na tytuł naukowy profesora. Na zlecenie Centralnej Komisji opiniował również wnioski o uprawnienia do nadawania stopnia doktora nauk dla 7 Wydziałów, zaś dla dwóch wydziałów opinie w sprawie uprawnień habilitacyjnych.

Z kolei na zlecenie rady Głównej Szkolnictwa Wyższego recenzował wnioski o uprawnienia doktorskie oraz powołanie nowych uczelni prywatnych i państwowych. Swoje przemyślenia związane z awansem naukowym zawarł w opublikowanej w 1998 r. monografii *„Uwarunkowania naukowego awansu w inżynierii rolniczej"*. Zawarte w niej wskazówki wyprzedziły obecne polskie ustawodawstwo z zakresu awansu naukowego.

Na macierzystym Wydziale był inicjatorem wszystkich dotychczas wniosków o tytuł doktora honoris causa dla profesorów: Janusza Hamana, Stanisława Pabisa oraz Saturnina Zawadzkiego. Wszystkie trzy zakończyły się pozytywną decyzją

Senatu, a w dwóch z nich był promotorem w postępowaniu. Na zlecenie Rad Wydziału, wykonał również recenzje w przewodach o tytuł doktora honoris causa dla dwóch profesorów uczelni rolniczych we Wrocławiu, Lublinie i Szczecinie (profesor Janusz Haman) oraz Politechniki Koszalińskiej (profesor Józef Grochowicz).

Szybki i dynamiczny rozwój kariery naukowej Profesora, a także uznanie dla Jego doświadczenia naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego potwierdzone wieloma nagrodami Ministra (w tym również I stopnia), nagrodami Rektora, organizacji samorządowych i zawodowych spowodowały powierzenie Mu wielu odpowiedzialnych funkcji organizacyjnych. Do najważniejszych można zaliczyć m.in. przewodniczenie zespołowi dydaktyczno-naukowemu przy tworzeniu programów i planów studiów dla tworzonego wtedy kierunku nauczania *Technika Rolnicza i Leśna*.

Wielkie zaufanie i powszechny szacunek polskiego środowiska naukowego, jakim cieszy się Profesor, doprowadziły iż w 1991 roku do Jego wyboru na członka korespondenta PAN, a od roku 2002 na członka rzeczywistego PAN. W latach 1999-2003 był wiceprezesem krakowskiego Oddziału PAN. W czasie pracy aktywnie działał w strukturach tej korporacji naukowców, pracując w Komitecie Zagospodarowania Ziem Górskich, Komitecie Zootechnicznym PAN. Przez wiele lat przewodniczył Komitetowi Techniki Rolniczej PAN (od 1978 r. jest jego członkiem). Należy podkreślić, że Komitet ten jest jednym z najbardziej aktywnie działających spośród Komitetów PAN. Z inicjatywy Komitetu Techniki Rolniczej Polskiej Akademii Nauk w 2007 roku powstała Sieć Naukowa „Agroinżynieria dla zrównoważonego rolnictwa przemysłu rolno-spożywczego i obszarów wiejskich – AgEngPol". Jest to dobrowolne porozumienie uczelni wyższych i jednostek badawczo-rozwojowych podejmujących na podstawie umowy zorganizowaną współpracę związaną z prowadzeniem wspólnych badań naukowych i prac rozwojowych, służących rozwojowi agroinżynierii.

Profesor od roku 1992 jest członkiem Rady Naukowej Instytutu Fizjologii Roślin PAN w Krakowie, zaś w latach 1996-1999 oraz od roku 2006 do 2010 był przewodniczącym Rady Naukowej w Instytucie Agrofizyki PAN w Lublinie.

Wkład Profesora w rozwój nauk rolniczych uzewnętrzniał się również w pracach Rady Naukowej Instytutu Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji, w której od roku 1978 był członkiem, a od roku 1999 przewodniczącym tej Rady. Po zmianach organizacyjnych obecnie piastuje również funkcję przewodniczącego Rady Naukowej Instytutu Technologiczno-Przyrodniczego w Falentach. W latach 1991- 2004 przewodniczył polskiemu oddziałowi Międzynarodowej Komisji Inżynierii Rolniczej (CIGR), pierwszej i największej światowej organizacji działającej w dziedzinie Agroinżynierii.

Profesora Rudolfa Michałka cechuje zdolność organizacyjna i kreatywność, które wykorzystał z pożytkiem dla rozwoju inżynierii rolniczej w Polsce. Był inicjatorem i współzałożycielem Polskiego Towarzystwa Inżynierii Rolniczej, peł-

niąc od chwili założenia w 1990 r. przez kolejne kadencje funkcję Prezesa Zarządu Głównego Towarzystwa. Wraz z Komitetem Techniki Rolniczej PAN, Towarzystwo wspiera organizacyjnie i naukowo szkoły naukowe i konferencje z zakresu inżynierii rolniczej, organizowane przez liczne jednostki naukowe i badawczo- rozwojowe.

Duże znaczenie ma zaangażowanie Profesora w działalność wydawniczą, stwarzającą pracownikom nauki, szczególnie młodym, możliwość szybkiego publikowania rezultatów ich prac naukowo-badawczych w recenzowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym. Aktualnie jest Profesor wiceprzewodniczącym Rady Programowej Wydawnictwa Komitetu Techniki Rolniczej PAN, Redaktorem Naczelnym periodyków naukowych Inżynieria Rolnicza i Biuletynu Nauka Praktyce oraz redaktorem Annual Review of Agricultural Engineering i Problemów Inżynierii Rolniczej.

Wielkie uznanie naukowego środowiska z zakresu inżynierii rolniczej zaowocowało nadaniem przez sześć uczelni (uczelnie w Lublinie, Wrocławiu, Szczecinie, Koszalinie, Olsztynie i Poznaniu) najwyższego tytułu doktora *honoris causa*.

Profesor Rudolf Michałek za swą działalność był wielokrotnie nagradzany i wyróżniany najwyższymi centralnymi, resortowymi i regionalnymi odznaczeniami państwowymi i wieloma medalami okolicznościowymi, spośród których można wymienić: Krzyż Komandorski, Oficerski i Kawalerski oraz Medalem Komisji Edukacji Narodowej. W 2010 r. został również odznaczony najwyższą odznaką PAN – medalem im. Michała Oczapowskiego.

Żyjemy w czasach parametryzacji gdzie na podstawie liczby punktów przyznawana jest dotacja na badania naukowe. Dokonywana, przy stosowaniu różnego rodzaju kryteriów, ocena ośrodków naukowych, czy też samych twórców, powinna odzwierciedlać efektywność ponoszonych nakładów na naukę w stosunku do uzyskanych efektów w wyniku wprowadzania innowacji naukowo-technicznych do gospodarki. Ostatnio dokonana taka walidacja przyniosła niektórym jednostkom, szczególnie z dziedziny nauk rolniczych, rozliczne rozczarowania.

Niech odzwierciedleniem tego zagadnienia, będą przemyślenia Profesora zawarte w wykładzie okolicznościowym wygłoszonym z okazji wyróżnienia Go tytułem doktora *honoris causa* Uniwersytetu Przyrodniczego Poznaniu, gdzie na postawione przez siebie pytanie: *„jak mierzyć efektywność w działalności naukowej w działalności twórczej, w tym działalności naukowej?"* udzielił odpowiedzi *„Taki wskaźnik* (oceny punktowej S.K.*) jednak nie może mieć zastosowania w całej nauce i może dotyczyć tylko nauk aplikacyjnych. Ocena czystej nauki obejmująca nauki teoretyczne, ma charakter pośredni i jest dokonywana poprzez rangę czasopism upowszechniających wyniki studiów teoretycznych. Oczywiście źle sformułowane kryteria, zakładające np. jedynie udokumentowaną sprzedaż opracowań naukowych (szalenie trudnych do zrealizowania w naukach rolniczych) może prowadzić do wynaturzeń przeprowadzanej oceny parametrycznej"*. W zakresie przeprowadzonej oceny, Profesor nadmienił, że *„Niepoprawny system oceny efektywności w pracy naukowej ma istotny wpływ zarówno*

na rozwój nauki i gospodarki narodowej, jak również na indywidualny rozwój jej twórców, sprzyjając degradacji samego zawodu, jak i wypaczeniu kariery w zawodzie. To rzutuje na istotne rozbieżności w ocenie pojęć: kariera i karierowicz..."[1].

Charakteryzując dokonania zawodowe Profesora Rudolfa Michałka, niekwestionowany autorytet z naukowy – profesor Janusz Haman w swej opinii związanej z wszczęciem postępowania o nadanie tytułu doktora *honoris causa* przez UP w Poznaniu napisał: *„Cechą wyróżniającą zasługi prof. Michałka jest jego decydujący wpływ na całe naukowe i zawodowe środowisko techniki rolniczej w Polsce*, oraz *„Na tej podstawie* (przeprowadzonej syntetycznie oceny dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego S.K) *mogę określić prof. Michałka jako jedną z najwybitniejszych postaci nie tylko w naukach agroinżynieryjnych, ale w ogóle w całych polskich naukach rolniczych"*, a także *„Jego wpływ na rozwój kilku generacji polskich uczonych był w Polsce dominujący. Można więc określić, że Profesor Michałek jest wybitnym kreatorem polskiej szkoły naukowej w dziedzinie agroinżynierii.*

Prof. Michałek, stanowi rodzaj „wzorca" dla wielu polskich badaczy, bo warto ich skłonić by starali się naśladować Jego drogę rozwoju. W podsumowaniu swojej opinii, prof. Haman stwierdził, że: *„Profesor pracowitością, inicjatywą, systematycznym działaniem, życzliwością dla kolegów i uczniów, koncentracją nie na własnych sukcesach, lecz na wspomaganiu rozwoju całego środowiska naukowego"*[2].

Z kolei, profesor Dawidowski w podsumowaniu swojej opinii opracowanej w związku z tą samą procedurą nadania tytułu doktora *honoris causa*, stwierdził, że: *„uhonorowanie profesora Michałka* (godnością tego tytułu S.K.) *jest wyrazem zrozumienia roli inżynierii rolniczej we współtworzeniu nowoczesnego rolnictwa, a zarazem wyrazem uznania dla jednego z najwybitniejszych i najbardziej aktywnych współtwórców nauki i dydaktyki akademickiej w tej dyscyplinie w Polsce – nauczyciela akademickiego i promotora licznych kadr naukowych, twórcy postępu naukowego oraz organizatora i animatora wielu przedsięwzięć, o charakterze naukowym, edukacyjnym i społecznym"*, a także *„Niełatwo jest uzyskać tak powszechne uznanie środowiska naukowego i zawodowego, jakim cieszy się Profesor Rudolf Michałek, na którego życzliwość i pomoc można zawsze liczyć. Sześć uczelni, w tym cztery uczelnie rolnicze, jedna uniwersytecka i jedna politechniczna, w uznaniu zasług pana Profesora dla rozwoju inżynierii rolniczej, uhonorowały Go w sposób szczególny przez nadanie najwyższej godności akademickiej tytułu doktora honoris causa"*[3].

Konkludując można stwierdzić, że bogaty dorobek naukowo-badawczy Jubilata świadczy wymownie, że wniósł On duży, oryginalny i liczący się naukowo wkład w rozwój nie tylko inżynierii rolniczej w Polsce. Za tę pracę należą się Mu słowa wielkiego uznania i szacunku oraz serdeczne podziękowania, zarówno ze strony władz Jego macierzystej Uczelni, jak i od Jego uczniów, dla których był wzorowym, obowiązkowym, wysoko cenionym i szanowanym nauczycielem.

[1] Rudolf Michałek doktor honoris causa Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, Poznań, 2011. Uwarunkowania efektywności pracy naukowej. Wykład okolicznościowy z okazji wyróżnienia tytułem doktora honoris causa Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, s 18-28.

[2] Tamże. Ocena dorobku naukowego... s. 41-47.

[3] Tamże, Opinia o całokształcie dokonań... s. 47-52.

INŻYNIERIA ROLNICZA W UNIWERSYTECIE PRZYSZŁOŚCI

Rudolf Michałek

czł. rzecz. PAN
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
e-mail: Rudolf.Michalek@ur.krakow.pl

Pojęcie uniwersytetu przyszłości

Pojęcie uniwersytet jest na ogół znane i wydawać się może, że nie wymaga żadnych dodatkowych wyjaśnień. Jednak moje bezpośrednie kontakty dydaktyczne z różnymi kategoriami słuchaczy dowodzą, że nie zawsze interpretowane jest trafne tzn. zgodnie z intencją twórcy pojęcia. Jest to ważne, w szczególności w Polsce i w obecnej chwili, gdzie po wprowadzeniu reformy w szkolnictwie wyższym w roku 2005, pojecie uniwersytetu wyraźnie się zmodyfikowało. W tradycyjnym ujęciu encyklopedycznym [Praca zbiorowa 1994] uniwersytet, od słowa łacińskiego *uniwersitas*, oznacza: ogół, powszechność, czyli wszechnicę. W odniesieniu do kształcenia oznacza uczelnię na której przeważają wydziały nietechniczne. W szerszym ujęciu ujmuje się dodatkowo zakres działalności twórczej a więc: kształcenie studentów, rozwijanie badań naukowych oraz nadawanie stopni naukowych. W historycznym rozwoju kształcenia uniwersyteckiego początki, prawie wszędzie należały do teologii, prawa i medycyny. Dopiero później zakres rozszerzył się na nauki przyrodnicze. W Polsce najstarszym Uniwersytetem założonym w roku 1364 przez Króla Kazimierza Wielkiego jest Uniwersytet Jagielloński, który przyjął nazwę od odnowicieli Jadwigi i Władysława Jagiełło, dokonanej w r. 1400 [Michałek 2009]. Tradycyjne pojęcie uniwersytetu i jego ranga w Polsce z czasem uległy dewaluacji, gdy pod naciskiem władz politycznych i administracyjnych powoływano w różnych miastach i regionach w drodze przekształceń z bardzo małych i słabych uczelni uniwersytety nadając im nazwy przymiotnikowe od miast, w których zostały powoływane.

Zasadniczą rewolucję w nazewnictwie i kategoriach uczelni polskich wprowadziła Ustawa z roku 2005. Formalnym wymogiem przekształcenia w uniwersytet tzw. przymiotnikowy był rozmiar posiadanych uprawnień do nadawania stopni naukowych doktora. W przypadku uniwersytetów przymiotnikowych wymóg

sprowadzał się do uprawnień w co najmniej sześciu dyscyplinach naukowych. Uniwersytety nieprzymiotnikowe i techniczne mają znacznie podniesiony próg, do 12-tu dyscyplin naukowych. W momencie wejścia w życie Ustawy prawie wszystkie polskie uczelnie rolnicze spełniały wymogi ustawowe i stopniowo przekształciły się w uniwersytety. Jednak tylko Uczelnia krakowska przyjęła nazwę Uniwersytet Rolniczy a pozostałe tj. w Lublinie, Wrocławiu, Poznaniu przemianowały się w uniwersytety przyrodnicze. Zarówno zakres kształcenia jak i problematyka badawcza tych uczelni nie dawały podstaw do przyjęcia nazw uczelni przyrodniczych. Myślę, że chodziło tu o „modę" a także ucieczkę od pojęcia rolniczego, które rzekomo odstraszają kandydatów na studia. Czas zweryfikuje nasze decyzje i określi naszą pozycję w przyszłości. W tym miejscu należy jeszcze określić, co rozumiemy pod pojęciem uniwersytetu przyszłości. Przed uściśleniem tego znaczenia, godzi się przypomnieć znaną maksymę: „przewidywanie jest rzeczą trudną". W moim założeniu, przyszłość określam jako perspektywę 25 lat i programem kształcenia na dalszą perspektywę 40 lat, czyli do roku 2070-2080. Aby sobie wyobrazić taką perspektywę, spróbujmy cofnąć czas do tyłu np. o 50 lat, czyli do lat 60-tych ubiegłego wieku. Dla części z nas był to okres studiów. Jaki był wówczas świat? Zupełnie inny. To były początki telewizji, bez telefonów komórkowych, bez internetu, ze starymi formami obsługi bankowej. W nauce nie znaliśmy struktury DNA. Nauka i technika zmieniły zasadniczo świat i nasze życie. Szacuje się, że globalne osiągnięcia nauki i techniki w XX wieku, przekraczają łączne osiągnięcia od początku cywilizacji ludzkiej do końca XIX wieku [Szulc 2001].

Ani nauka, ani technika nie zatrzymały się w miejscu, nabierają nowego rozpędu w okrywaniu tajemnic otaczającej nas rzeczywistości. Część z nas, nie nadąża za postępem cywilizacyjnym i staje się jego ofiarą, bardziej w sensie psychicznym aniżeli fizycznym. Zadaniem uniwersytetów przyszłości jest przygotowanie nowych kadr dla perspektywy odległego o 50-60 lat czasu. Nie wszystko da się zaplanować i przewidzieć. Chodzi więc o to, aby w kształceniu młodego człowieka nauczyć go myśleć, jak racjonalnie postępować w każdej zaistniałej okoliczności. Musi on być kreatorem a nie hamulcem dokonujących się przeobrażeń. Zmienią się formy techniczne i intelektualne przekazu informacji. Zawsze jednak podstawowym ogniwem w procesie kształcenia pozostanie człowiek, uzbrojony w nowoczesną technikę przekazu. W kształceniu akademickim pierwszoplanową rolę będzie odgrywać jedność kształcenia i prowadzenia badań naukowych. Nauczyciel prawdziwie akademicki nie może tylko przekazywać wiedzy uzyskanej przez uczenie się od innych. Sam musi uczestniczyć w okrywaniu tajemnic otaczającej nas rzeczywistości. Sam też musi być odkrywcą problemów dla nauki. I właśnie w tym względzie coraz bardziej uwidaczniać się będzie różnica pomiędzy osobowością człowieka a możliwościami środków technicznych jakimi są komputery. Te ostatnie, właśnie dzięki ludziom są coraz doskonalsze, mają dużą

pamięć i tempo obliczeń, znacznie większe od możliwości człowieka. Nie są i nie mogą być jednak kreatywnymi w swoich funkcjach. Komputer nigdy nie postawi pytania, nie sformułuje tezy ani też hipotezy. To są i pozostaną zadania człowieka – nauczyciela akademickiego w uniwersytecie przyszłości. Wyobraźnię o takim uniwersytecie możemy sobie częściowo kształtować patrząc na dystans jaki dzieli przeciętny polski uniwersytet od najlepszych w świecie. To właśnie jest także dystans czasowy, ale nie zawsze wynikający wyłącznie ze względów merytorycznych. Nasze środowiska, zbyt często i zbyt uproszczony, winę ze słabe osiągnięcia naukowe i dydaktyczne przypisuje szczupłym środkom materialnym, przez co bezpośrednio za winowajcę uznają politykę Państwa i sprawującego władzę Rządu. Zapewne jest to jeden z istotnych czynników hamujących postęp naukowy i cywilizacyjny w naszym Kraju. Nie może jednak usprawiedliwiać i do końca rozgrzeszać wykonawców nie realizujących w sposób właściwy przyjętych na siebie zadań. Przecież w podobnych warunkach, różne ośrodki i różne osoby osiągają zróżnicowane efekty badawcze, dowodząc, że nie tylko zależy to od finansowania nauki. Zresztą środki finansowe na działalność naukową i szkoleniową także zależą od mobilności ośrodków i osób na ich pozyskanie. Aby przejść do wizji uniwersytetu przyszłości w Polsce i miejsca inżynierii w tym modelu należy dokonać aktualnej wiwisekcji problemów nauki i szkolnictwa wyższego.

Współczesne dylematy szkolnictwa wyższego

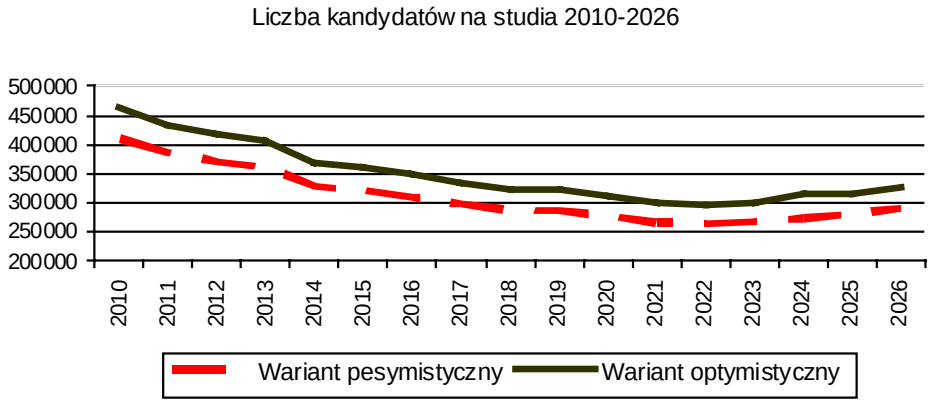
Powszechnie podkreślany jako największy sukces Polski odniesiony po roku 1989 to rozwój szkolnictwa wyższego, przejawiający się wskaźnikiem skolaryzacji. Na początku reformy tj. w roku 1990 nasz współczynnik wynosił 12,9% i należał do najniższych w Europie a pod koniec roku 2010 osiągnął wartość 53,7% i klasyfikuje nas w czołówce krajów UE. Wzrost wskaźnika skolaryzacji jest prostą konsekwencją rozmiarów kształcenia na poziomie wyższym. W roku 1990 ogólna liczba studentów wynosiła 403 tys. osób, zaś w roku 2010 1930 tys. [www.impan.pl /pliki demograficzne]. W omawianym okresie 20-tu lat nastąpił prawie 5-krotny wzrost studiujących. W tym samym czasie nastąpił dynamiczny wzrost liczby uczelni, w szczególności niepublicznych. W roku 1992 posiadaliśmy łącznie 142 uczelnie, w tym 124 publiczne i 18 niepublicznych. Aktualny stan to: 457 wszystkich uczelni; 131 publicznych i 326 niepublicznych [Praca zbiorowa 2009]. Przyrostowi liczby studentów oraz uczelni nie towarzyszył proporcjonalny rozwój kadry naukowej, zwłaszcza w sektorze niepublicznym. Łącznie szkolnictwo wyższe zatrudnia ok. 100 tys. nauczycieli akademickich, w tym 84 tys. w uczelniach publicznych i 16 tys. w niepublicznych. Oznacza to dublowanie tych samych nauczycieli w różnych sektorach i różnych uczelniach, czyli zjawisko wieloetatowości,

które niewątpliwie wpłynęło istotnie na obniżenie poziomu kształcenia. Zwyczajnie posiadany potencjał kadrowy w całym szkolnictwie wyższym nie był w stanie dobrze kształcić dynamicznie rosnącej liczby studentów. Ponadto, w stosunkowo krótkim czasie odmieniły się proporcje pomiędzy liczbą oferowanych miejsc na studia a liczbą kandydatów na nie. Mówiąc językiem ekonomicznym, podaż zdecydowanie przewyższyła popyt, co oznaczało przyjęcie na studiach bez żadnej selekcji. Jeśli do tego dodać znacznie obniżony poziom kształcenia w szkołach średnich, zwłaszcza w zakresie przedmiotów ścisłych, to uzyskujemy obraz studenta pierwszego roku studiów. Mając kompleksy matematyczno-fizyczne, kandydaci uciekają od kierunków studiów wymagających takiego przygotowania. Aktualnie w Polsce kształcimy na 200-tu kierunkach studiów, przy czym same nazwy tych kierunków, wskazują na wątpliwość ich akademickiego charakteru. Poniżej przedstawiam strukturę kształcenia wyrażoną w procentach [Praca zbiorowa 2009]:

- ekonomiczno-administracyjne 23,0
- społeczne 13,9
- pedagogiczne 12,0
- humanistyczne 8,8
- inżynieryjno-techniczne 6,8
- medyczne 5,8
- informatyczne 4,9
- usług dla ludności 3,7
- prawne 3,1
- ochrony środowiska 1,4
- pozostałe kierunki 16,4

Innym dylematem polskiego szkolnictwa wyższego jest słabe powiązanie ze zwiększeniem zarobków. U nas wynosi ono tylko 28%, podczas gdy w USA – 76,8%, Portugalii 68,8% i Francji 64,6% [Praca zbiorowa 2009]. Wysoki wskaźnik skolaryzacji, jak również niekorzystna struktura kształcenia powodują u nas rosnące bezrobocie, obejmujące nawet najlepszych absolwentów. Dodatkowo niski wskaźnik studiujących na kierunkach inżynieryjno-technicznych odbijać się będzie na brakach w zapotrzebowaniu przez przemysł; już w roku 2013 w wysokości prawie 47 tys. inżynierów [Praca zbiorowa 2009] a w usługach 22 tys. osób.

Innym, niekorzystnym miernikiem naszego szkolnictwa jest bardzo niski udział studentów zagranicznych w całej populacji studiujących w Polsce. Wynosi on 0,5%, podczas gdy średnia dla krajów OECD wynosi 9,6%. Znacznie przewyższają nas Czesi – 6,3% i Węgrzy 3,3%. Najwyższy wskaźnik w Europie ma Luksemburg 42,2%. Ten miernik, choć wydaje się niezbyt istotny, ogrywać będzie coraz wyższą rolę w przyszłości, z uwagi na niekorzystną prognozę demograficzną w latach 2010-2026. Jej odzwierciedlenie w postaci liczby kandydatów na studia przedstawiono na rys. 1 [Praca zbiorowa 2009].



Rys. 1. Liczba kandydatów na studia 2010-2026

Poza wykazanymi już słabymi stronami współczesnego szkolnictwa wyższego w Polsce w postaci wadliwej struktury kształcenie, obniżającego się poziomu kształcenia oraz słabego umiędzynarodowienia na jego współczesny obraz składają się jeszcze:

- niewłaściwe ścieżki rozwoju kariery zawodowej,
- tradycyjny a w zasadzie przestarzały system zarządzania,
- słabe powiązanie ze środowiskiem zewnętrznym, wprowadzone w roku 2011 ustawy dotyczące prawa o szkolnictwie wyższym oraz o stopniach i tytule naukowym mają zmodernizować dotychczasowy, niezadawalający stan i przybliżyć nasze szkolnictwo wyższe do poziomu przodujących krajów świata.

Autorzy nowych aktów prawnych zakładają poprawę stanu poprzez:

- wprowadzenie, obok tradycyjnego, nowego, menadżersko-konkurencyjnego, systemu zarządzania uczelniami,
- zróżnicowanie uczelni wg kryterium jakości badań i dydaktyki na trzy kategorie,
- zwiększenie autonomii,
- wprowadzenie finansowania zadaniowego,
- wprowadzenie uprawnień dla wydziałów mających prawa habilitacyjne do samodzielnego otwierania kierunków studiów nie podlegającym standardom kształcenia,
- zmodernizowanie i skrócenie ścieżki awansu naukowego.

Analizując wprowadzone zmiany, można wierzyć w dobre intencje ich autorów, ale równocześnie mieć wątpliwości czy utworzą one z naszych uczelni prawdziwe uniwersytety przyszłości? Na pewno nie dokona się tego bez wydatnego zwiększenia finansowania nauki i całego sektora szkolnictwa wyższego.

Dylematy inżynierii rolniczej i całego sektora szkolnictwa rolniczego

Studia rolnicze na tle historii całego szkolnictwa wyższego w Polsce i na świecie, należą do stosunkowo młodych, zwłaszcza w stosunku do najstarszych kierunków jak: teologia, prawo czy medycyna. Ich historyczny rozwój przedstawiłem w innych opracowaniach [Michałek 2009]. W tym miejscu ograniczę się tylko do przypomnienia, że w momencie wyłaniania się samodzielnych jednostek w postaci wyższych szkół rolniczych ze struktur starych uniwersytetów w początkach lat 50-tych ubiegłego wieku, posiadały tylko pojedyncze wydziały rolnicze, bądź rolniczo - leśne. W ciągu prawie 60-ciu lat ich działalności, nastąpił ich dynamiczny wzrost ilościowy i rozwój jakościowy. Dotyczy to przede wszystkim liczby kształconych studentów, jak również liczby wydziałów i kierunków studiów. Jak w biologii, poprzez pączkowanie od wydziału rolniczego stopniowo odrywały się: zootechnika, leśnictwo, melioracje wodne, geodezja, ogrodnictwo, technologia żywności, mechanizacja rolnictwa, ekonomika i zarządzanie i dalsze pojedyncze, funkcjonujące w niektórych uczelniach. Wraz z powstawaniem nowych wydziałów i kierunków studiów rozwijały się także nowe dyscypliny naukowe, zgodnie z zasadą, że kształcenie akademickie musi być oparte na jedności badań naukowych z kształceniem. Wszystkie dokonujące się przekształcenia ilościowe i jakościowe zawsze uzasadniano jako konieczność zaspokajania potrzeb rozwijającego się rolnictwa i całego sektora wiejskiego i gospodarki żywnościowej. Należy przy tym pamiętać, jaka była wówczas struktura agrarna rolnictwa i jakie były programy docelowe jej przekształceń. Polska wyróżniała się z całego obozu socjalistycznego wysokim udziałem – ok. 76% sektora prywatnego w rolnictwie, ale założenia programowe zakładały stopniowy wzrost sektora uspołecznionego, aż prawie do 100%. W strukturze tego sektora funkcjonowały duże i bardzo duże przedsiębiorstwa państwowe i znacznie mniejsze spółdzielnie produkcyjne. Wszystkie te przedsiębiorstwa potrzebowały wykształconych kadr, w tym również na poziomie wyższym z równoczesnym ukierunkowaniem na istniejące specjalizacje. Uwzględniając dodatkowo potrzeby całego środowiska wiejskiego i jego otoczenia, w tym przede wszystkim ciągle dużego sektora prywatnego w rolnictwie, określono globalne zapotrzebowanie na kadry z podziałem na konkretne specjalności. Dla zaspokojenia zaplanowanych potrzeb polityki rolniczej i administracji państwowej i terenowej, powoływano w uczelniach rolniczych nowe kierunki studiów a dla ich obsługi nowe wydziały. W ten sposób rozrastały się uczelnie rolnicze do kilku a nawet kilkunastu wydziałów, kształcąc studentów na studiach stacjonarnych i niestacjonarnych w ilościach kilkunastotysięcznych. Dokonane przemiany społeczno-polityczne w końcu lat 80-tych ubiegłego wieku wywarły swe piętno na restrukturyzacji całej gospodarki w tym także w sektorze rolniczym. Praktycznie upadł pion rolnictwa uspołecznionego, zniszczony totalnie decyzjami politycznymi i reformami finansowymi. Stworzono

nowy model polityki rolnictwa, oparty na własności prywatnej właścicieli, czyli rolników. Ten model narzuca całkiem odmienną strukturę kształcenia akademickiego, opartego na gruntowych podstawach znajomości całego rolnictwa z ewentualną specjalnością na etapie studiów magisterskich. Trójstopniowy system kształcenia, przyjęty w układzie bolońskim wymaga reformy struktury organizacyjnej wyższego szkolnictwa rolniczego. Wypowiadałem się na ten temat prawie 20 lat temu, sugerując ograniczenie liczby wydziałów na tych uczelniach [Michałek 1983]. Nie zostało to pozytywnie odebrane, wręcz odwrotnie nastąpił dalszy proces rozdrabniania struktury organizacyjnej w całym kraju. W efekcie dla większości wąsko wyspecjalizowanych absolwentów tych szkół nie ma zapotrzebowania i powiększają armię bezrobotnych. Przerzuca się to także na absolwentów szkół średnich, zniechęcając ich do studiowania na uczelniach rolniczych. Zresztą takich uczelni prawie nie ma, bo poza Krakowem wszędzie Akademie Rolnicze przekształciły się na uniwersytety przyrodnicze. Zwyczajnie nie ma mody na przymiotnik „rolniczy". Uciekamy od tego słowa w nazewnictwie uczelni, wydziałów i katedr. Tworząc wizję uniwersytetu przyszłości należałoby zdecydowanie zreformować obecną rozdrobnioną strukturę uczelni rolniczej, w kierunku zmniejszenia liczby wydziałów a rozszerzenia kierunków studiów i specjalności. Dla przykładu przypomnę swoje propozycje: połączyć dotychczasowe wydziały: rolniczy, zootechniczny, ogrodniczy i ekonomiczno-rolniczy w jeden duży wydział. Nie proponuję konkretnej nazwy, bo ta sama się zrodzi. Zresztą obecne nazwy wymienionych wydziałów są już całkowicie zmienione. Inny wydział mógłby powstać z połączenia wydziałów o charakterze przyrodniczo-technicznym a więc: inżynierii rolniczej, kształtowania środowiska, geodezji i ewentualnie technologii żywności. Odmienną specyfikę posiadają wydziały leśne i weterynaryjne i musiałyby pozostać jako samodzielne. W obrębie każdego nowoutworzonego wydziału można powoływać wiele kierunków studiów, często związanych z dawną nazwą wydziałów a w ramach kierunków nowe specjalności i specjalizacje. Można by także powoływać kierunki międzywydziałowe. Dzisiejsza struktura, bardzo rozdrobniona jest zarazem zamkniętą na badania i kształcenie we własnym zakresie. Pod własną kadrę wydziału ustala się plany i programy studiów, wypaczając w znacznym stopniu sylwetkę absolwenta. Dzisiejszy absolwent wydziału rolniczego nie wie prawie nic o technice rolniczej i bardzo niewiele o hodowli zwierząt i ogrodnictwie. Śmiem twierdzić, że absolwenci Wydziału Rolniczego Uniwersytetu Jagiellońskiego z roku 1950 byli znacznie gruntowniej przygotowani do pracy w rolnictwie. Przed i w trakcie studiów, student na ogół nie ma swojej wizji odnośnie przyszłej pracy. Potrzebuje zatem gruntowego przygotowania w oparciu o solidne podstawy. Może wybrać specjalności wg zainteresowania. Zawsze, po podjęciu pracy, może wrócić na uczelnię i dokształcić się w określonych specjalnościach na studiach podyplomowych. Najważniejsze, aby nauczyć go myśleć i kojarzyć fakty a poradzi sobie w przyszłej pracy, zresztą będzie wiedział gdzie i jak zdobywać niezbędne informacje.

Oddzielne miejsce chciałbym znaleźć w uniwersytecie przyszłości dla inżynierii rolniczej. Wynika to z prostej przyczyny, że całe zawodowe życie jej poświęciłem, uczestniczyłem w jej rozwoju i przemianach i czuję się za nią odpowiedzialny. Zaczynałem swoją karierę w momencie przekształcenia maszynoznawstwa rolniczego w mechanizację rolnictwa. Były to początki samodzielnych uczelni rolniczych wyodrębnionych ze struktur uniwersyteckich. Szybko się rozwiały i systematycznie powiększały zakres badań i ofert kształcenia. Tak było i z mechanizacją rolnictwa, przekształconą w latach 70-tych ubiegłego stulecia w technikę rolniczą a następnie w inżynierię rolniczą. To były początki tworzenia nowej, samodzielnej dyscypliny naukowej a także kierunku studiów bazującego na tej dyscyplinie. Tworzono go w strukturach organizacyjnych wydziałów rolniczych, bo tam znajdowały się katedry tej specjalności [Haman 1996]. Uważano wówczas, że w profilu absolwenta wydziałów rolniczych i pokrewnych konieczna jest duża dawka wiedzy z zakresu techniki rolniczej, bo tego wymagało modernizujące się rolnictwo. Osobiście byłem konserwatywnie nastawiony do powoływania samodzielnych kierunków studiów z tego zakresu. Moje nastawienie wynikało zarówno z rozeznania odnośnie liczebności kadry naukowej jak i zawężonego profilu kształcenia. Uważałem zwyczajnie, że w oparciu o przyjęte plany nie wykształcimy ani rolnika ani technika. Rozpędzona jednak machina nie zważała na takie drobne dylematy i wymuszała stopniowe powoływanie takich kierunków w kolejnych ośrodkach akademickich w Polsce. W jednych ośrodkach kierunki szybko przekształciły się w samodzielne wydziały: Lublin, Kraków, Warszawa. W innych do dzisiaj pozostały w strukturach wydziałów rolniczych: Poznań, Wrocław, Szczecin. Ośrodki z samodzielnymi wydziałami przeszły prawdziwą drogę rozwoju przez mękę. Nie mając własnej kadry, pozbawione były możliwości uprawnień do nadawania stopni naukowych i zmuszone były poszukiwać awansów naukowych po różnych ośrodkach w całej Polsce. Jak to jest trudne, znam z własnego doświadczenia. Kierowałem krakowskim Wydziałem nie mającym wówczas żadnych uprawnień przez 10 lat. Dzisiaj z perspektywy minionego czasu mogę tylko podziękować radom wydziałów, które nas przygarnęły, w pierwszej kolejności Radzie Wydziału Rolniczego naszej Uczelni oraz Radzie Wydziału Techniki Rolniczej Akademii Rolniczej w Lublinie. Dziękuję przede wszystkim w imieniu tych, którzy uzyskali możliwość własnego rozwoju naukowego. Dzisiaj, najczęściej tworzą samodzielną kadrę Wydziału i żyją w niepewności jutra. Diametralnie zmieniła się sytuacja. Mamy silną, samodzielną kadrę w naszej specjalności, ale nie mamy perspektywy jej dalszego rozwoju. Czas zweryfikował podejmowane w przeszłości decyzje. Kierunek Technika Rolnicza i Leśna, będący następstwem Mechanizacji Rolnictwa, stał się w obliczu dokonywanych zmian, w rolnictwie, i całym szkolnictwie wyższym mało atrakcyjnym. Szczegółowe uzasadnienie omówiłem już w rozdziale pierwszym. Stąd też w większości ośrodków naukowych powołuje się nowe kierunki, przede wszystkim Zarządzanie i Inżynieria Produkcji. Jak dotąd cieszy się on dość dużym powodzeniem ale nie uwa-

żam go za perspektywiczny. Swoje przekonanie wywodzę z faktu, że w samej nazwie mieści dwie odmienne dyscypliny naukowe: zarządzanie z dziedziny nauk ekonomicznych i inżynierię produkcji z dziedziny nauk technicznych. Kadra naszych samodzielnych pracowników w zdecydowanej większości ma tytuły i stopnie naukowe w dziedzinie nauk rolniczych i dyscyplinie inżynieria rolnicza. Nie spełnia więc minimów kadrowych i wymaga uzupełnienia o specjalistów w tamtych dyscyplinach. Po drugie omawiany kierunek zaczyna stawać się na tyle uniwersalny, że uruchamiają go prawie wszystkie uczelnie, włącznie z wyższymi morskimi. Przy takim wyborze kandydaci mogą pomijać uczelnie rolnicze. Po trzecie wreszcie, przy obecnej strukturze zatrudnienia trudno będzie zachować jedność badań naukowych i kształcenia na poziomie akademickim. To zawsze musi się odbić ujemnie na poziomie kształcenia. Stąd też uważam za bliski nam i bardzo perspektywiczny kierunek związany z odnawialnymi źródłami energii. Jego nazwę pozostawiam do ustalenia, chodzi tylko aby brzmiała naukowo i akademicko, aby nikomu nie kojarzyła się z utylizacją śmieci i chwastów. Ze swej strony proponuję: eko lub agroenergetykę. Tworząc wizję inżynierii w uniwersytecie przyszłości trzeba mieć jeszcze na uwadze nie tylko kierunek studiów, ale także jej miejsce w planach studiów na innych wydziałach w uczelniach rolniczych. Zrobiliśmy w przeszłości poważny błąd widząc tylko własny kierunek studiów, nie dbając o rolę i właściwe miejsca inżynierii rolniczej w planach studiów pozostałych wydziałów w uczelniach rolniczych. Ich absolwenci nie są przygotowani do pracy w nowoczesnym, technicznie uzbrojonym rolnictwie. Nie mają podstaw z techniki, będą mieć nawet kłopoty z rozszyfrowaniem instrukcji obsługi technicznej nowoczesnych maszyn i urządzeń. Szczegółowo omawiam to i wyjaśniam w innych publikacjach [Michałek 2002, 2006, 2010]. Tworząc wizje uniwersytetu przyszłości trzeba jeszcze poruszyć inny, rzadko dotykany problem a mianowicie komfort psychiczny nauczyciela akademickiego, który daje podstawę efektywności jego pracy.

Komfort psychiczny warunkiem efektywnej pracy uczonego

Aktualnie w Polsce zapanowała moda na oceny parametryczne, zarówno w odniesieniu do całych ośrodków naukowych, jak i pojedynczych ludzi. Wymaga się od uczonego, aby w proponowanym wniosku badawczym, z góry określić wymierne korzyści ekonomiczne bądź też punktowo oceniony efekt poznawczy, najlepiej poprzez wskazanie publikacji w wydawnictwach najwyższej rangi. W pewnym sensie można to zrozumieć od strony zarządzających i finansujących naukę. Gorzej, że my naukowcy, we własnym gronie zaczynamy podobnie myśleć i działać. W uzasadnieniu tego stwierdzenia pozwolę sobie zacytować kilka myśli ludzi, którzy wnieśli do nauki nieprzemijające wartości.

Albert Einstein „Gdybym wiedział co robię, to przecież nie byłaby to praca badawcza". W innym miejscu „Ludzie, którzy w istotny sposób przyczynili się do poszerzenia naszej wiedzy o świecie, nigdy nie pracowali z myślą o jakichś praktycznych, nie mówiąc już o wojskowych celach" [Einstein 2011]. Polski uczony L. Hirszfeld stwierdza: „Nie można planować nauki, jeżeli nie bierze się pod uwagę wewnętrznych pobudek uczonego". Stąd jego apel: „wy co zarządzacie i finansujecie naukę pamiętajcie, że planowanie i określanie priorytetów nie może być upoważnieniem dla ludzi niekompetentnych, bez talentu, żeby rządzili ludźmi z talentem" [Hirszfeldowa 1956]. Równocześnie Hirszfeld przestrzega ludzi nauki, którzy uczestniczą w tym procesie i swoim autorytetem wspierają posunięcia administracyjne władzy, że „Można zapomnieć zdobywcy grabież i nawet gwałt, ale nie można przebaczyć uczonemu, jeżeli próbuje to naukowo uzasadnić".

W powszechnej ocenie samego środowiska naukowego, źródło słabości polskiej nauki i szkolnictwa wyższego tkwi w decyzjach rządowych, przede wszystkim w niskich nakładach na naukę, zdecydowanie odstających w porównaniu z krajami wysokorozwiniętymi. Niewątpliwie jest w tym wiele racji, ale nie do końca wyjaśnia przyczynę stanu. Uspakaja natomiast samych twórców, czyli nas, przenosząc odpowiedzialność na polityków, sprawujących władzę. W ten sposób krąg się zamyka, winnych nie ma i tkwimy w mierności.

Poszukując drogi wyjścia z obecnej sytuacji, odwołam się do Ewangelii Św. Marka, w której zawarta jest przypowieść o siewcy [Praca zbiorowa]. Konkluzja dobrego plonu to dobry genetycznie materiał oraz środowisko, w które go zasiewamy. Rozwinięcie tej myśli przedstawiłem już wielokrotnie [Michałek 2002]. W tym miejscu wyrażę tylko ostateczną konkluzję, która sprowadza się do stwarzania komfortu psychicznego ludziom twórczej pracy. Odgrywają w tym bardzo istotną rolę kierownicy jednostek organizacyjnych w placówkach naukowych. O ich funkcji bardzo trafnie wyraża się Hirszfeld [Hirszfeldowa 1956]. Oto kilka Jego myśli: „Każdym ośrodkiem naukowym powinien kierować wybitny uczony. By zachęcić do dalekiej podróży trzeba wielkich podróżników a nie nauczycieli geografii. Kierownictwo ośrodków naukowych w rękach nie uczonych zamienia przybytki wiedzy w hotele odnajmujące pokoje do pracy….. Istnieją różne typy kierowników: jedni o kompleksie królewicza, którzy boją się następców i inni, którzy jak rodzice marzą o tym, by ich dzieci przerosły ich. Jeżeli chcemy stworzyć klimat naukowy, powinniśmy umieć cieszyć się dobrymi pracami innych….. Nastrój współzawodnictwa w nauce jest wskazany, ale należy dbać o to, by nie przerodził się w karierowiczostwo i bezinteresowną zazdrość, czyli zawiść".

Przedstawione myśli i stwierdzenia odnoszą się do środowiska naukowego i bazują głównie na osobie kierującej, gdyż to od niej w zasadniczej części zależy wytwarzany klimat naukowy, wpływający na komfort psychiczny pracy. Przykładem takiego wzorowego klimatu jest środowisko przedstawione przez Natsona [Praca zbiorowa 1994] „żyliśmy bez niskich rachub, bez lęku, bez jeszcze niż-

szych zazdrości, ile było uroku, ile cichej radości, w bliskiej przyjaźni, w zaufaniu wzajemnym, w obcowaniu prostym, łatwym, krzepiącym, w rozmowach śmiałych, polotnych, po których pozostawało mi wrażenie wspaniale odegranego koncertu". W takich właśnie warunkach istnieje komfort psychiczny, stwarzający warunki wysokiej efektywności pracy naukowej a każdy pojedynczy sukces jest radością i dumą całego zespołu.

Miarą kwalifikującą mistrza w nauce są osiągnięcia i sukcesy jego uczniów. Wielki jest nie ten, wobec, którego wszyscy czują się mali, ale ten przy którym wszyscy czują się wielcy. Zadaniem uczonego w stosunku do następców jest umożliwienie im realizacji talentów tkwiących w ludziach. Oceną zaś jego efektywności kształcenia jest świadome pomijanie w doborze kadry, ludzi bez talentu i charakteru. Kiedy się naukę przekazuje winno się odczuwać, że na tej drodze chce się przekazywać nie tylko wiadomości, ale cały swój świat wartości i umiłowanie nauki, aby uczniowie czuli jak im przyrasta nie tylko mózg ale i serce.

W tym kontekście istotne znaczenie ma kryterium doboru kandydatów do pracy naukowej. Spośród wielu pragnę przede wszystkim podkreślić kreatywność. Cecha ta jest potrzebna w każdym zawodzie, przede wszystkim w pracy twórczej, w nauce zaś niezbędna. Nawet największa pilność i rzetelność nie przyniosą sławy polskiej nauce, ani też polskich Noblistów, jeśli przy rekrutacji nie będziemy zwracać uwagi na kreatywność kandydatów. Szczegółowo na temat tego kryterium wypowiadałem się w innych publikacjach [Michałek 2008, 2009]. W oparciu o bogatą literaturę [Hiszfeldowa 1956, Kotarbiński 1975] w tym miejscu mogę tylko podsumować, że cecha kreatywności oznacza postawę twórczą pociągającą za sobą powstawanie nowych idei, koncepcji lub nowych skojarzeń. Stąd też kreatywność kojarzona jest z wielkimi przełomami, z innowacjami przewracającymi do góry nogami ustalony porządek świata. W odniesieniu do konkretnego człowieka kreatywność jest ukształtowana z trzech komponentów: wiedzy, motywacji i umiejętności twórczego myślenia. Aby je racjonalnie zdyskontować człowiek kreatywny w nauce wśród komfortu psychicznego potrzebuje przede wszystkim poczucia wolności. Stwarzając mu takie warunki musimy równocześnie od niego wymagać pełnej odpowiedzialności za podejmowane decyzje i czyny. Rozważania na ten temat były przedmiotem licznych publikacji [Michałek 2008]. W tym miejscu chcę się natomiast odnieść do motywacji i połączyć ją z systemem awansu w nauce. Z własnego doświadczenia mogę stwierdzić, że musi on być przejrzysty, jednoznaczny i sprawiedliwy. Każdy odniesiony sukces winien kojarzyć się z awansem naukowym popartym także materialnie. Stąd też uważam ogłaszanie konkursów na każde kolejne stanowisko za wypaczenie zasady racjonalnego awansu. Człowiek zmotywowany winien wiedzieć, że uzyskany kolejny stopień czy tytuł naukowy otwiera mu awans: po doktoracie na stanowisko adiunkta, po habilitacji na stanowisko profesora nadzwyczajnego a po tytule profesora na stanowisko profesora zwyczajnego. Ogłaszanie konkursów jest czysta fikcją i ośmiesza w pewnym sensie środowisko, które to czyni. Owszem

konkurs jest wskazany, ale przy rozstrzygnięciach w zarządzaniu nauką a więc: na stanowisko kierownika katedry, dziekana czy też rektora. W codziennej praktyce zamiast konkursu posługujemy się demokratycznymi wyborami. Pamiętajmy, że w pracy twórczej przesadna demokracja jest szkodliwa i zbyt kosztowna. Osobiście wolę wysłuchać koncertu, gdzie dyrygent dobiera muzyków, aniżeli chóru, którym muzycy demokratycznie wybierają dyrygentów. Praca twórcza ma swoje uwarunkowania.

Zamiast podsumowania, na zakończenie swoich rozważań dotyczących komfortu psychicznego w uniwersytecie przyszłości chcę zacytować myśli Pytkowskiego [1981] „Pragnąłbym, ażebyśmy w zawodzie naukowca odkryli istotne wartości i odczuli względem nauki swą miarę pewności i swego zaangażowania. By nasza praca nad sobą była wieloraka: wytrwała, cierpliwa, spokojna, spontaniczna, uporczywa, rzetelna i daleka od efekciarstwa a etyka była na takim poziomie, ażeby w momencie rozstania się z życiem, kiedy dusza nasza zostaje sama ze sobą, móc samemu sobie podać rękę".

Bibliografia

Aforyzmy, cytaty, złote myśli na świadomość (on-line). 2011. [Dostęp 09-05-2011]. Dostępny w Internecie: http://www.Jan-ostrowski.pl

Aforyzmy i cytaty łacińskie (on-line). 1999. [Dostęp 09-05-2011]. Dostępny w Internecie: http://www.lo3.zabrze.pl

Dobre obyczaje w nauce 1994. Komitet Etyki w Nauce przy Prezydium PAN. Maszynopis.

Einstein A. (on-line). 2011. Cytaty. [Dostęp 07-05-2011]. Dostępny w Internecie: http://www.fortunki.prv.pl

Haman J. 1996. O kierunkach rozwoju inżynierii rolniczej. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. Zeszyt Nr 443.

Hirszfeldowa H., Kelus A., Milgram F. 1956. Prace Wrocławskiego Towarzystwa Naukowego. Maszynopis.

Kotarbiński T. 1975. Traktat o dobrej robocie. Zakład Wydawnictw Ossolińskich. Warszawa.

Michałek R. 1983. Aby się wyżywić. Monografia. Ludowa Spółdzielnia Wydawnicza.

Michałek R. 1996. Rozważania nad systemem oceny nauki. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. Zeszyt Nr 443.

Michałek R. 2002. Uwarunkowania naukowego awansu w inżynierii rolniczej. Monografia. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej. Kraków.

Michałek R. 2006. Pozycja inżynierii rolniczej w strukturze nauki polskiej. Inżynieria Rolnicza Nr 11(86). Kraków.

Michałek R. 2008. Głos w sprawie klasyfikacji nauki. Nauka Nr 3. Warszawa.

Michałek R. 2008. Granice wolności i odpowiedzialności uczonego. Nauka Nr 3. Warszawa.

Michałek R. 2009. Oceniać naukę i jej twórców według właściwych kryteriów. Nauka Nr 3. Warszawa.

Michałek R. 2009. Od studium Rolniczego Uniwersytetu Jagiellońskiego do Uniwersytetu Rolniczego. Monografia. Prekursorzy Inżynierii Rolniczej w Krakowie. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej. Kraków.

Michałek R. 2010. Dylematy inżynierii rolniczej jako nauki i kierunku kształcenia. Inżynieria Rolnicza. Nr 7(125). Kraków.

Michałek R. 2010. Przyszłość inżynierii rolniczej na tle projektowanych zmian w nauce i szkolnictwie wyższym. Inżynieria Rolnicza. Nr 4(122). Kraków.

Praca zbiorowa 1994. Popularna Encyklopedia Powszechna. Fogra Oficyna Wydawnicza.

Praca zbiorowa 2009. Założenia do nowelizacji Ustawy – Prawo o szkolnictwie wyższym oraz Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Maszynopis.

Praca zbiorowa. Pismo święte.

Pytkowski W. 1981. Organizacja badań i ocena prac naukowych. Państwowe Wydawnictwo Naukowe. Warszawa.

Szulc T. 2001. Przyszłość nauki i edukacji rolniczej. Przegląd Hodowlany. Nr 9.

PROMIENIOWANIE SŁONECZNE JAKO SYGNAŁ WYMUSZAJĄCY W BADANIACH DIAGNOSTYCZNYCH SŁONECZNYCH INSTALACJI GRZEWCZYCH

Andrzej Chochowski

Katedra Podstaw Inżynierii
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
e-mail: andrzej_chochowski@sggw.pl

Wprowadzenie

Dziś już nie dyskutuje się czy wykorzystywać odnawialne źródła energii (OZE), ale jak maksymalizować uzyskiwane efekty energetyczne. Służą temu nowe konstrukcje o wyższej sprawności zarówno kolektorów słonecznych, ogniw PV, pomp ciepła, oryginalne koncepcje łączenia ze sobą różnych technologii energii odnawialnej, np. przez budowę tzw. systemów hybrydowych. Słoneczne instalacje grzewcze, wymienniki gruntowych, wiatraki, panele fotowoltaiczne, to współpracujące ze sobą segmenty hybrydowego systemu zasilania energią odnawialną. Są opracowane metody doboru powierzchni kolektorów słonecznych na potrzeby przygotowania ciepłej wody użytkowej (cwu), podobnie jak metody doboru rozmiarów i rodzaju wymiennika gruntowego odpowiednio do wymagań cieplnych użytkownika. Mimo wszystko podczas eksploatacji czasami nie uzyskuje się planowanych efektów, chociaż inwestycja została wykonana zgodnie z wytycznymi projektowymi. Zdarza się, że system jest przewymiarowany i istnieje ryzyko uszkodzenia elementów układu. Potrzebna jest wówczas diagnoza, na podstawie której ustalona będzie przyczyna niskiej efektywności, czy w skrajnych przypadkach ustalenie przyczyn awarii systemu. W literaturze z tego zakresu brakuje metod diagnozowania systemów hybrydowych, w tym także słonecznych instalacji grzewczych.

Wypracowanie metod diagnostycznych wymaga wieloletnich badań eksploatacyjnych zapewniających bazę danych pomiarowych wielkości stanowiących o warunkach i wynikach pracy systemu. Potrzebne jest monitorowanie systemów i szeroka współpraca w ramach tych zagadnień różnych ośrodków badawczych. Wspólnych ustaleń wymagają nie tylko metody pomiarów, ale dobór przyrządów pomiarowych i częstotliwość pomiarów. Czujniki pomiarowe powinny zachowywać odpowiednią klasę dokładności. Dla niektórych wielkości, np. promieniowanie słoneczne, wymagane jest stosowanie przyrządów dopuszczonych przez

WMO (Światową Organizację Meteorologiczną), zapewniających porównywalność wyników pomiarów. Z tym są trudności, mało jest bowiem ośrodków badawczych prowadzących tego typu badania, które są zarówno koszto- i czasochłonne. Użytkownik instalacji (systemu) na ogół ogranicza się wyłącznie do zainstalowania licznika ciepła, czy energii elektrycznej. Nie prowadzi monitoringu pracy. Dostępne archiwum wyników pracy systemów wykorzystujących OZE jest więc skromne. W wypracowaniu metod diagnostycznych wskazane jest monitorowanie systemów o zróżnicowanej strukturze udziału poszczególnych segmentów i zróżnicowanych warunkach pracy. Istotne jest więc wypracowanie standardów określających warunki pozwalające na porównywanie efektów pracy systemów. Podawanie wyników pomiarów sygnałów jako wartości uśrednionych i na ich podstawie próby długoterminowego prognozowania efektów oraz wyciąganie wniosków, mogą być myląće. Z taką sytuacją spotykamy się przykładowo przy charakteryzowaniu warunków słonecznych przez podawanie dobowej dawki napromienienia słonecznego (DNS). Podobnie rzecz dotyczy zużycia ciepłej wody użytkowej. Dla efektów pracy instalacji słonecznej istotny jest godzinowy rozkład promieniowania słonecznego (podobnie jak i zużycie wody). Jeśli podawana jest wartość DNS, to do poprawnej analizy wyników pracy instalacji koniecznie jest jeszcze znajomość zmienności w ciągu doby tego promieniowania. Ważna jest informacja, ile energii słonecznej dotarło do powierzchni kolektorów, a także jakie było zachmurzenie i jego zmienność, w jakiej porze dnia, czy w czasie najsilniejszej operacji słonecznej, czy może tylko w godzinach porannych lub późno popołudniowych. Określenie i klasyfikacja warunków nasłonecznienie jest to trudna. W literaturze spotykane są próby opisu tego zagadnienia [Bzowska, Kossecka 1992; Bzowska, Kossecka 1993; Chochowski, Wieczorek 1998; Trajer, Czekalski 2005], ale są one mało precyzyjne.

Na efektywność pracy, mają wpływ także parametry konstrukcyjnych instalacji słonecznej: typ i budowa kolektora, układ połączeń, rozmiary instalacji, pojemność zbiornika akumulacyjnego, struktura instalacji. Jeśli uwzględni się jeszcze wymuszenia zewnętrzne (promieniowanie słoneczne, zużycie ciepłej wody), które mają charakter stochastyczny, to dla porównywania wyników pracy instalacji grzewczych eksploatowanych w różnych, odległych od siebie miejscach, trudno znaleźć dni z analogicznymi warunkami.

Opis stanowiska badawczego

Badania zmierzające do wypracowania metod diagnostycznych słonecznych instalacji grzewczych (a także systemów hybrydowych) prowadzone są w Szkole Głównej Gospodarstwa Wiejskiego (SGGW) na dwóch stanowiskach badawczych:

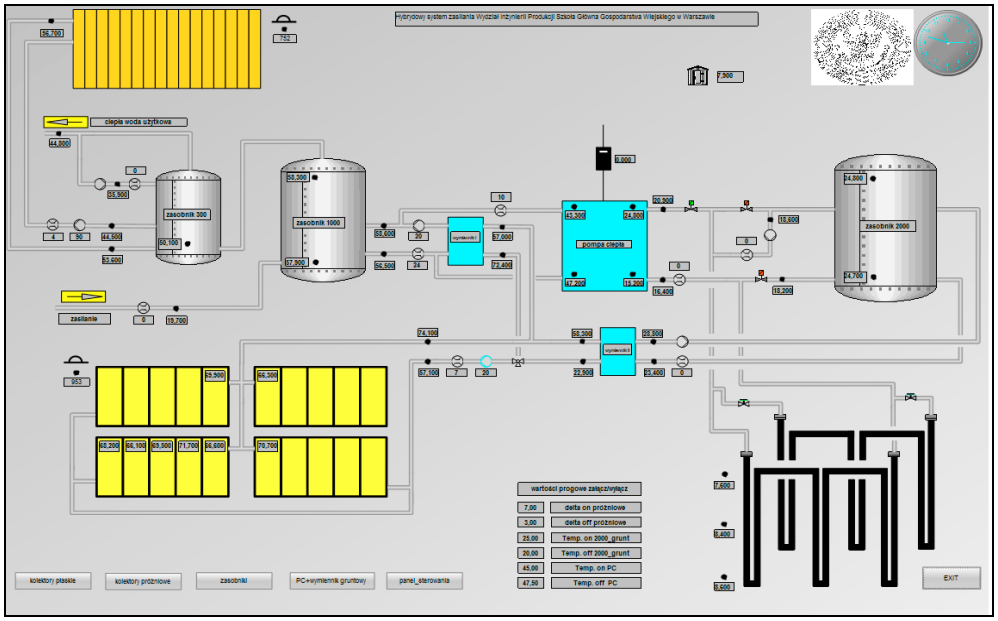
1) Na terenie SGGW rejestrowane jest natężenie promieniowania słonecznego na różnie orientowanych płaszczyznach pomiarowych: poziomej, nadążnej i pochyłej eksponowanej w kierunku południowym. Wyniki pomiarów służą do oceny zasobów energii słonecznej i możliwości wypracowania metodyki klasyfikacji dobowego rozkładu promieniowania jako sygnału wymuszającego,

2) w Budach Grabskich k/Skierniewic, gdzie hybrydowy system zasilania energią odnawialną zapewnia ciepła wodę użytkową na potrzeby obiektu hotelowego. Prowadzone tu badania eksploatacyjne służą do wypracowania metod diagnostycznych słonecznych instalacji grzewczych (oraz innych systemów zasilania energią odnawialną).

Badanie zasobów energii słonecznej na terenie SGGW w Warszawie-Ursynowie prowadzone są od ponad 20 lat. Posiadając dużą bazę danych pomiarowych opracowywane są metody klasyfikacji dni pod kątem dawki napromienienia słonecznego (DNS), z uwzględnieniem rozkładów promieniowania słonecznego w ciągu dnia. DNS określa całkowitą energię promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni 1 m^2 kolektora w ciągu doby.

Hybrydowy system zasilania energią odnawialną w Budach Grabskich składa się z instalacji słonecznych i geotermalnej (geotermia płytka). Służy do przygotowania ciepłej wody użytkowej dla obiektu hotelowego. Współpracuje z kotłownią olejową i bojlerami elektrycznymi zasilanymi z ogólnodostępnej sieci elektroenergetycznej. Segment słoneczny to dwie oddzielne instalacje grzewcze składające się z:

– 20 kolektorów płaskich o łącznej powierzchni 40 m^2, współpracujących poprzez wymiennik ciepła ze zbiornikiem ciepłej wody użytkowej (cwu) 1000 dm^3 i opcjonalnie z akumulatorem ciepła 2000 dm^3, również poprzez wymiennik,
– 6 m^2 kolektorów próżniowych typu *heat pipe* współpracujących ze zbiornikiem cwu 300 dm^3 w układzie wymiennika ciepła.



Rys. 1. Schemat systemu stanowiska badawczego w Budach Grabskich (display monitoringu)

Cały system jest opomiarowany z pełną archiwizacją baz danych (rys. 1). Wielkości pomiarowe to: temperatura, przepływy czynników roboczych, promieniowanie słoneczne na płaszczyznach oby kolektorów, energia elektryczna zużywana na potrzeby pracującego systemu hybrydowego. Wyniki pomiarów rejestrowane są co 1 min. Monitoring prowadzony jest od ponad 12 lat, co pozwala już na statystyczne oszacowanie przebiegu zmienności sygnałów.

Sygnały wymuszające

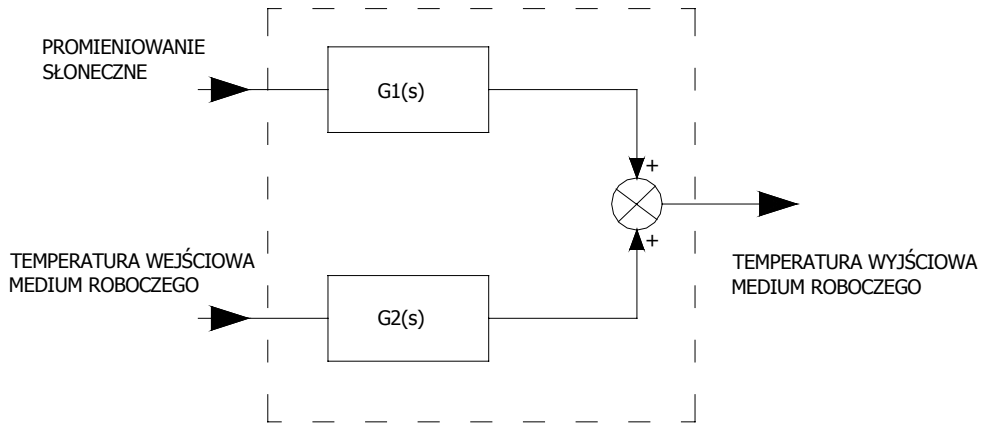
Podstawowym sygnałem wymuszającym dla segmentu słonecznej instalacji grzewczej jest promieniowanie słoneczne. Jest to sygnał wejściowy dla kolektora (baterii kolektorów). Jego deterministyczny charakter wynikający z następujących po sobie cykli dnia i nocy oraz pór roku zakłócany jest chwilowymi zachmurzeniami, zwiększonym zapyleniem itd. Najczęściej jest przyjmowany jako sygnał stochastyczny [Bzowska, Kossecka 1992; Bzowska, Kossecka 1993]. Poprawnie jednak należy przyjmować, że to zakłócenia mające charakter stochastyczny wpływają na związany z ruchem Słońca po nieboskłonie deterministyczny przebieg promieniowania [Chochowski, Wieczorek 1998]. Opis promieniowania słonecznego jest zależny od położenia geograficznego punktu pomiarowego. Promieniowanie słoneczne jest sygnałem wymuszającym o przebiegu nie podlegającym w zasadzie możliwościom korygowania, nie może być sygnałem sterującym. Na rysunku 2 przedstawiono kolektor jako element automatyki z promieniowaniem słonecznym jako jednym z dwóch sygnałów wejściowych.

Drugim, ważnym dla efektów pracy instalacji słonecznej, sygnałem jest przebieg dobowy zużycia ciepłej wody. Silnie skorelowany z tym sygnałem jest sygnał - temperatura wody na wlocie do kolektora (rys. 2). Aczkolwiek można mieć pewien wpływ na jego przebieg i przyjmować w prowadzonych badaniach symulacyjnych modelowy jego rozkład, uwzględniający np. specyfikę użytkownika, to praktycznie może to być także sygnał o charakterze stochastycznym. Możliwe jest jednak wykorzystywanie go jako sygnału sterującego.

Analiza obu sygnałów wejściowych i możliwość sklasyfikowania ich przebiegów pozwoli dopiero na przyjęcie i rozpoznanie jako sygnału diagnostycznego np. temperatury wyjściowej medium roboczego.

Często w literaturze spotyka się zestawienia uzyskanych efektów energetycznych w różnych instalacjach słonecznych, ze wskazaniem wyższości jednego rozwiązania nad drugim. Porównanie zwykle odnoszone jest dla określonej sumarycznej dobowej dawki napromienienia słonecznego (DNS). Czasami podawane jest też całkowite dobowe zużycie ciepłej wody użytkowej (cwu). Autorzy publikacji nie odnoszą się do zmienności promieniowania w ciągu dnia ani dobowego rozkładu poboru cwu. Porównywania różnych rozwiązań konstrukcyjnych słonecznych instalacji grzewczych bez uwzględnienia przebiegów sygnałów (rozkła-

du) wymuszających są mało sensowne. Przede wszystkim dlatego, że efekty pracy instalacji zależą od tzw. wartości progowych promieniowania, ale także od rozkładu tego promieniowania. Dla efektywnego wykorzystania energii promieniowania słonecznego istotne są natężenia promieniowania powyżej 300 $W \cdot m^{-2}$. Ważne jest czy natężenie o wartości progowej, przykładowo 600 $W \cdot m^{-2}$ trwało 2 godziny, czy też chwilowo osiągało co prawda wartość 900 $W \cdot m^{-2}$, ale czas ekspozycji był dosyć krótki (zachmurzenie zmienne). Pomiary pyranometryczne mogą wskazywać dla dwóch różnych dni zbliżoną wartość DNS, ale efekty pracy kolektora będą inne. Jego praca jest wyjątkowo dynamiczna, bowiem zmieniające się wymuszenia powodują także zmianę jego właściwości termicznych. Jest to spowodowane silną zależnością oporów cieplnych od temperatury.



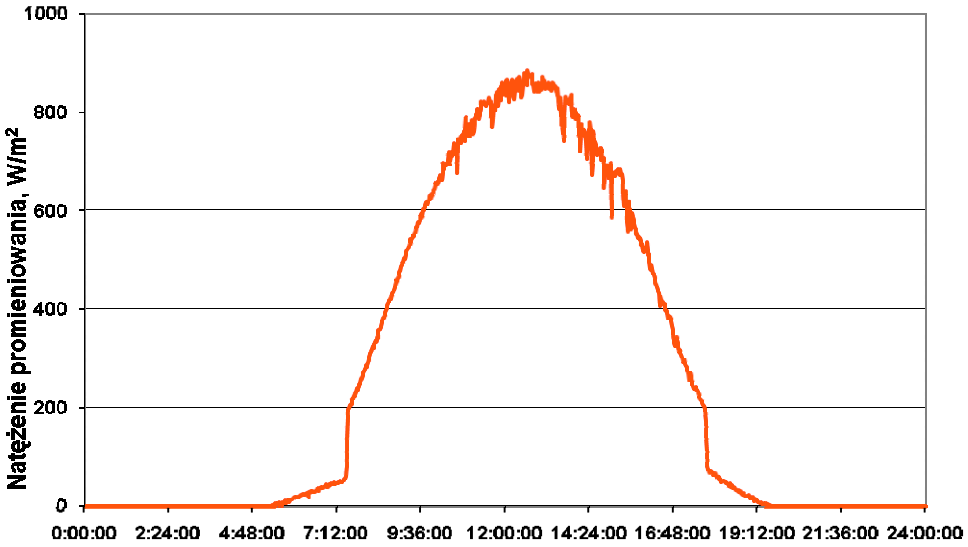
Rys. 2. Model kolektora jako elementu automatyki [Obstawski 2005].

Jeśli dodatkowo instalacja słoneczna pracuje w systemie hybrydowym współpracując z innymi źródłami energii, to tym trudniejsze jest porównywanie rozmaitych rozwiązań, czy ustalenie np. przyczyn niskiej efektywności energetycznej kolektorów. Bez wprowadzenia dodatkowych kryteriów podobieństwa sygnałów wymuszających wszelkie porównywania lub odniesienia są mało sensowne.

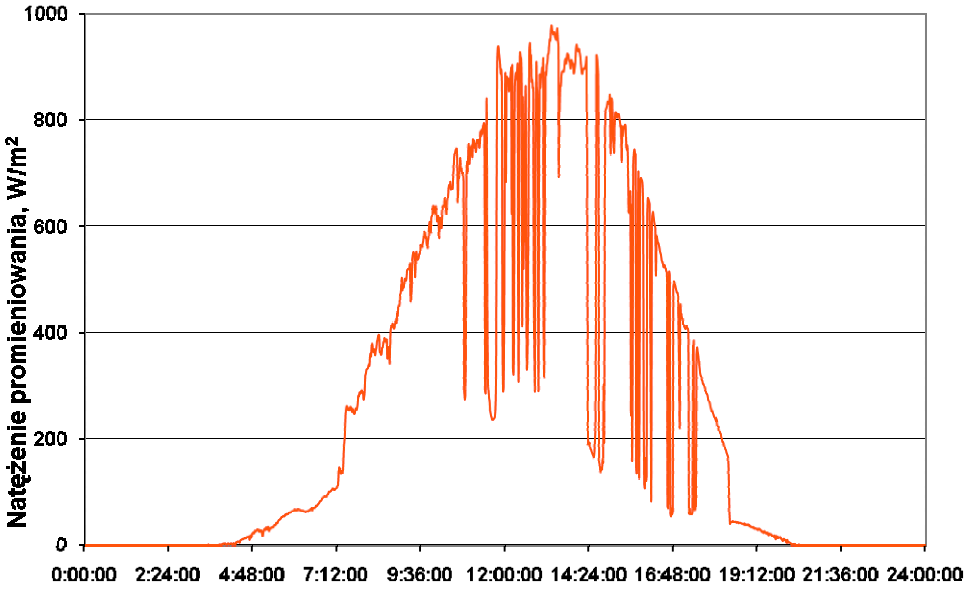
Na rys. 3 i 4 pokazano przebiegi promieniowania słonecznego dającego dobową dawkę napromienienia słonecznego (DNS) na tym samym poziomie 6 $kWh \cdot m^{-2}$. Na pierwszym z nich widać, że deterministyczny rozkład promieniowania jest zakłócony w godzinach około południowych chwilowymi zachmurzeniami o niezbyt dużych wahaniach. Maksymalna chwilowa wartość promieniowania słonecznego tego dnia wynosi 880 $W \cdot m^{-2}$. W drugim z prezentowanych dni zachmurzenie utrzymuje się praktycznie cały dzień, z tym, że w godzinach popołudniowych jest bardzo duże. Chwilowe wartości natężenia promieniowania

przekraczają 970 W·m^{-2} i są wyższe niż na poprzednim rysunku, ale DNS jest na tym samym poziomie. Nie ma wątpliwości, że efekty pracy instalacji słonecznej będą różne i to nawet dla tego samego przebiegu zużycia ciepłej wody. Powodem tego będą duże wahania promieniowania zarejestrowane w przebiegu pokazanym na rys. 3. Prowadzone badania pracy kolektora słonecznego wskazują, że w tym przypadku nie będzie w stanie wykorzystać chwilowych wysokich wartości promieniowania. Uniemożliwia mu to duża częstotliwość zmian tego promieniowania. W sensie elektrycznym kolektor dzięki swojej inercji zachowuje się jak filtr dolno przepustowy. Tłumi sygnał wymuszający *promieniowanie słoneczne* po przekroczeniu pewnej wartości częstotliwości tzw. progowej f_o. Zakres częstotliwości przenoszenia <0, f_o> jest zależny od stałej czasowej kolektora (baterii kolektorów). Jest ona funkcją parametrów konstrukcyjnych kolektora, rozmiarów całej baterii, ale również zależy od parametrów pracy [Chochowski 1991; Obstawski 2005].

Pojawia się więc potrzeba opracowania metody określania jednoznacznie dobowych rozkładów promieniowania słonecznego. Po to, by można przyjąć, że sygnał wymuszający jakim jest *promieniowanie słoneczne* dla różnych analizowanych przypadków jest maksymalnie zbieżny. Warunki pogodowe zaprezentowane na rys. 3 i 4 należy uznać jako zasadniczo różne, w związku z tym porównywanie efektów pracy instalacji słonecznej dla tych dni należy uznać za niezasadne.



Rys. 3. Rozkład promieniowania w dniu 19.08.2002r., DNS=6,3 kWh ·m^{-2}



Rys. 4. Rozkład promieniowania w dniu 2.07.2005r., DNS=6,2 kWh·m^{-2}

Prowadzone w SGGW badania klasyfikacyjne dobowych warunków promieniowania słonecznego mają na celu rozpoznanie grup o pewnym podobieństwie zmienności cechy w całej populacji dni. Metody i kryteria klasyfikacji stosowane dotychczas w literaturze zakładają ograniczoną liczbę klas. Jedni autorzy przyjmują tylko 3 klasy (całkowicie bezchmurne niebo, częściowo zachmurzone zachmurzenie całkowite), a inni rozszerzają je do 7 wprowadzając pośrednie kombinacje. Wydaje się, że to jednak mało precyzyjna klasyfikacja na potrzeby diagnostyki słonecznych instalacji grzewczych. Ponieważ każdy dzień zostaje zakwalifikowany do jednej z tych klas, to do tego samego zbioru trafiają dni o różniących się jednak charakterystykach zmienności promieniowania słonecznego. W ramach realizowanego grantu[1] opracowywane są dwie metody kwantyfikacji dobowej zmienności promieniowania słonecznego. W rezultacie każdy dzień ma być jednoznacznie opisany wymiernymi wskaźnikami, tzn. dawką DNS i wskaźnikiem zmienności promieniowania.

[1] Grant KBN 033/B/P01/2009/36: Identyfikacja parametryczna jako metoda diagnostyki hybrydowych systemów zasilania energią odnawialną.

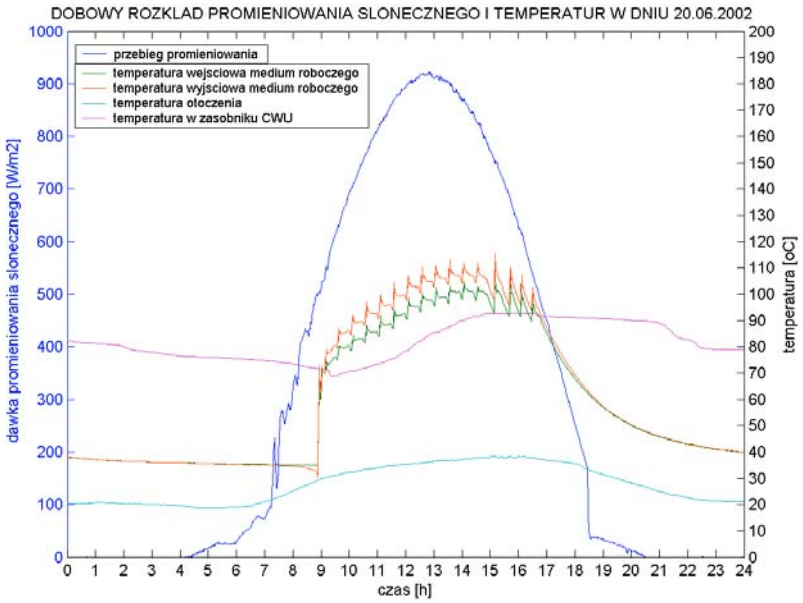
Dynamika pracy kolektora słonecznego

Od kilku lat prowadzimy badania dynamiki elementów hybrydowego systemu zasilania energią odnawialną na stanowisku w Budach Grabskich (rys. 1). Szczególnej uwadze poddano dwie instalacje grzewcze stanowiące segment słoneczny. Instalacja z płaskimi kolektorami słonecznymi analizowana była w pracach [Chochowski, Wieczorek 1998; Obstawski 2005]. Zainteresowanie stanami dynamicznymi wynika nie tylko z celów poznawczych, ale posiada aspekt utylitarny. Prezentujemy pogląd, że efektywność pracy instalacji słonecznej i całego systemu hybrydowego można podwyższyć przez odpowiedni dobór algorytmu sterowania. Opracowanie właściwego algorytmu sterowania wymaga wcześniejszego przeprowadzenia identyfikacji dynamicznej poszczególnych elementów systemu. Zajmując się identyfikacją kolektora (baterii kolektorów) przedstawiono go jako obiekt dwu wejściowy i jedno wyjściowy (rys. 2). Sygnałami wejściowymi są natężenie promieniowania słonecznego i temperatura medium na wlocie kolektora. Sygnałem wyjściowym jest temperatura medium na wylocie kolektora, którą też przyjęto jako sygnał diagnostyczny w opracowywanej metodzie diagnozowania instalacji słonecznych.

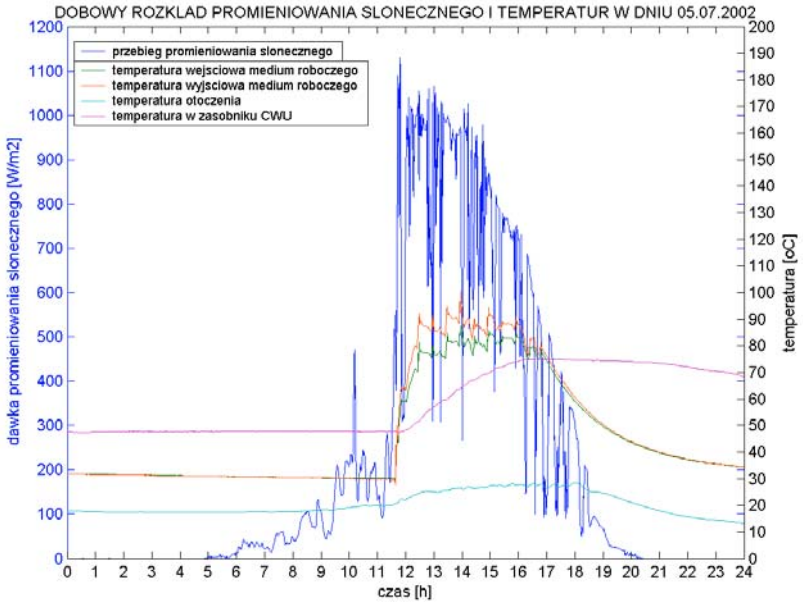
W trakcie eksploatacji instalacji słonecznej rejestrowane są przebiegi wszystkich sygnałów. Na ich podstawie metodą identyfikacji parametrycznej [Janiszowski 2002] określono właściwości dynamiczne kolektora przez wyznaczenie transmitancji operatorowych G1(s) i G2(s) z rys. 2, a następnie charakterystyki skokowe i częstotliwościowe dla różnych warunków pracy kolektorów.

Na rys. 5 przedstawiono wykres z monitoringu pracy w dniu 20.06.2002. Dla idealnej pogody, prawie bezchmurnego nieba charakterystyka skokowa baterii kolektorów płaskich (wyznaczona dla G1(s)), określająca wpływ promieniowania na temperaturę wyjściową kolektora, miała przebieg pokazany na rys. 6. Wskazują ona na nieminimalnofazowy charakter obiektu. Analogiczne właściwości wykazuje obiekt dla drugiego z sygnałów wejściowych – temperatury na wlocie kolektora (dla transmitancji G2(s)).

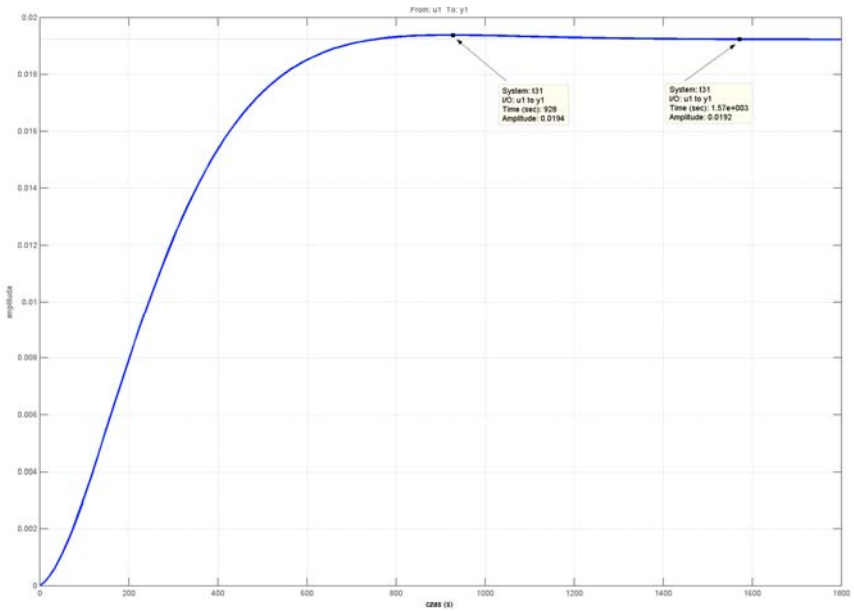
Jeśli jednak pogodę cechuje duża zmienność promieniowania słonecznego tak jak pokazano na rys. 7, to kolektor wykazuje typowe właściwości obiektów inercyjnych (rys. 8). Pierwsza połowa dnia to całkowite zachmurzenie. W drugiej części chwilowe wartości promieniowania są bardzo wysokie (przekraczające 1000 $W \cdot m^{-2}$), ale pogodę charakteryzują zachmurzenia o dużej częstotliwości. Kolektor nie wychwytuje wartości chwilowych, a reaguje jedynie na wartości średnie. Zachowuje się jak filtr dolno-przepustowy, tzn. tłumi sygnał o częstotliwościach przekraczających pewną wartość progową. Jego charakterystykę częstotliwościową pokazano na rys. 9.



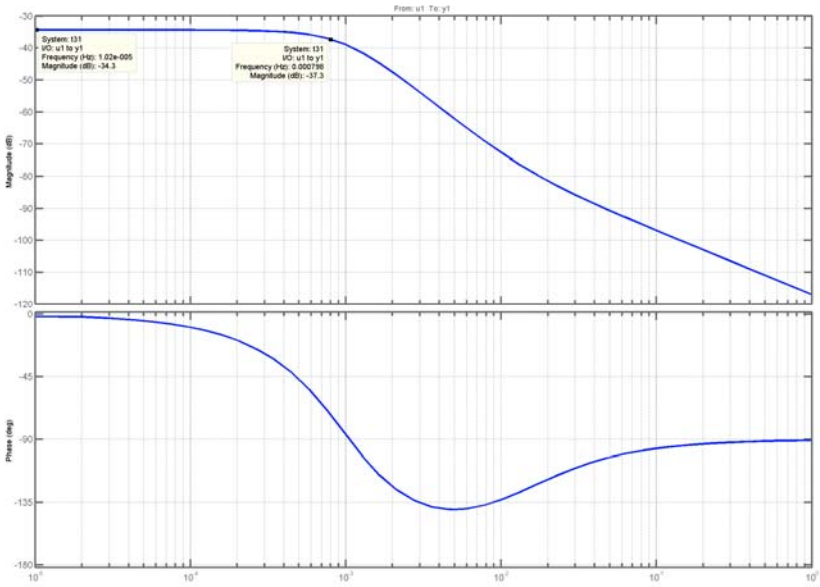
Rys. 6. Charakterystyka skokowa kolektora dla warunków z dnia 20.06.2002r



Rys. 7. Wykres z monitoringu pracy instalacji kolektorów płaskich dla 5.07.2002r



Rys. 8. Charakterystyka skokowa kolektora dla warunków z dnia 5.07.2002r.



Rys. 9. Charakterystyki częstotliwościowe kolektorów płaskich wyznaczone dla warunków z dnia 5.07.2002

Wnioski

Na potrzeby porównywania efektów pracy słonecznych instalacji grzewczych lub ich diagnozowania należy jednoznacznie określać warunki pracy. Dla jednoznaczności określania warunków napromienienia słonecznego jest rzeczą konieczną wprowadzenia dodatkowych wskaźników klasyfikacyjnych. Podawanie jedynie sumarycznej dobowej dawki DNS jest niewystarczające.

Właściwości dynamiczne kolektora w pewnym stopniu zależą od przebiegu promieniowania słonecznego. Przy dużej częstotliwości zmian promieniowania sygnał ten jest przez kolektora tłumiony.

Wydaje się, że sterowania pracą instalacji, czy też całego systemu hybrydowego, może mieć istotny wpływ na jej funkcjonowanie i efektywność pracy. Wypracowanie procedur diagnostycznych słonecznych instalacji grzewczych (czy ogólnie – hybrydowych systemów zasilania) wymaga dalszych badań dynamiki elementów składowych z uwzględnieniem analizy zewnętrznych sygnałów wymuszających.

Bibliografia

Bzowska D., Kossecka E. 1992. Analiza probabilistyczna dobowych danych pogodowych dla Warszawy. Prace IPPT PAN. Nr 10. Warszawa.

Bzowska D., Kossecka E. 1993. Analiza promieniowania słonecznego w Warszawie w aspekcie energetyki słonecznej. Zesz. Nauk. IPPT PAN. nr 4.

Chochowski A. 1991. Analiza stanów termicznych płaskiego kolektora słonecznego. Wydawnictwa SGGW. Warszawa.

Chochowski A., Wieczorek J. 1998. Próba deterministycznego opisu napromienienia słonecznego powierzchni pochyłej. COW. Nr 1.

Chochowski A., Obstawski P. 2005. Model parametryczny baterii kolektorów słonecznych. Inżynieria Rolnicza. Nr 14.

Janiszowski K. 2002. Identyfikacja modeli parametrycznych w przykładach. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT. Warszawa.

Obstawski P. 2005. Modelowanie dynamiki pracy płaskiego kolektora słonecznego. Rozprawa doktorska. Wydział Inżynierii Produkcji SGGW. Warszawa 2005.

Trajer J., Czekalski D. 2005. Prognozowanie sum napromienienia słonecznego dla potrzeb energetyki słonecznej. Inżynieria Rolnicza. Nr 8(68). Kraków.

UWARUNKOWANIA TECHNICZNE STOSOWANIA FAME W EKSPLOATACJI POJAZDÓW ROLNICZYCH

Bogusław Cieślikowski

Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
e-mail: bcieslikowski@ur.krakow.pl

Ocena właściwości użytkowych FAME

Perspektywa wyczerpania się zasobów paliw konwencjonalnych, obawy o stan środowiska naturalnego a przede wszystkim rosnące ceny ropy naftowej przyspieszyły zainteresowanie technologiami biopaliwowymi [Koenig 1997]. Wykorzystanie energii ze źródeł odnawialnych jest jednym z ważniejszych elementów zrównoważonego rozwoju gospodarki z ukierunkowaniem na uruchomienie pokaźnych rezerw w rolnictwie z równoczesną poprawą wskaźników ekonomicznych, co ma strategiczne znaczenie dla rozwoju naszego kraju. W odróżnieniu od pozostałych sektorów gospodarki, sektor rolniczy posiada możliwość wytworzenia własnych nośników energetycznych i paliw dostosowanych do wymogów istniejącej struktury technicznej sprzętu rolniczego. Równocześnie zaznacza się postęp technologiczny w dziedzinie silników pojazdów rolniczych stymulowany niskim wskaźnikiem uciążliwości dla środowiska naturalnego, w tym głównie niskim poziomem emisji substancji toksycznych spalin przy niskim jednostkowym zużyciu paliwa i zachowaniu normatywnego poziomu hałasu.

Eksploatacja pojazdów rolniczych uwarunkowana jest sezonowością prac polowych, co wprowadza dodatkowe wymagania w stosunku do standardowych właściwości biopaliw. Wprowadzenie na rynek biokomponentów o znacząco odmiennej strukturze chemicznej i właściwościach fizyko-chemicznych w stosunku do oleju napędowego (ON) musi rodzić obawy, że wypracowane przez lata technologie paliw węglowodorowych zostaną niebezpiecznie zakłócone [Cieślikowski, Jakóbiec 2010]. W przypadku stosowania mieszanin ON i RME (Rapseed Oil Methyl Esters) istnieje wiele obszarów badań wymagających dalszego rozeznania, zwłaszcza w zakresie współdziałania biopaliwa z olejem silnikowym, kompatybilności materiałów konstrukcyjnych silnika z biopaliwem, trwałości aparatury paliwowej oraz stabilności cech fizyko-chemicznych RME w warunkach przechowywania [Cieślikowski 2009].

Podstawowym rodzajem biopalwa wykorzystywanym do zasilania silników pojazdów rolniczych jest FAME (Fatty Acid Methyl Esters) wytworzone w procesie transestryfikacji trójglicerydu, głównie z udziałem alkoholu metylowego lub etylowego w obecności katalizatora alkalicznego lub kwaśnego, prowadząc do uzyskania estrów alkilowych kwasów tłuszczowych i fazy glicerolowej. Zastosowanie estrów metylowych wyższych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego do napędu pojazdów rolniczych stanowi jeden z najważniejszych problemów technologicznych z uwagi na potrzebę spełnienia wymagań jakości równorzędnych w stosunku do paliw węglowodorowych [Dreszer, Michałek, Roszkowski 2003]. Rozwijająca się w Polsce produkcja biopaliw w małych rafineriach i agrorafineriach napotyka na zasadnicze problemy technologiczne co skutkuje tym, iż tylko nieliczne wytwórnie są w stanie wyprodukować FAME, spełniające wymogi jakościowe wg normatywów zawartych w tabeli 1. Wymagania jakościowe w odniesieniu do biopaliw zostały podane w rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 22 stycznia 2007 r. Przyczyną stanu rozbieżności parametrów biopaliw jest brak odpowiedniej wiedzy lub wystarczającej ilości środków na zakup wysokowydajnych reaktorów. Przykładem właściwego rozwiązywania problemów technologicznych są prace podjęte w Małopolskim Centrum Odnawialnych Źródeł Energii „BioEnergia".

Specyfika eksploatacji ciągników rolniczych a zwłaszcza maszyn samobieżnych odnosi się głównie do wąskich przedziałów czasu eksploatacji z koniecznością pozostawienia paliwa w układzie zasilania silnika na długi okres przestoju silnika. Okresowość wykorzystania sprzętu rolniczego zasilanego FAME przy podwyższonej zawartości wolnej gliceryny może stwarzać problemy eksploatacyjne związane z tendencją gliceryny do wytrącania osadów. Wysoki poziom całkowitej zawartości gliceryny może prowadzić do zanieczyszczenia końcówek wtryskiwaczy, tworzenia osadów w strefie pierścieni oraz w komorach spalania silników. Wytwarzanie przez rolników biopaliwa pozbawionego pakietu dodatków uszlachetniających pochodzących z własnych agrorafineriach zasadniczo pogarsza przewidywalność cech fizyko-chemicznych FAME. Prace badawcze prowadzone na Wydziale Inżynierii Produkcji i Energetyki UR przy współpracy z Instytutem Technologii Nafty i Gazu (ITNiG) w Krakowie wykazały znaczne rozbieżności parametrów badanych próbek RME pochodzących z agrorafinerii w stosunku do wartości określonych normą PN-EN14214 [Cieślikowski 2009].

Kształtowanie procesu wtrysku paliwa wyznaczających przebieg faz i kinetykę procesu spalania w komorze silnika z ZS jest ściśle uzależnione od parametrów FAME [Haas 2004]. Aparatura paliwowa poprzednich generacji silników nie była projektowana dla celów stosowania zróżnicowanych pod względem cech fizykochemicznych FAME i ON. Zasady optymalizacji procesu wtrysku paliwa powinny uwzględniać brak stabilności cech biopaliw w odniesieniu do zmiennych warunków procesu eksploatacji pojazdów rolniczych. Należy uwzględnić wyniki badań laboratoryjnych procesów starzeniowych FAME w określonych warunkach i czasie

przechowywania a także podatność na rozkład mikrobiologiczny i właściwości niskotemperaturowe. Odmienny przebieg procesów starzenia FAME sprawia, że klasyczne metody oceny skłonności paliw do utleniania, wykorzystywane od wielu lat w badaniach ON nie odzwierciedlają tych stanów w paliwach estrowych. Właściwości fizyko-chemiczne RME ulegają zmianie, zwłaszcza w wyniku niekorzystnych warunków ich przechowywania [Prankl 2004].

Tabela 1. Limitowane parametrów dla biopaliw FAME wg EN 14214

Właściwości	Jednostka	Limity		Metoda testowania
		minimum	maximum	
Gęstość 15°C	$kg \cdot m^{-1}$	860	900	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Lepkość. w 40°C	$mm^2 \cdot s^{-1}$	3.5	5,0	EN ISO 3104
Temperatura zapłonu	°C	Powyżej 101		ISO/CD 3679
Zawarto& siarki	$mg \cdot kg^{-1}$	-	10	
Stała węglowa	$\%(m \cdot m^{-1})$	-	0,3	EN ISO 10370
Wartość kwasowa	mg $KOH \cdot g^{-1}$	0,5		EN 14104
Liczba cetanowa		51,0		EN ISO 5165
Zawartość popiołu	$\% (m \cdot m^{-1})$	-	0,02	ISO 3987
Zawartość wody	$mg \cdot kg^{-1}$	-	500	EN ISO 12937
Osad vo1,%	0.05			
Zanieczyszczenia ogółem	$mg \cdot kg^{-1}$	-	24	EN 12662
Korozja miedzi (3 h, w 50 °C)	klasyfikacja		Klasa 1	EN ISO 2160
Stabilność tlenowa	It	6	-	EN 14112
Zawartość estru	$\% (m \cdot m^{-1})$		12	EN 14103
Zawartość metanolu	$\% (m \cdot m^{-1})$		0,2	EN 14110
Nienasycone estry metylowe (>= 4 podwójne wiązania)	$\% (m \cdot m^{-1})$		1	
Zawartość monoglicerydów	$\% (m \cdot m^{-1})$		0,8	EN 14105
Zawartość dwuglicerydów	$\% (m \cdot m^{-1})$		0,2	EN 14105
Zawartość trójglicerydów	$\% (m \cdot m^{-1})$		0,2	EN 14105
Zawartość wolnej frakcji glicerynowej	$\% (m \cdot m^{-1})$		0,02	EN 14105 EN 14106
Zawartość gliceryny ogółem	$\% (m \cdot m^{-1})$		0,25	EN 14105
Liczba jodowa			120	EN 14111
Fosfor	$mg \cdot kg^{-1}$		10	EN 14107
Zawartość zasad (Na 4 K)	$mg \cdot kg^{-1}$		5	EN 14108, EN 14109

Porównanie właściwości fizyko-chemicznych ON i RME przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Porównanie właściwości fizyko-chemicznych ON i RME

Lp.	Wyszczególnienie	Olej napędowy		Estry metylowe kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego
		Wartość średnia	Zakres rozrzutu	
1.	Gęstość w temp. 15°C [kg·dm^{-3}]	0,83	0,817–0,856	0,86−0,90
2.	Lepkość kinetyczna w temp. 20°C [mm^2·s^{-1}]	3,80	2,90−8,50	6−9
3.	Wartość opałowa [MJ·kg^{-1}]		42,7−43,5	37,0−37,2
4.	Wartość opałowa [MJ·dm^{-3}]		25,69−35,75	32,4−33,1
5.	Liczba cetanowa LC	52,3	47,10−58,60	45−59
6.	Masa molowa [kg·kmol^{-1}]		120−320	296
7.	Stechiometryczne zapotrzebowanie na powietrze [kg·kg^{-1}]	14,57		12,5
8.	Analiza elementarna			
	– C [%]		86,0−86,4	76,8−78,0
	– H [%]		13,4−14,0	12,1
	– O [%]		–	10,0−11,0
9.	CFPP [°C]		2−35	-7 – -9
10.	Liczba Condradsona [M%]		0,01−0,04	<0,01−0,05
11.	Zawartość siarki [%]	0,137	0,03−0,22	0,02−0,006
12.	Temperatura zapłonu [°C]	53,0	20−84	111−175
13.	Zawartość związków aromatycznych, % [V·V^{-1}]	21,5		–

Cechy fizyko-chemiczne i użytkowe FAME są wynikiem jakości stosowanego surowca, jego wstępnej rafinacji, wyboru procesu estryfikacji, jak też metody oczyszczenia produktu finalnego. Podstawowym warunkiem wysokiej jakości FAME jest wysoki poziom estryfikacji bez pozostawienia cząsteczek oleju rzepakowego. Estry nie powinny zawierać resztek alkoholu metylowego zwiększającego niebezpieczeństwo zatarcia sekcji tłoczących pompy wtryskowej. Odmienna budowa chemiczna RME oraz inny skład frakcyjny stanowią podstawowe różnice w stosunku do ON. Ponadto różnice dotyczą lepkości, masy molowej, zawartość siarki, wartości opałowej, temperatury zapłonu i zawartości tlenu [Tys i inn. 2003].

W dalszym ciągu prowadzone są badania nad wykorzystaniem oleju rzepakowego (OR) w mieszaninie z ON w różnych proporcjach do zasilania współczesnych silników z zapłonem samoczynnym (ZS). Prace badawcze w tym zakresie prowadzone były w SGGW w Warszawie przy współpracy z zakładami produkcji ciągników i maszyn rolniczych PRONAR i ZETOR [Bocheński 2003].

Głównymi czynnikami decydującymi o możliwości zastąpienia ON przez OR w zmodyfikowanych komorach spalania silników są:
– jakość przefiltrowania oleju,
– obniżenie lepkości do poziomu ON w zakresie normatywnych temperatur,

- podwyższenie liczby cetanowej (powyżej 37,6) w celu poprawienia kinetyki spalania,
- ograniczenie skłonności do koksowania i powstawania nagaru na zaworach i końcówkach wtryskiwaczy,
- obniżenie temperatury płynięcia - dodatek 1% depresatora do oleju rzepakowego pozwala obniżyć temperaturę płynięcia oleju do - 8°C .

Proces adaptacyjny silników stosowanych w pojazdach rolniczych do zasilania biopaliwami

Współczesne silniki z ZS, które zostały zaprojektowane do zasilania ON nie powinny być zasilane naturalnym olejem rzepakowym, gdyż występują wówczas problemy z unieruchomieniem sekcji tłoczących, iglic rozpylaczy, powstawanie nagarów w komorze spalania i pogorszenie właściwości smarnych oleju silnikowego [Gardyński, Kiernicki 2002]. Producenci silników przeznaczonych dla pojazdów rolniczych podejmują jednak próby wprowadzenia systemu CVO (Clear Vegetable Oils) zasilania czystymi olejami roślinnymi (OR). Systemy adaptujące silnik z ZS do zasilania OR w większości opierają się na zaimplementowaniu w nich układu podgrzewającego olej, uzyskując w ten sposób znaczne obniżenie lepkości paliwa. Zasadniczym problemem jest zróżnicowanie kinetyki spalania paliwa w komorze silnika [Haas 2004]. Oprócz wydłużenia okresu opóźnienia samozapłonu następuje w przypadku OR przeniesienie spalania zasadniczej dawki paliwa do obszaru dyfuzyjnego. Przestrzenny sposób tworzenia mieszaniny palnej uzależnia okres opóźnienia samozapłonu od temperatury komory spalania. W przypadku stosowania tych samych parametrów wtrysku paliwa (jak dla ON) następuje ponad 3-krotny wzrost średniej średnicy (Sautera) kropel rozpylonego paliwa, co skutkuje większym zasięgiem strugi paliwa i przejściem na przyścienny sposób tworzenia mieszaniny palnej [Reiser 1997]. W przypadku silników ciągników rolniczych cechujących się dużą objętością komór spalania, zjawisko to nie nabiera tak istotnego znaczenia jak w przypadku wielocylindrowych silników trakcyjnych o małej pojemności skokowej.

Badania ciągników Deutz-Fahr Agrotron TTV 1160 i Fend Farmer Vario 412 zasilanych OR wykazały pozytywny wynik eksploatacyjny w zakresie bezawaryjnej pracy dla 150 mth. Zaznaczył się jednak spadek lepkości oleju smarującego silnik wynikający z ponad 5% udziału OR w wyniku przedmuchów do skrzyni korbowej silnika oraz znaczny wzrost jednostkowego zużycia paliwa [Materiały inf. Fend].

Zauważalny jest wzrost liczby oferowanych dodatków polepszających proces spalania OR w klasycznym silniku z ZS bez dokonywania jego modyfikacji. Producent preparatu DFX podaje, iż dodatek 3 ml oferowanej substancji na 1 litr OR zapewnia prawidłowy przebieg procesu spalania przy wzroście mocy silnika,

obniżeniu zużycia paliwa – z jednoczesnym dostosowaniem do normowych wymogów emisji toksycznych składników spalin i PM.

Wytworzenie przestrzennego systemu spalania mieszanki powietrza z udziałem oleju rzepakowego zostało zrealizowane w specjalnej konstrukcji komory spalania silnika Elsbetta. Olej roślinny podgrzany do temperatury powyżej 70°C charakteryzuje się lepkością zbliżoną do ON. W roku 1996 podjęto próbę zastosowania silnika Elsbetta w ciągniku Valmet 605, który testowany był w Instytucie Statens Maskinprovnigar – Uppsala. Ciągnik nie doczekał się upowszechnienia pomimo znacznego zainteresowania na rynkach eksportowych w Niemczech i Austrii. Niemiecka firma Elsbett jest uważana za wiodącą jednostkę badawczą zajmującą się implementowaniem układów podgrzewających olej do silników, w tym również dla pojazdów rolniczych. Podobne rozwiązanie zaproponowała szwedzka firma Oilpress, która przystosowała do zasilania oczyszczonym olejem rzepakowym między innymi ciągniki rolnicze firmy John Deere. Upowszechniono również dla potrzeb indywidualnych zamówień system dwupaliwowego silnika Deutz-Fahr z przystosowaniem do zasilania olejem rzepakowym i ON wg schematu funkcjonalnego zamieszczonego na rys. 1.

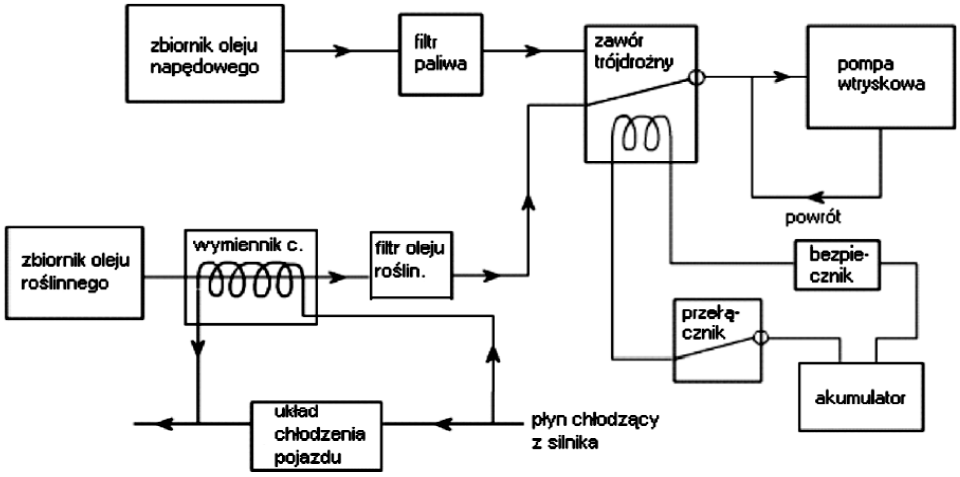
Zasilanie OR jest możliwe w tym przypadku dzięki zastosowaniu dwóch niezależnych obiegów paliwa wraz z systemem filtrów, podgrzewaczem oraz elektronicznym systemem sterowania wtryskiem paliwa. Temperatura oleju rzepakowego jest utrzymywana w przedziale 50-90^{o}C, w zależności od temperatury powietrza zasysanego przez silnik. Proces podgrzewania oleju zasadniczo może być realizowany poprzez wstępne ogrzewanie elektryczne a następnie po rozgrzaniu silnika spalinowego zostaje wykorzystany dodatkowy wymiennik ciepła zainstalowany w układzie chłodzenia silnika (rys. 2).

Przed unieruchomieniem silnika (ok. 2-3 min.) następuje przełączenie układu na zasilanie olejem napędowym lub RME w celu usunięcia pozostałości OR z układu paliwowego. Proces ponownego rozruchu przebiega zawsze przy zasilaniu układu paliwowego na ON.

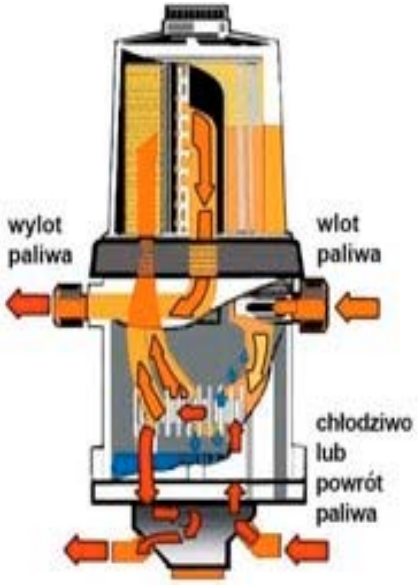
Znaczne uproszczonym rozwiązaniem technicznym jest proces zasilania silnika z ZS biopaliwem FAME lub jego mieszaninami z ON z wykorzystaniem pakietów uszlachetniaczy dedykowanych do zróżnicowanych warunków eksploatacji pojazdów rolniczych. Pomimo przeprowadzenia wielu prac badawczych z zakresu zasilania silników z ZS biopaliwem, w dalszym ciągu istnieją kontrowersje, dotyczące eksploatacji nowoczesnych silników wyposażonych w układ wtrysku paliwa typu Common Rail [Jakóbiec, Ambrozik 2007]. Schemat funkcjonalny układu Common Rail ciągnika rolniczego Deutz-Fahr przedstawiono na rys. 3.

Systemy Common Rail są już powszechnie stosowane we współczesnych silnikach ciągników i kombajnów rolniczych. Producenci aparatury wtryskowej paliwa (FIE), jak: Delphi, Bosch, Siemens, Denso i Stanadyne we wspólnym oświadczeniu, zwracają uwagę na potencjalne problemy związane ze stosowaniem

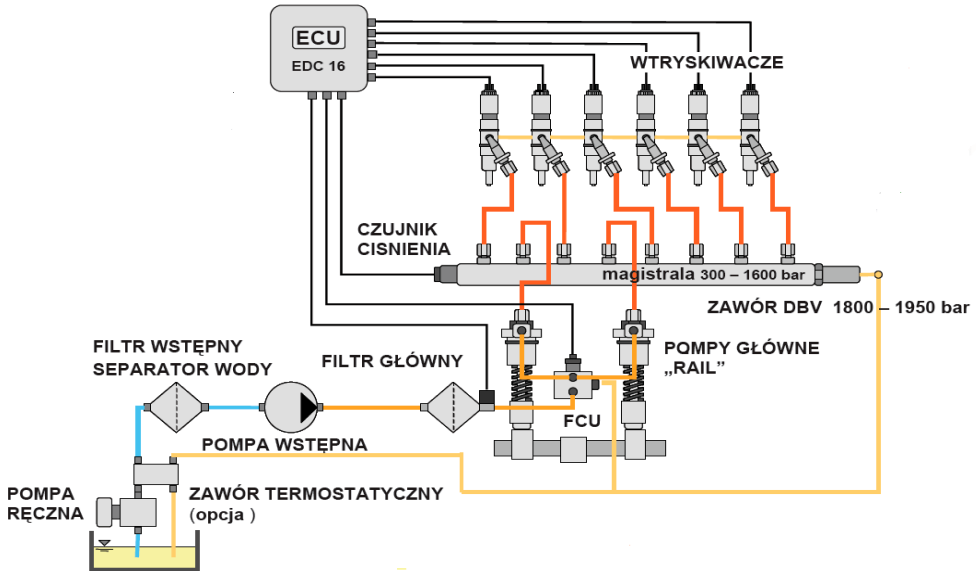
FAME jako paliwa do silników o ZS. Należy podkreślić, że specyfika danego rynku paliwowego, używanych na nim pojazdów rolniczych oraz sposobu ich eksploatacji, wymaga każdorazowo rozpoznania zagrożeń ze strony biopaliw.



Rys. 1. Schemat układu zasilania silnika Deutz-Fahr w systemie dwupaliwowym [Materiały inf. Deutz-Fahr]



Rys. 2. Wymiennik ciepła DAVCO w układzie wielopaliwowego silnika z ZS

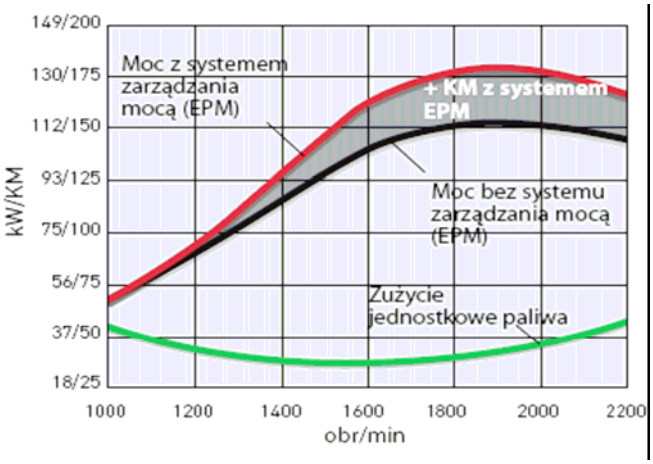


Rys. 3. Schemat układu zasilania Common Rail silnika ciągnika rolniczego Deutz-Fahr serii 2012 DCR [Materiały inf. Deutz-Fahr]

W dalszym ciągu istnieje wiele obszarów wymagających dalszego rozeznania w odniesieniu do układu Common Rail, zwłaszcza w zakresie kompatybilności materiałów konstrukcyjnych z biopaliwem, trwałości elementów, a także cech eksploatacyjnych i proekologicznych pojazdów rolniczych wyposażonych w ten system wtrysku paliwa. Obecnie, na rynku polskim żaden z producentów silników o ZS bądź importerów pojazdów, nie dopuszcza do ich eksploatacji na paliwie wykraczającym poza wymagania normę PN-EN590, która ogranicza maksymalną zawartość FAME w ON do 5% (V/V). Światowa Karta Paliw (wrzesień 2006), dopuszcza w przypadku ON kategorii 1, 2 i 3 stosowanie zawartości FAME do 5% (V/V), a w przypadku ON kategorii 4 zawartość FAME nie może przekraczać wielkości wykrywalnych. W przypadku nie zastosowania się do tych wymagań producent grozi utratą gwarancji, a więc poniesieniem kosztów ewentualnych napraw silnika. Stałe dążenie do polepszania trwałości silników spalinowych, w tym zasilanych biopaliwem wymaga konieczności prowadzenia następnych prac badawczych, w tym badań eksploatacyjnych dotyczących trwałości silnika w układzie paliwo - olej smarujący. Badania te w znacznym stopniu mogą przybliżyć mechanizm procesów degradacji oleju smarującego [Jakóbiec, Ambrozik 2007].

Upowszechniany jest obecnie w silnikach ciągników rolniczych system inteligentnego zarządzania mocą silnika Power Control DPC - głównie dla silników z układem zasilania Common Rail. Chwilowe zwiększenie mocy i momentu

obrotowego silnika w przypadku wzrostu oporów trakcyjnych ciągnika związane jest z koniecznością przesterowania przez sterownik ECU maksymalnej dawki paliwa i zwiększenia ciśnienia doładowania. Przykładem zastosowania takiego systemu jest 6-cio cylindrowy silnik Valtra Valmet 8350L Eko Power. Korygowany przebieg zewnętrznej charakterystyki prędkościowej silnika przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Przebiegi zewnętrznych korygowanych charakterystyk prędkościowych silnika – system zarządzania mocą EPM ciągnika CASE Maxxum 140 Multicontroller

W tym przypadku koniecznym jest zapewnienie normowych wymogów FAME lub jego mieszanin z ON. Ponadnormatywny wzrost gęstości paliwa może być przyczyną braku podziału czasowego pomiędzy dawkami składowymi, wg etapowej charakterystyki wtrysku paliwa. Wszelkie odstępstwa od normowych parametrów stosowanego paliwa w przypadku przejścia na tryb pracy wg DPC objawiają się natychmiastową emisją cząstek stałych przez układ wylotowy silnika i mogą prowadzić do negatywnych następstw powodowanych gromadzeniem się nagarów i aglomeratów PM (Particulate Matter).

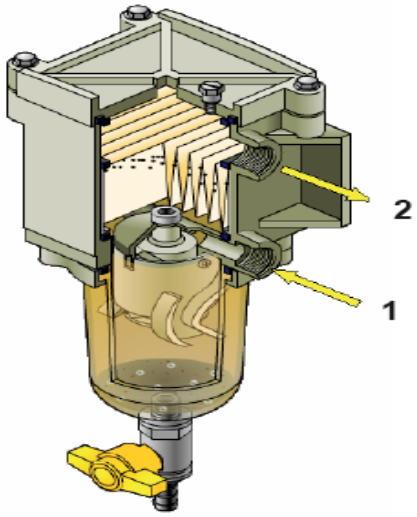
Zasadnicza skłonność do tworzenia osadów wokół otworów wylotowych rozpylaczy wynika już z cech wytłoczonego OR z rozróżnieniem wielonienasyconych kwasów tłuszczowych, zwłaszcza kwasu linolowego i linolenowego o odpowiednio dwóch i trzech wiązaniach podwójnych w łańcuchu węglowym. Obecność tych kwasów skutkuje przy produkcji biopaliw skłonnością do utleniania i polimeryzacji. Ponad dwukrotnie mniejsza ilość kwasów wielonienasyconych – linolowego ($C_{18:2}$) i linolenowego ($C_{18:3}$) w oleju rzepakowym nadaje odmianie „Contakt" właściwą przydatność do produkcji biodiesla ze względu na wymaganą zawartość kwasu oleinowego (o jednym podwójnym wiązaniu) wyższą o ok. 70% w stosunku do pozostałych odmian [Cieślikowski, Jakóbiec 2010].

W pewnym zakresie można wpływać na strukturę chemiczną paliwa poprzez zbiór nasion w terminie opóźnionym, co warunkuje niższą zawartość kwasów nasyconych oraz wielonienasyconych w wytłoczonym oleju rzepakowym głównie przez wzrost udziału kwasów jednonienasyconych (oleinowego $C_{18:1}$) przyczyniającego się do poprawy cech biopaliwa. Kwasy tłuszczowe mają wpływ na pracę katalizatora i filtra cząstek stałych DPF (Diesel Particulate Filter) silnika, gdyż zwiększona obecność kwasów nienasyconych powoduje wzrost emisji PM. Oleje niskiej jakości mogą zawierać więcej zanieczyszczeń, takich jak: fosfolipidy, wolne kwasy tłuszczowe, barwniki, wodę. Wartość liczby kwasowej biopaliwa wraz z oznaczoną obecnością wolnych kwasów tłuszczowych nie powinna przekraczać wartości dopuszczalnej ze względu na wzrost zawartości mydeł w procesie transestryfikacji. Konieczne jest ograniczenie liczby jodowej wskazującej na obecność nienasyconych kwasów tłuszczowych, odpowiedzialnych za odkładanie osadów w komorze spalania silnika [Prankl 2004].

Wprowadzenie układu wtryskowego Common Rail w silniku 2012DCR zapewniło płynny przebieg narastania ciśnień roboczych w drugiej fazie procesu spalania. Uzyskano w ten sposób niższe wartości przyrostu ciśnień na stopień obrotu wału korbowego, co skutkuje niższym poziomem emisji hałasu i eliminuje niekorzystne nadwyżki obciążeń dynamicznych w układzie korbowo-tłokowym silnika. Poziom hałasu w zakresie „obciążeń startowych silnika" (1000 obr·min^{-1}) wynosi 74 dB(A), natomiast przy obciążeniu nominalnym nie przekracza 91,5 dB(A). W stosunku do poprzedniej wersji silnika uzyskano redukcję hałasu o 5 dB(A) w przytoczonych zakresach obciążeń, zapewniając 20% wzrost momentu obrotowego przy niskim jednostkowym zużyciu paliwa wynoszącym 213g/kWh. Stosowanie FAME lub mieszanin z ON znacząco przyczynia się do obniżenia podanych poziomów hałasu głównie poprzez podwyższenie liczby cetanowej (LC) paliwa.

Najbardziej uniwersalnym kryterium przydatności cech paliwa dla potrzeb współczesnego silnika z ZS jest liczba cetanowa (LC). W praktyce badań silnikowych LC stanowi jedynie uniwersalny wskaźnik porównawczy paliw a nie parametr fizyczny, gdyż oznaczana jest na podstawie pomiaru całkowitego opóźnienia samozapłonu bez rozróżniania fizycznego i chemicznego aspektu tego wskaźnika. Zasadnicze różnice w budowie chemicznej ON i FAME wyznaczają inny przebieg procesu samozapłonu tych paliw w warunkach współczesnego silnika o wysokim stopniu sprężania i doładowaniu, co wprowadza rozbieżności w ocenie LC metodą silnikową i laboratoryjną. W tym przypadku należy posłużyć się pomocniczym parametrem oceny paliw, jakim jest szybkość narastania ciśnienia w drugiej fazie procesu spalania [Kortylewski 2005].

W silniku 2012DCR ciągnika rolniczego Deutz-Fahr wyposażonego w układ wtrysku paliwa Common Rail zastosowano dwustopniowy filtr paliwa z separatorem zanieczyszczeń (30 μm) przystosowany do szybkiego usuwania osadów stałych (rys. 5).



Rys. 5. Filtr wstępny i dokładnego oczyszczania paliwa z separatorem - silnik 2012DCR ciągnika rolniczego Deutz-Fahr [Materiały inf. Deutz-Fahr]: 1 – przyłącze filtra wstępnego oczyszczania; 2 – przyłącze filtra dokładnego oczyszczania paliwa

Bardzo wysoka trwałość wkładów filtrujących z deklarowaną przez firmę wymianą co 1000h pracy silnika może zostać radykalnie obniżona w przypadku stosowania FAME o nieodpowiednim procesie sedymentacji lub oddzielenia fazy glicerynowej. Szklana komora osadnika umożliwia obserwację nagromadzonych osadów w filtrze, co znacznie ułatwia kontrolę techniczną układu paliwowego silnika zasilanego biopaliwami.

Jednym z głównych problemów dotyczących eksploatacji silników zasilanych RME jest zapewnienie właściwego rozruchu w temperaturze –5°C. Właściwości niskotemperaturowe FAME różnią się od analogicznych właściwości ON, co wynika z jednolitości związków chemicznych wchodzących w skład biopalwa powodując zwiększoną skłonność do tworzenia specyficznych struktur o charakterze zawiesin (szlamów). Ich obecność ogranicza przepływ paliwa i prowadzi do stopniowej blokady filtra paliwa, i unieruchomienia silnika [Kruczyński, Jakóbiec 2004].

Poprawne funkcjonowanie aparatury paliwowej w niskich temperaturach warunkowane jest zapewnieniem właściwych parametrów reologicznych dla FAME. Poprawę właściwości niskotemperaturowych RME uzyskać można eliminując udział grup estrowych o wyższej liczbie atomów węgla w cząsteczce, natomiast większy udział nienasyconych wiązań w cząsteczce estru poprawia właściwości niskotemperaturowe. Właściwości reologiczne – niskotemperaturowe RME można polepszyć poprzez dobór odpowiedniej jakości depresatora stopniując skalę zjawiska na etapach temperatury: mętnienia paliwa (CP), zablokowania zimnego

filtra (CFPP), symulowanej blokady filtra (SFPP), płynięcia paliwa (PP). Ocenę skuteczności 3-ech rodzajów depresatorów stosowanych w pakietach uszlachetniaczy RME zamieszczono w tabeli 3.

Ze względu na postępujące efekty starzeniowe RME bez stosowania uszlachetniaczy w warunkach agrorafinerii bazującej na technologii niskotemperaturowej, uzyskane produkty należy przeznaczyć do bieżącego wykorzystania.

Tabela 3. Ocena skuteczności działania depresatorów w RME [Jakóbiec, Ambrozik,2007]

FAME CP= −2,8°C; CFPP= −10,0°C SFPP= −9,0°C; PP= −8,0°C	Pozom dozowania depresatora [mg·kg^{-1}]	Depresator											
		A				B				C			
		CP [°C]	CFPP [°C]	SFPP [°C]	PP [°C]	CP [°C]	CFPP [°C]	SFPP [°C]	PP [°C]	CP [°C]	CFPP [°C]	SFPP [°C]	PP [°C]
	1500	-4,2	-15,0	-10,0	-41,0	-4,2	-17,0	-13,0	-41,0	-4,3	-18,0	-13,0	-41,0
	1600	–	–	–	–	–	–	–	–	-4,3	-20,0	-13,0	-41,0
	1800	–	–	–	–	–	–	–	–	-4,6	-51,0	-13,0	-41,0
	2000	-4,9	-17,0	-13,0	-41,0	-4,3	-18,0	-13,0	-41,0	-4,7	-23,0	-13,0	-41,0
	2200	–	–	–	–	-4,5	-19,0	-13,0	-41,0	–	–	–	–
	2300	–	–	–	–	-4,5	-20,0	-14,0	-41,0	–	–	–	–
	2500	-4,9	-19,0	-13,0	-41,0	-4,5	-21,0	-14,0	-41,0	-4,7	-24,0	-13,0	-41,0
	2600	-4,9	-19,0	-13,0	-41,0	–	–	–	–	–	–	–	–
	2700	-4,9	-20,0	-13,0	-41,0	–	–	–	–	–	–	–	–
CP − temperatura mętnienia CFPP − temperatura zablokowania zimnego filtru SFPP − symulowana temperatura zablokowania filtru PP − temperatura płynięcia													

Innowacyjność w zakresie stosowania zamienników materiałowych w układzie paliwowym silnika ma również swoje podłoże w rozpoznanych procesach destrukcji uprzednio stosowanych rodzajach materiałów konstrukcyjnych. Biopaliwo RME jako paliwo do silników z ZS powinno charakteryzować się właściwościami przeciwkorozyjnymi w kontakcie z metalami.

Procesy destrukcji materiałów konstrukcyjnych zachodzą już na etapie przechowywania i dystrybucji biopaliwa, a także w wyniku bezpośredniego kontaktu z materiałami konstrukcyjnymi silników, zwłaszcza układu paliwowego, w tym aparatury wtryskowej [Cieślikowski 2009].

Podatność na rozkład mikrobiologiczny RME wiąże się z rozwojem mikroorganizmów w obecności wydzielonej wody lub kondensacji pary wodnej w zbiorniku paliwowa. Ograniczenie zawartości wody do 0,1% jest niezbędne ze względu na polimeryzację kwasów tłuszczowych i możliwość wystąpienia zatarcia sekcji tłoczących pompy wtryskowej oraz iglicy rozpylacza we wtryskiwaczu. Rozwój mikroorganizmów może być hamowany przez stosowanie

biocydów. Inne negatywne skutki tego zjawiska to obecność kwasów organicznych jako produktu metabolizmu mikroorganizmów wywołanych destrukcją pakietu dodatków uszlachetniających oraz korozją mikrobiologiczną. Rozwój bakterii w RME przyśpiesza rozwój korozji elektrochemicznej i wżerowej elementów aparatury paliwowej [Jakóbiec 2006].

Obecnym standardem konstrukcyjnym ciągnika jest wyeliminowanie klasycznej konstrukcji zbiornika paliwa wykonanego z wytłoczonych formatów blachy stalowej poddanych procesowi zgrzewania obwodowego wraz z zabezpieczeniem cynowym powierzchni wewnętrznych. Rozpoznane procesy korozyjne metali w kontakcie z FAME skłoniły producentów do stosowania zamienników materiałowych i modyfikacji technologii wytwarzania zbiornika paliwowego. Obecnie zbiorniki wytwarzane są z tworzywa sztucznego Polietylen TL669. Przykład takich rozwiązań spotkać można w ciągnikach John Deere, Deutz-Fahr, MF i innych (rys. 6).

Rys. 6. Zbiornik ciągnika rolniczego wykonany z tworzywa Polietylen TL669

Znaczącym utrudnieniem konstrukcyjnym było opracowanie metalowego zbiornika paliwa do ciągnika Valtra L142 Versu przeznaczonego do prac leśnych, odpornego na uszkodzenia i procesy destrukcyjne FAME. Zastosowano w tym przypadku tłoczone elementy stalowe o zwiększonej grubości, wprowadzając technologię powłok pasywacyjnych wraz z pokryciem kataforetycznym wnętrza zbiornika [Materiały inf. Valtra].

W tabeli 4 przedstawiono wybrane cechy RME mogące mieć negatywny wpływ na stan techniczny silnika. Jednym z następstw zasilania silnia RME jest działanie korodujące metali oraz skłonność do wytrącania osadów na elementach roboczych silnika.

Tabela 4. Cechy charakterystyczne paliwa i produktów starzenia FAME oraz ich wpływ na materiały konstrukcyjne silnika [Baranik 2002]

Cecha paliwa	Wpływ jakości paliwa na materiały konstrukcyjne	Niekorzystne objawy stanu technicznego silnika
Obecność estrów metylowych kwasów tłuszczowych (FAME)	Mięknienie, puchnięcie lub twardnienie i pękanie niektórych elastomerów (działanie zależy od składu elastomerów) Przemieszczenie osadów powstających podczas pracy silnika o ZS	Nieszczelności i wycieki w silniku Zablokowanie filtra paliwa
Obecność metanolu	Korozja stopów glinu i cynku Niska temperatura zapłonu	Korozja FIE
Obecność zanieczyszczeń i nieprzereagowanych substancji chemicznych z procesu wytwarzania FAME	Sód i potas oraz metale ziem alkalicznych tworzą sole z kwasami organicznymi (mydła) Wolne kwasy tłuszczowe powodują korozję części wykonanych z materiałów nieżelaznych (cynk) Sedymentacja	Zablokowanie filtra paliwa Korozja FIE Zakleszczenie ruchomych części silnika
Obecność niezwiązanej wody	Hydroliza FAME do kwasów tłuszczowych i metanolu Korozja Trwały rozwój życia mikrobiologicznego Wzrost przewodności elektrycznej paliwa	Korozja FIE Zablokowanie filtra paliwa
Obecność wolnego glicerolu i mono-, di- i triglicerydów	Korozja części wykonanych ze stopów nieżelaznych Rozmakanie filtrów celulozowych Osady na częściach ruchomych i pokrywanie warstewką laków	Zakoksowanie rozpylaczy paliwa
Wysoka lepkość w niskich temperaturach	Większe opory, obniżenie efektywności pracy działania podzespołów	Problemy z podawaniem paliwa. Zatarcia pompy, zwiększona awaryjność, niedostateczne rozpylenie strugi paliwa
Zanieczyszczenia stałe	Możliwość pojawienia się problemów związanych ze smarnością	Skrócenie czasu użytkowania Zużycie gniazda rozpylacza Zablokowanie rozpylaczy paliwa

Produkty starzenia FAME	Wpływ jakości paliwa na materiały konstrukcyjne	Niekorzystne objawy stanu technicznego silnika
Kwasy powodujące korozję (mrówkowy i/lub octowy)	Korozja części metalowych lub mogą tworzyć się pojedyncze ogniska korozji	Korozja FIE
Wysokocząsteczkowe kwasy organiczne	Podobnie jak dla estrów metylowych kwasów tłuszczowych	
Produkty polimeryzacji związków nienasyconych	Osady i szlamy szczególnie w przypadku mieszanek paliwa	Na gorących częściach rozpuszczalne polimery tworzą laki

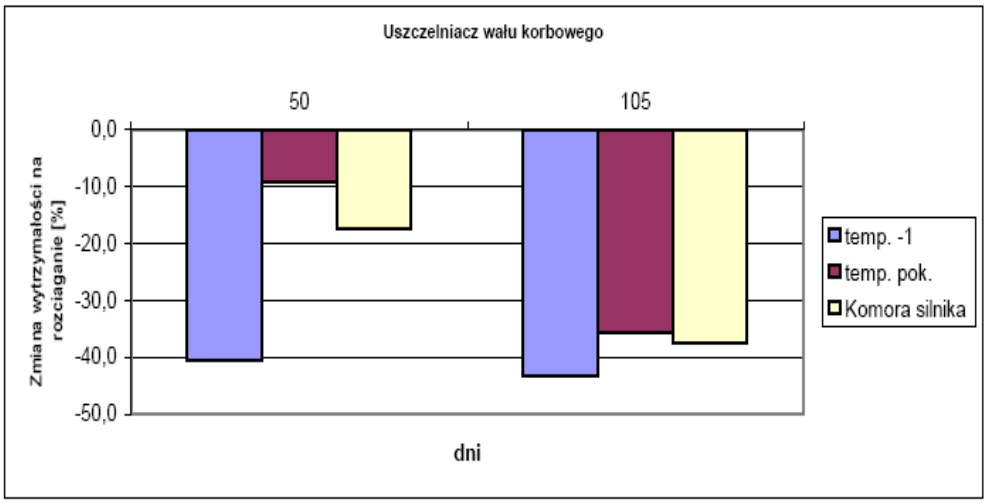
Przedmuchy paliwa do układu smarowania mają wpływ na zmianę właściwości fizykochemicznych oleju silnikowego, zwłaszcza w zakresie obniżenia lepkości jak również występuje destrukcja uszczelek wykonanych z elastomerów i kompozytów na bazie elastomerów (rys. 7).

Wykazano nasilenie procesu destrukcji stali stopowej stosowanej do wykonania elementów sekcji tłoczącej pompy wtryskowej, a także przewodów paliwowych wysokiego ciśnienia. Wysoki wskaźnik destrukcji dotyczy miedzianych uszczelniaczy stosowanych do uszczelnienia przyłączy pompy wtryskowej a także powłoki cynowej zbiornika paliwa przy zaznaczającym się wzroście liczby kwasowej paliw, co zostało zobrazowane na rys. 8 [Cieślikowski 2010].

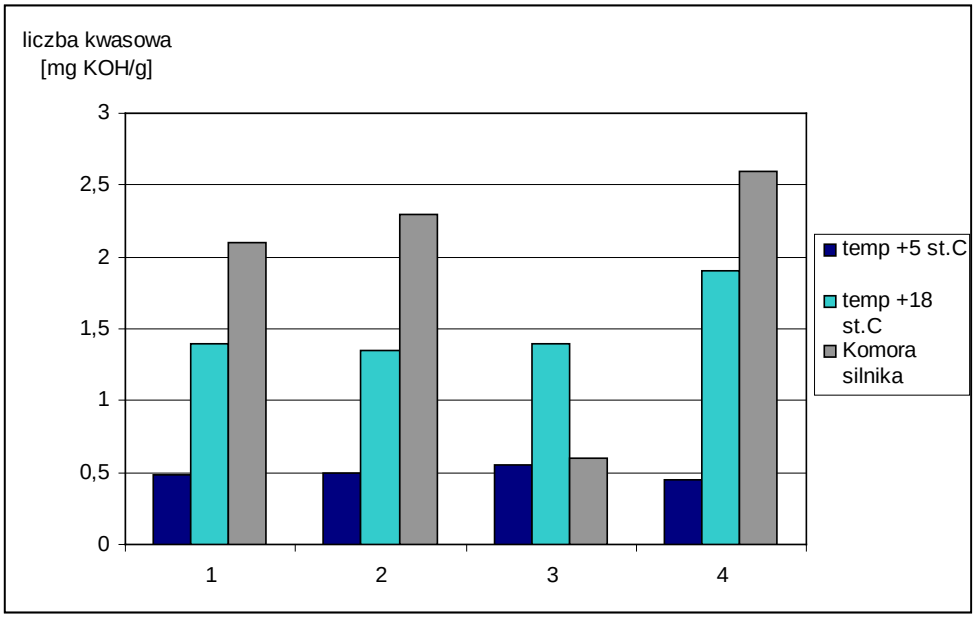
Proces destrukcji materiałów konstrukcyjnych, z których wykonane są elementy aparatury paliwowej i układu paliwowego ciągnika został oceniony metodą spektrometryczną biorąc za podstawę zawartość metalu w paliwie estrowym przy zachowaniu zgodności metodyki z EN ISO 3696 i równoczesnej kontroli liczby kwasowej paliwa wg PN-EN 14104.

Wyniki badań mogą posłużyć do weryfikacji doboru materiałów konstrukcyjnych układu paliwowego i korbowo-tłokowego silników eksploatowanych na paliwach estrowych. Konieczne jest wprowadzenie zamienników materiałowych w układzie paliwowym silnika zgodnie ze standaryzacją przemysłu motoryzacyjnego:

– zbiornik paliwa – Polietylen TL669,
– przewody paliwa – Poliamid PA12,
– uszczelniacze – PTFE (politetrafluoroetylen).



Rys. 7. Zmiana wytrzymałości na rozciąganie próbki uszczelniacza wału korbowego silnika. Pomiary z wykorzystaniem maszyny wytrzymałościowej MTS Insight2 [Cieślikowski 2010]



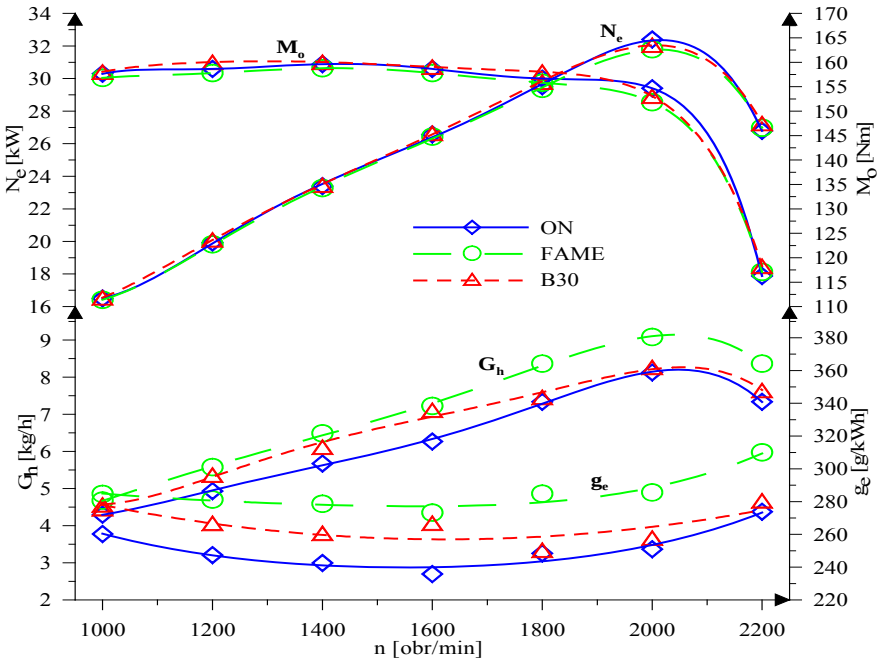
Rys. 8. Zmiana kwasowości RME w funkcji czasu (105 dni) i temperatury w wyniku kontaktu z elementami aparatury paliwowej: 1 – uszczelka miedziana, 2 – przewód wysokiego ciśnienia, 3 – sekcja tłocząca, 4 – wycinek zbiornika paliwa [Cieślikowski 2010]

Ograniczenie emisji toksycznych składników spalin silników pojazdów rolniczych zasilanych biopaliwem

Obecność na rynku biokomponentów wymaga szczegółowego poznania zmodyfikowanych procesów spalania oraz kształtowania parametrów pracy silnika i poziomu emisji spalin. Rodzaj paliwa i parametry procesu wtrysku determinują jakość tworzonej mieszanki palnej w komorze spalania, wpływając w istotny sposób na przebieg procesu spalania. Zmienne te mają decydujący wpływ na okres opóźnienia zapłonu, od którego zależy faza spalania wybuchowego, dyfuzyjnego oraz dopalanie składników. Wtrysk paliwa do cylindra pod koniec suwu sprężania determinuje jakość mieszanki paliwowo-powietrznej o niejednorodnym rozkładzie stechiometrycznym ładunku. Przebieg wywiązywania się ciepła podczas procesu spalania decyduje o wartości średniego ciśnienia indykowanego w cylindrze oraz sprawności obiegu rzeczywistego, a także decyduje o obciążeniach cieplnych i mechanicznych poszczególnych elementów roboczych silnika. Kąt początku wtrysku paliwa jest zasadniczym parametrem regulacyjnym i kontrolującym emisję NO_x, a także pozostałych składników toksycznych spalin i PM. Przebieg procesu wieloetapowego wtrysku paliwa limitowany jest głównie lepkością paliwa, która decyduje o wielkości oporów przepływu paliwa przez przewody, filtry, otwory rozpylacza. Gęstość paliwa stanowi cechę charakterystyczną paliwa z uwagi na limitowanie objętości paliwa wtryskiwanego do komory spalania przy sterowaniu objętościowym lub czasowym przez ECU. Ponadto parametry reologiczne decydują o przydatności eksploatacyjnej paliwa silnikowego w niskiej temperaturze.

Szeroki zakres prac badawczych został zrealizowany w Instytucie Technologii Nafty i Gazu w Krakowie w zakresie oceny parametrów roboczych silnika typu Perkins AD3.152UR stosowanego w ciągniku rolniczym [Jakóbiec, Ambroziak 2007]. Silnik AD.152UR cechuje się bezpośrednim wtryskiem paliwa do komory usytuowanej w denku tłoka. Wyposażony jest w układ zasilania z rozdzielaczową pompą wtryskową typu DPA napędzaną poprzez przekładnię zębatą z wału korbowego z mechanicznym regulatorem obrotów. Badania na stanowisku hamownianym przeprowadzono podczas zasilania silnika paliwami: ON Ekodiesel Ultra, oraz mieszaninami FAME i ON: B10, B20 i B30.

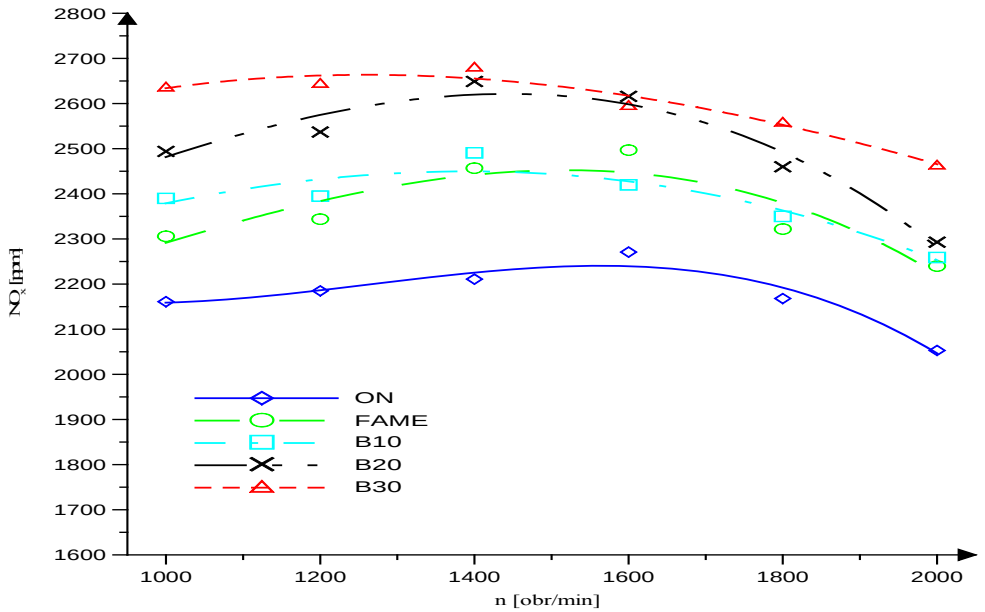
Porównanie przebiegów ciśnienia w cylindrze silnika pracującego wg zewnętrznej charakterystyki prędkościowej wyznaczonych dla prędkości obrotowych 1400 i 2000obr min^{-1} wykazało niewielka różnicę wartości, co nie spowoduje pogorszenia się parametrów roboczych ciągnika zwłaszcza w przypadku ciężkich prac polowych. Zauważalny jest jednak wzrost jednostkowego i godzinowego zużycia paliwa w przypadku zasilania czystym FAME i B30. Porównawcze przebiegi zewnętrznych charakterystyk prędkościowych silnika AD3.152UR zasilanego ON, FAME i biopaliwem E30 przedstawiono na rys. 9.



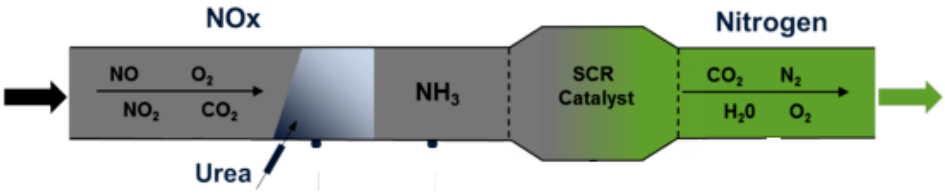
Rys. 9. Porównawcze przebiegi zewnętrznych charakterystyk prędkościowych silnika AD3.152UR zasilanego ON, FAME i B30 [Jakóbiec, Ambrozik 2007]

Ocena emisji toksycznych składników spalin silnika pojazdu rolniczego w warunkach prac polowych jest utrudniona ze względu na ciągłe zróżnicowanie warunków trakcyjnych. Ponadto rozbieżności wynikają ze zróżnicowanego stanu technicznego silnika, składu komponentów paliwa i właściwości fizykochemicznych biopaliw. Dla uniknięcia wpływu wielu zmiennych przeprowadza się badania hamowniane w 13-fazowym cyklu pracy według procedury ECE R49. Wyniki pomiarów wskazują, iż najwyższy poziom emisji tlenków azotu NO_x zarejestrowano w silniku zasilanym FAME przy kącie wyprzedzenia wtrysku paliwa 21°OWK. Należy podkreślić, że w przypadku biopaliw E10, E20 i E30 emisja była zdecydowanie wyższa niż przy zasilaniu ON (rys. 10).

Uzasadnione są w tym przypadku modyfikacje silników ciągników rolniczych polegające na selektywnej redukcji katalitycznej NO_x z wykorzystaniem reduktora w postaci 32,5% roztworu mocznika wtryskiwanego przed reaktor katalityczny (rys. 11). Produkt ten o nazwie AdBlue wykorzystywany w układzie SCR wymaga zainstalowania pokaźnego dodatkowego zbiornika, gdyż zużycie roztworu mocznika kształtuje się na poziomie powyżej 2% objętości zużywanego paliwa



Rys. 10. Emisja tlenków azotu NO_x silnika AD3.152UR zasilanego: ON, FAME i B10, B20, B30 pracującego według zewnętrznej charakterystyki prędkościowej i kącie wyprzedzenia wtrysku paliwa α_{ww}=17°OWK [Jakóbiec, Ambrozik 2007]

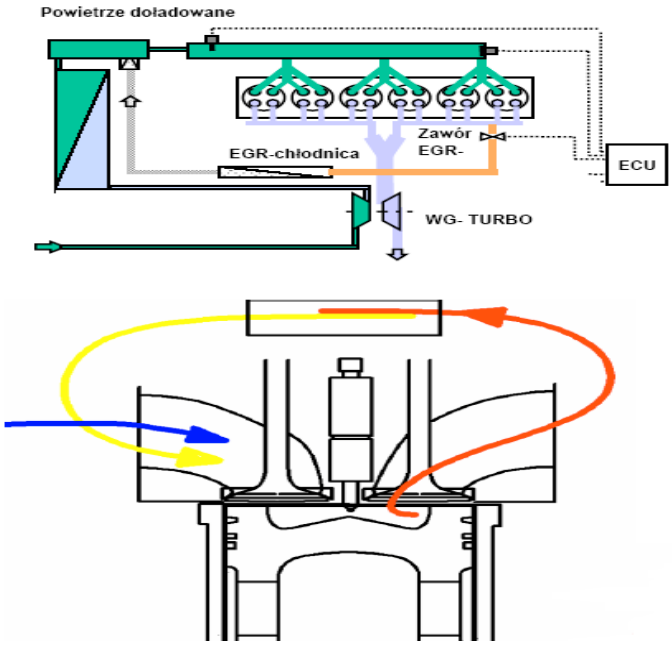


Rys.11. Schemat funkcjonalny układu SCR [Materiały inf. Scandic Diesel Services]

Zużycie środka AdBlue w silniku ciągnika rolniczego Valtra S352 kształtuje się na poziomie 3-5% objętości paliwa. Dodatek ten o alternatywnej nazwie DEF (Diesel Exhaust Fluid) spełnia wymogi jakościowe norm ISO22241 i jest dostarczany na rynek 10, 20 i 1000 litrowych opakowaniach.

Często stosowanym rozwiązaniem jest również system recyrkulacji spalin EGR (Exhaust Gas Recirculation) powodujący obniżenie prędkości spalania w fazie spalania wybuchowego przyczyniając się tym samym do spadku poziomu NO_x

w spalinach. Schemat takiego układu stosowanego w ciągniku Deutz-Fahr zamieszczono na rys. 12.



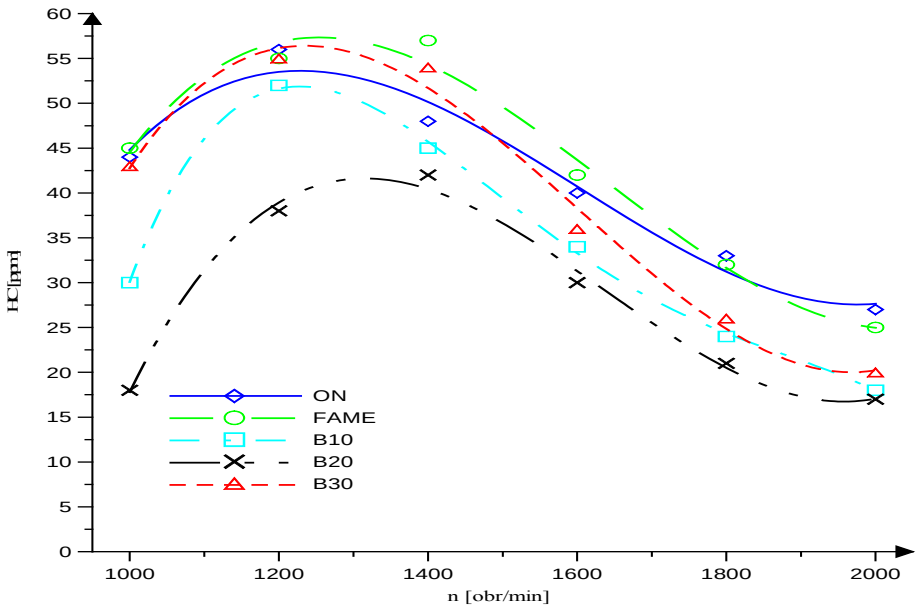
Rys. 12. Schemat układu EGR (Exhaust Gas Recirculation) stosowanego w ciągniku Deutz-Fahr [Materiały inf. Deutz-Fahr]

Obniżenie poziomów emisyjności toksycznych składników spalin widoczne jest po stronie grup węglowodorowych HC i emisji cząstek stałych PM (rys. 13). Emisja węglowodorów HC silnika zasilanego FAME była porównywalna jak przy zasilaniu ON, natomiast w przypadku biopaliw B10 i B20 była zdecydowanie niższa w odniesieniu do ON. Również zadymienie spalin było niższe przy zasilaniu silnika FAME w porównaniu zasilaniem ON. Poprawę procesu spalania można zaobserwować na tle spadku stężenia tlenku węgla CO w spalinach, które było znacznie niższe w przypadku silnika zasilanego FAME w porównaniu do zasilania ON.

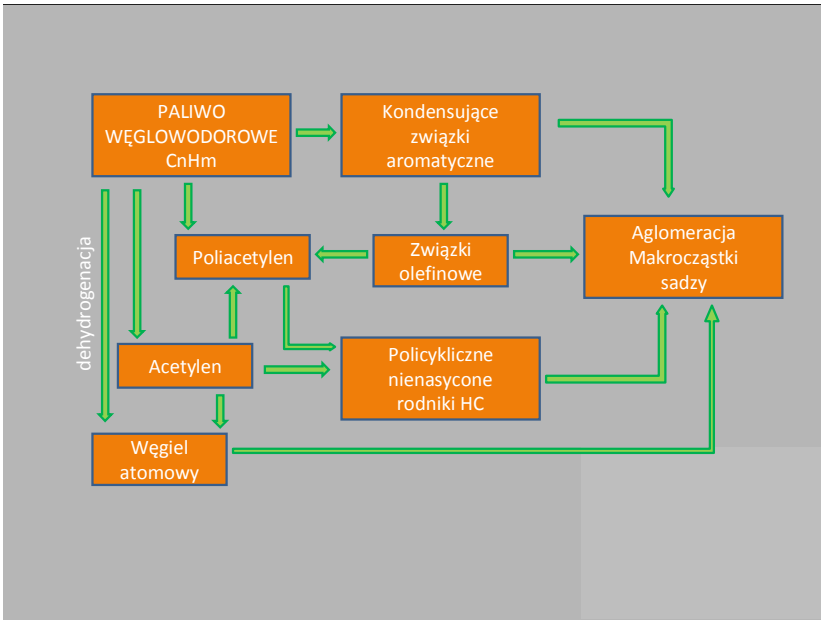
Wychodząc naprzeciw wymogom norm dopuszczalnych poziomów CO i HC w spalinach upowszechnia się w silnikach pojazdów rolniczych nie tylko systemu SCR, lecz również katalizatory oksydacyjne zintegrowane z filtrami cząstek stałych DPF (Diesel Particulate Filter). Graniczna emisja cząstek stałych PM (Particulate Matter) stanowi równorzędne kryterium w stosunku do emisji toksycznych składników spalin w silnikach z ZS [Merkisz 2007]. Punkt ciężkości badań nad

obniżeniem toksyczności spalin silników ZS przesunął się w kierunku wyjaśnienia zjawisk powstawania cząstek stałych oraz możliwości obniżania ich emisji [Rokosz 2007]. Szkodliwe oddziaływanie cząstek stałych wnikających w środowisko zbioru płodów rolnych wynika z faktu małego wymiaru cząstki i podatności w strukturę materii. Cząstki te absorbują metale ciężkie, związki siarki i azotu oraz węglowodory WWA (wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne), wśród których mogą wystąpić substancje pośrednio bądź bezpośrednio kancerogenne [Szlachta 2002].

Zaznacza się ponadto w ciągnikach rolniczych rozwój metod aktywnej regeneracji filtrów cząstek stałych DPF przy równoczesnym procesie optymalizacji pakietów uszlachetniaczy paliwa. Zjawisko powstawania a następnie wzrost cząstek sadzy wynika z procesów dehydrogenacji cząstek paliwa poprzez usunięcie atomów wodoru prowadząc do wytworzenia acetylenu a także polimeryzacji i cyklizacji rozłożonych węglowodorów, wytworzenia wolnych rodników i ciężkich kompleksów węglowych o strukturze wielopierścieniowej, co zostało przedstawione na schemacie blokowym (rys. 14), [Cieślikowski 2010].



Rys. 13. Emisja węglowodorów HC silnika AD3.152UR zasilanego: ON, FAME, B10, B20, B30 pracującego według zewnętrznej charakterystyki prędkościowej i kącie wyprzedzenia wtrysku paliwa α_{ww}=17°OWK [Jakóbiec, Ambrozik 2007]

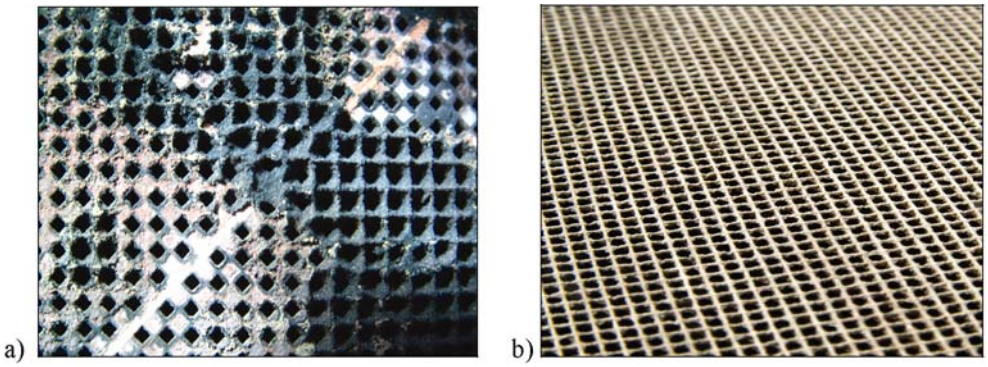


Rys. 14. Schemat powstawania PM w procesie spalania paliw węglowodorowych [Cieślikowski 2010]

Proces regeneracji aktywnej filtra DPF w systemach wtrysku paliwa Common Rail polega na podaniu dodatkowej część dawki paliwa po zwrocie zewnętrznym tłoka w fazie rozprężania, powodując wzrost temperatury spalin do około 350-400ºC. Rozgrzane spaliny trafiają do filtra, w którym następuje katalityczne dopalanie węglowodorów pochodzących z dodatkowej dawki paliwa, w wyniku czego temperatura spalin wzrasta do około 450-500ºC [Rokosz 2007]. Proces eksploatacji pojazdów trakcyjnych przy wzrastającym udziale czasu pracy na biegu jałowym przebiega w zakresie temperatur na wlocie do DPF nie przekraczających 150-200ºC. W odróżnieniu od tego stanu, silniki ciągników rolniczych w przypadku wykonywania ciężkich prac polowych wykazują zwykle stan obciążeń nominalnych, co sprzyja procesowi regeneracji filtra.

Badania prowadzone w KIMiA UR W Krakowie ukierunkowane zostały na określenie wpływu stosowania ON z udziałem biokomponentów, na proces stworzenia się osadów w katalizatorze oksydacyjnym i filtrze DPF. Wnioskowanie ukierunkowano na zagadnienie zużywania się filtrów cząstek stałych, poprzez określenie zawartości wytrąconych w filtrze składników nieutlenionych pochodzenia organicznego (rys. 15), [Cieślikowski 2010].

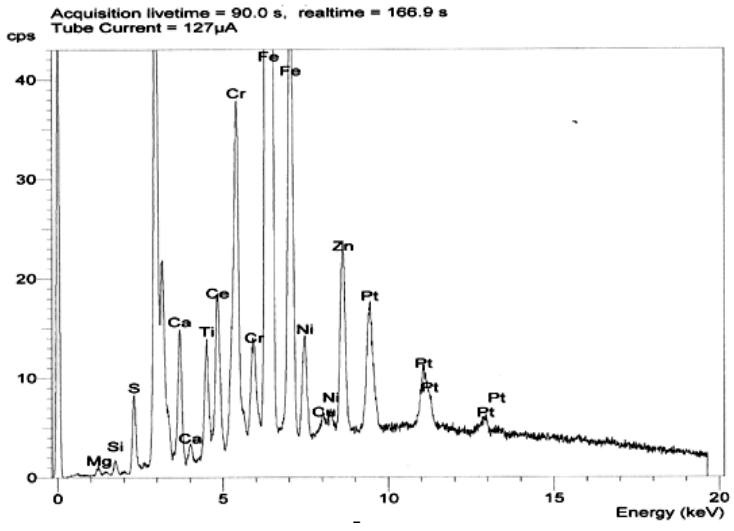
Analizy spektralne osadów nagromadzonych w filtrze DPF i katalizatorze wykonane zostały w certyfikowanym laboratorium Instytutu Technologii Nafty i Gazu w Krakowie.



Źródło: Dokumentacja fotograficzna prac badawczych Katedry Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki UR w Krakowie

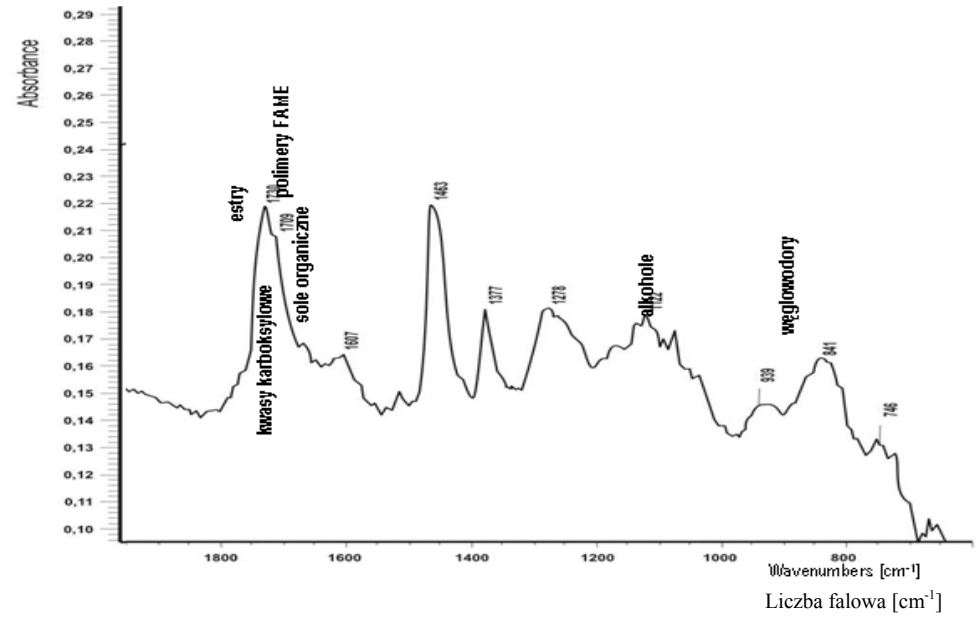
Rys. 15. Osady zalegające wlotową stronę filtra DPF (a) i katalizatora oksydacyjnego (b)

Widmo fluorescencji rentgenowskiej z dyspersją energii w odniesieniu do oceny składu chemicznego osadu zgromadzonego w filtrze cząstek stałych i katalizatorze oraz analiza widma spektroskopii w podczerwieni wykonane po ekstrakcji próbki pobranej ze struktury kanalików wykazały udział związków organicznych w osadzie stałym pochodzącym z zastosowania dodatku FAME do ON (rys. 16 i 17), [Cieślikowski 2010].



Źródło: Analizy wykonane laboratorium ITNiG na zamówienie KIMiA UR w Krakowie.

Rys. 16. Widmo fluorescencji rentgenowskiej z dyspersją energii z osadu zgromadzonego w filtrze cząstek stałych: strefa czołowa kanalików filtra



Źródło: Analizy wykonane w laboratorium ITNiG na zamówienie KIMiA UR w Krakowie

Rys. 17. Widmo spektroskopii w podczerwieni po ekstrakcji próbki pobranej ze struktury absorpcyjnej filtra pozwalające ocenić udział związków organicznych w osadzie

Pasmo 1728 cm^{-1} liczby falowej wskazuje na udział resztkowych produktów osadu wykazujących pochodzenie estrowe (z wiązaniem podwójnym tlenu). Zakres tej liczby falowej, która jest reprezentatywna dla grup estrowych, wykazuje znacznie niższy udział poziomu absorbancji w stosunku do grupy polimerów FAME. Wykazano, iż osad stały stanowią grupy polimerów FAME pochodzących ze zróżnicowanych pakietów uszlachetniających stosowanych w produkcji biopaliw.

Obecnie powszechnie stosowana jest metoda absorpcyjna spektroskopii IR pozwalająca na otrzymywanie widm oscylacyjnych, stanowiąc praktyczną metodę stosowaną w badaniu wiązań wodorowych [Wcisło 2008]. Przy pomocy spektroskopii IR można ustalić obecność określonych grup frakcyjnych w analizowanym związku. Promieniowanie elektromagnetyczne z zakresu IR ma częstotliwość zbliżoną do częstotliwości drgań cząsteczek. Ponieważ energia ta jest skwantowana, absorbowane jest tylko promieniowanie o pewnych określonych energiach, charakterystycznych dla grup funkcyjnych wykonujących drgania. Dzięki temu, wartości częstości drgań charakterystycznych mają reprezentatywny charakter, co umożliwia ustalenie grupy funkcyjnej występującej w analizowanej próbce. Zastosowanie bazy danych z częstościami określonych pasm obecnych w danych

związkach chemicznych pozwala na identyfikację tych związków w badanej próbce.

Analizy widma fluorescencji rentgenowskiej z dyspersją energii w odniesieniu do wyznaczenia udziału pierwiastków tworzących osad w strukturze katalitycznej jak również zapis widma spektroskopii w podczerwieni wykonany po ekstrakcji próbki pobranej ze struktury kanalików wykazały udział związków organicznych w osadzie stałym zalegającym kanaliki katalizatora. Stwierdzono występowanie wytrąconych składników nieutlenionych pochodzenia organicznego, powstałych w wyniku niecałkowitego spalania biopaliwa. Wszystkie pozostałości stałe w kanalikach struktury przestrzennej katalizatora i filtra DPF tworzą osad trudno usuwalny i przyczyniają się do stopniowej lecz przyspieszonej utraty sprawności funkcjonalnej tych elementów układy wylotowego spalin.

Bibliografia

Baranik M. 2002. Ocena wpływu długortwałego przechowywania olejów napędowych z estrami metylowymi kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego na właściwości paliwa. Dokumentacja ITN Nr 3837/2002.

Bocheński C. I. 2003. Biodiesel paliwo rolnicze. Wyd. SGGW Warszawa.

Cieślikowski B. 2009. Kształtowanie cech fizycznych i chemicznych biopaliw w aspekcie doboru odmian rzepaku i eksploatacji pojazdów rolniczych, Acta Agrophysika, 14(2).

Cieślikowski B. 2010. Analiza spektralna osadów pobranych z filtra cząstek stałych. Wyd. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe – Autobusy. Nr 11.

Cieślikowski B., Jakóbiec J. 2010. Modification of biofuel usable properties in the aspect of issues involving operation of farm. Inżynieria Rolnicza. Nr 6(124). Kraków.

Dreszer K., Michałek R., Roszkowski A. 2003. Energia odnawialna – możliwości jej pozyskiwania i wykorzystania w rolnictwie. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej. Kraków – Lublin – Warszawa.

Dzieniszewski G. Piekarski W. 2006. Wybrane problemy zasilania silników Diesla nisko przetworzonym olejem rzepakowym. Eksploatacja i Niezawodność. Nr 3.

Gardyński L., Kiernicki Z. 2002. Wpływ stopnia zmieszania oleju napędowego i rzepakowego oraz lekkich olejów opałowych na zużycie elementów aparatury wtryskowej. 28th International Scientific Conference KONES'2002, Politechnika Gdańska.

Haas M. 2004**.** The interplay between quality and estrification technology in biodiesel production. Liquid Technology. 16(1).

Jakóbiec J. 2006. Ocena produktów z oleju rzepakowego przeznaczonych na paliwa silnikowe. Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią. PAN. Kraków.

Jakóbiec J, Ambrozik A. 2007**.** Badania FAME w zakresie oceny właściwości fizykochemicznych i użytkowych; III Konferencja Naukowa EKOENERGIA 2007, Akademia Rolnicza w Lublinie. Instytut Agrofizyki PAN – Lublin – Krasnobród.

Koenig J.W.J. 1997. Biodiesel, an Environmental Blessing or a biodegradation. Headache for Long Term Storage 6th International Conference on Stability and Handing of Liquid Fuels. Vancouver 12-17 October.

Kortylewski J. 2005. Spalanie paliwa. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław.

Kruczyński D; Jakóbiec J. 2004. Wpływ zasilania silnika AD3.153 UR różnymi paliwami na parametry i wskaźniki cyklu pracy; 30 th Intrnational Scientific Conference on International Combusion Enginees – KONES 2004. Kraków Zakopane.

Merkisz J. 2007. Emisja cząstek stałych przez silniki spalinowe o zapłonie samoczynnym. Wybrane zagadnienia. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej.

Prankl H. 2004. Review on Biodiesel Standarization World – Wide, IEA Bioenergy Task 39. Subtask "Biodiesel". Wieselburg.

Reiser W. 1997. Ermittlung von Motor und verbrennungstechnischen Kenndaten en einem Dieselmotor mit Direkteinspritzung bei Betrieb mit unterschiedlich aufbereitetem Rapsöl Fortschritt. VDI 316.

Rokosz U. 2007. Układy oczyszczania spalin i pokładowe systemy diagnostyczne samochodów. WkiŁ. Warszawa.

Szlachta Z. 2002. Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami rzepakowymi. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności. Warszawa.

Tys J., Piekarski W., Jackowska I., Kaczor A., Zając G, Starobrat G. 2003. Technologiczne i ekonomiczne uwarunkowania produkcji biopaliwa, PAN Lublin.

Wcisło G. 2008. Application of the newest method based on infrared spectral analysis and mathematical models for estimating the effect of biocomponent share in a mixture with Diesel oil on cetane number. Teka Komisji Motoryzacji I Energetyki Rolnictwa. Vol. VIII A. Lublin.

Materiały inf.: Case, Deutz-Fahr, John Deere, Massey Ferguson, New Holland, Valtra, Scandic Diesel Services Inc. 6360 Notre Dame East-Montreal, Quebec H1N 2E1.

ROLNICTWO PRECYZYJNE

Jan Bronisław Dawidowski, Tomasz Dobek, Jan Jurga

Katedra Budowy i Użytkowania Urządzeń Technicznych
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
e-mail: jan.dawidowski@zut.edu.pl

Wstęp

Rolnictwo jest dziedziną działalności człowieka, która w sposób znaczący wpływa na poziom i jakość życia. W wyniku ogromnego postępu naukowo-technologicznego w ostatnich dziesięcioleciach, a także postępującego procesu globalizacji, w wielu regionach świata nastąpił znaczący wzrost produkcji rolniczej. Pomimo to na świecie odczuwa się rosnący niedostatek żywności. Wg prognozy Organizacji Rolnictwa i Wyżywienia Narodów Zjednoczonych (FAO), liczba ludzi głodujących w roku 2030 będzie o 40% większa niż w roku 1995. W tym samym czasie produkcja rolnicza zwiększy się o połowę, przy jednoczesnym zwiększeniu powierzchni upraw o około 7%.

Jedną z dróg zmierzających w kierunku zaspokojenia potrzeb żywnościowych, jest dążenie do wzrostu wykorzystania potencjału produkcyjnego, z zachowaniem zasad zrównoważonego rozwoju. Temu celowi służy rozwój i wdrażanie innowacyjnej koncepcji produkcji rolnej opartej na wiedzy, wspomaganej najnowszymi technologiami ICT (Information and Communication Technology), zwanej „rolnictwem precyzyjnym". Koncepcji, w której zarządzanie produkcją rolniczą ma charakter dynamiczny i odbywa się w oparciu o geostatyczny monitoring szeroko rozumianych potrzeb i efektów.

Obszar procesów zarządzanych w technologii rolnictwa precyzyjnego uzależniony jest od specyfiki sektora produkcji rolniczej i od dostępnych technik i metod zarządzania procesami.

Precyzyjne zarządzanie produkcją roślinną, któremu poświęcone jest niniejsze opracowanie, to podejmowanie decyzji technologiczno-operacyjnych na podstawie znajomości przestrzennej zmienności właściwości i zasobności gleby, warunków mikroklimatycznych, stanu szaty roślinnej, stanu rozwoju korzeni roślin, stanu porażenia roślin chorobami i szkodnikami, ale także w oparciu o zakładane cele produkcyjne - jakość i wielkość plonów, zwiększanie poziomu bezpieczeństwa żywności, zmniejszanie zagrożeń środowiskowych. Ich zakres oraz skuteczność

uzależnione są od rodzaju i jakości danych charakteryzujących zmienność przyrodniczą, jak i od technicznych możliwości realizacji poszczególnych operacji technologicznych w powiązaniu z tą zmiennością.

Rodzaj oraz jakość gromadzonych i przetwarzanych danych, charakteryzujących zmienność warunków środowiskowych, stanowi przedmiot licznych interdyscyplinarnych badań, prowadzonych z wykorzystaniem najnowszych technologii pomiarowych i informacyjnych, w tym systemu informacji geograficznej GIS oraz rozwojem w zakresie modelowania procesów wzrostu i rozwoju roślin.

Sposób i możliwości wykorzystywania tych danych w zarządzaniu zabiegami polowymi uzależnione są od wielu elementów. Jednym z nich jest system pozycjonowania oraz zarządzania pracą ciągnikowych i samojezdnych maszynowych agregatów rolniczych, w trakcie wykonywania zabiegów polowych. Wśród systemów pozycjonowania maszyn wyróżnia się systemy nawigacji satelitarnej oraz systemy naziemne. Zarządzanie pracą ciągnikowych i samojezdnych agregatów rolniczych odbywa się poprzez zintegrowanie systemu lokalizacji agregatu na polu z systemem informacji przestrzennej (GIS), w którym dane są przetwarzane do postaci map zawierających informację o zmienności przyrodniczej danego pola. Stosowane są też systemy, w których sterowanie pracą agregatów rolniczych odbywa się w oparciu o informacje pozyskiwane w czasie rzeczywistym (on line), w trakcie wykonywania zabiegu agrotechnicznego, a także systemy mieszane. Sposób i zakres wykorzystywania informacji o przestrzennej zmienności danych środowiskowych uzależniony jest również od zastosowanych rozwiązań technicznych w obszarze regulacji i sterowania pracą zespołów roboczych agregatów maszynowych.

Wśród podstawowych zalet rolnictwa precyzyjnego wymienia się: efektywne wykorzystywanie środków produkcji, zwiększenie poziomu bezpieczeństwa żywności, zmniejszenie zagrożeń środowiskowych.

Efektywność produkcji rolniczej, opartej na technologii rolnictwa precyzyjnego, którego podstawową zasadą jest dostarczanie roślinie tego co potrzebuje i tylko tyle ile potrzebuje, uzależniona jest w znacznej mierze od stanu zmienności przyrodniczej na danym obszarze. Zasada ta sprzyja zwiększaniu bezpieczeństwa żywności i zmniejszaniu zagrożeń środowiskowych. Poprzez dokumentowanie i analizowanie przebiegu procesu produkcji oraz uzyskiwanych efektów możliwe staje się bowiem dostosowywanie celów produkcyjnych do oczekiwań konsumentów i przetwórców żywności jak i wymogów ochrony środowiska.

Pomimo wspomnianych zalet technologii rolnictwa precyzyjnego, w Polsce jej implementacja następuje stosunkowo wolno. Wśród czynników, które na to wpływają wyróżnia się przede wszystkim: koszty, skalę produkcji oraz czynnik ludzki.

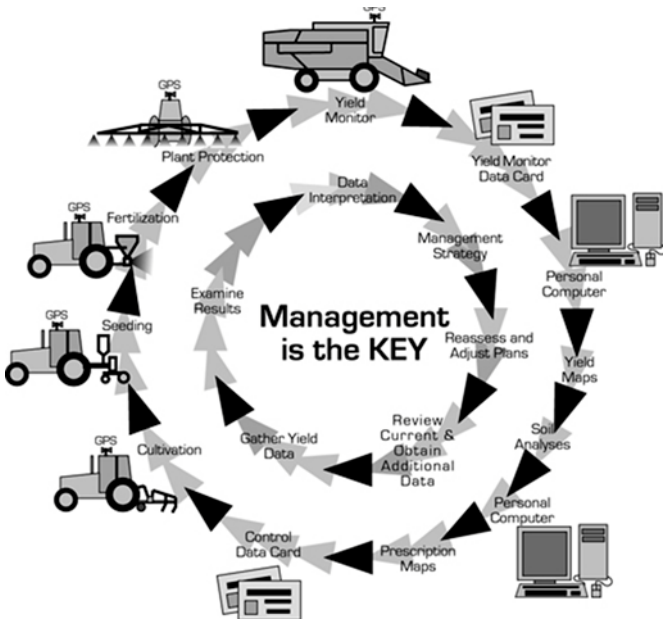
Aktualnie proponowane są różne rozwiązania wprowadzania tej innowacyjnej technologii do praktyki rolniczej. Ich charakterystyczną cechą jest szeroka oferta sprzętowa, dostosowana do wdrażania elementów rolnictwa precyzyjnego

w gospodarstwach rolnych o różnej skali produkcji. Intensyfikuje się działalność edukacyjną i publikacyjną upowszechniającą idee koncepcji rolnictwa precyzyjnego. Tematyka dotycząca zagadnień z obszaru rolnictwa precyzyjnego jest przedmiotem licznych publikacji i konferencji.

W niniejszym opracowaniu przedstawiono charakterystykę systemów i technik wykorzystywanych do monitorowania i sterowania pracą ciągników i maszyn rolniczych w technologii rolnictwa precyzyjnego oraz przykładowe wyniki badań przestrzennej zmienności parametrów środowiskowych i parametrów pracy maszyn.

Systemy i techniki zarządzania pracą ciągników i maszyn rolniczych

Zarządzanie pracą ciągników i maszyn rolniczych to podejmowanie decyzji przez operatora sprzętu w sprawie właściwego doboru parametrów pracy maszyn do istniejących warunków środowiskowo-przyrodniczych, w celu uzyskania zakładanych efektów produkcyjnych, niekiedy w połączeniu z wymogami dotyczącymi ochrony środowiska (rys. 1).



Źródło: [http://pubs.ext.vt.edu/442/442-500/442-500.html]

Rys. 1. Przykład zarządzania procesami w produkcji roślinnej

W ostatnich latach w tym zakresie nastąpił ogromny postęp. W ciągnikach i maszynach rolniczych instaluje się innowacyjne urządzenia wspomagające pracę

operatorów sprzętu, które ułatwiają im podejmowanie właściwych decyzji. Są to zaawansowane technologicznie mechatroniczne lub elektroniczne układy do monitorowania i sterowania parametrów pracy zespołów roboczych. Ich stosowanie znacząco poprawia precyzję, efektywność i skuteczność wykonywanych zabiegów agrotechnicznych, sprzyja doskonaleniu jakości i komfortu pracy. Dzięki temu istnieją warunki do wdrażania elementów rolnictwa precyzyjnego, a tym samym do zmniejszania zagrożeń środowiskowych, jak i do zwiększania poziomu bezpieczeństwa żywności, już na etapie pozyskiwania surowców.

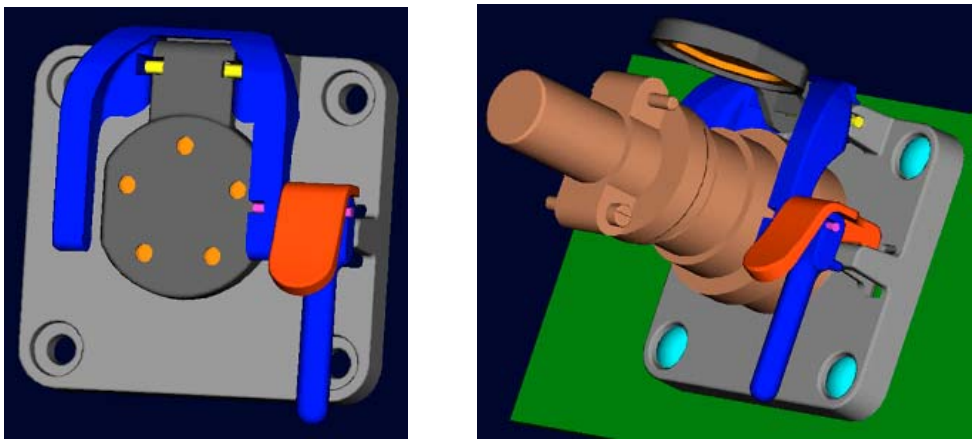
Za pomocą poszczególnych modułów mechatronicznych i elektronicznych, współpracujących z różnorodnymi czujnikami, monitoruje się i zarządza coraz większą liczbą zespołów roboczych pojazdów i maszyn rolniczych. W ciągnikach są one stosowane w silniku, układach przeniesienia napędu, układach zawieszenia maszyn, mechanizmach kierowniczych i jezdnych. W maszynach, mechatronika wykorzystywana jest w urządzeniach dozujących, w sterowaniu i monitorowaniu procesów opryskiwania, wysiewu i sadzenia, monitorowaniu plonów, regulacji szerokości roboczych i głębokości pracy, prowadzenia zespołów roboczych w międzyrzędziach.

Do pozyskiwania sygnałów sterujących stosowane są czujniki ultradźwiękowe, elektromagnetyczne, impulsowe, podczerwieni, ciśnienia, mechaniczne, indukcyjne, detektory optyczne, optyczno laserowe, izotopowe, objętościowe, pojemnościowe, piezoelektryczne (uderzeniowe), detektory monochromatyczne i spektrofotometryczne, radary, wagi tensometryczne, układy kontroli przepływu masy, lasery itd. Decyzje w zakresie regulacji parametrów pracy maszyn mogą więc być podejmowane na bieżąco w trakcie wykonywania zabiegów agrotechnicznych, na podstawie danych dostarczanych przez mikrokontrolery poszczególnych układów elektronicznych i mechatronicznych do komputera pokładowego ciągnika.

Dla ujednolicenia systemów przenoszenia danych pomiędzy ciągnikiem a współpracującymi maszynami, a także komputerem, stworzono system ISOBUS, zaprezentowany po raz pierwszy na Agritechnice 2001. Powstały nowe możliwości dla rozwoju technologii rolnictwa precyzyjnego w postaci jednolitej znormalizowanej platformy sprzętowo – programowej dla połączeń i wymiany danych między ciągnikami i maszynami rolniczymi a ośrodkiem zarządzania (kierownictwem przedsiębiorstwa). Symbolem tego rozwoju stał się wtyk ISOBUS (rys. 2).

Części składowe systemu ISOBUS, testowane i poświadczone przez oficjalnie akredytowane laboratoria, są wzajemnie kompatybilne i odpowiadają międzynarodowej normie ISO 11783 (tab. 1).

Praca ciągnika może być automatycznie koordynowana z parametrami pracy współpracujących maszyn. Umożliwia to uniwersalny terminal elektroniczny montowany w kabinie ciągnika, współpracujący z wszystkimi elektronicznymi elementami kontrolnymi agregatu ciągnik – maszyna (rys. 3).



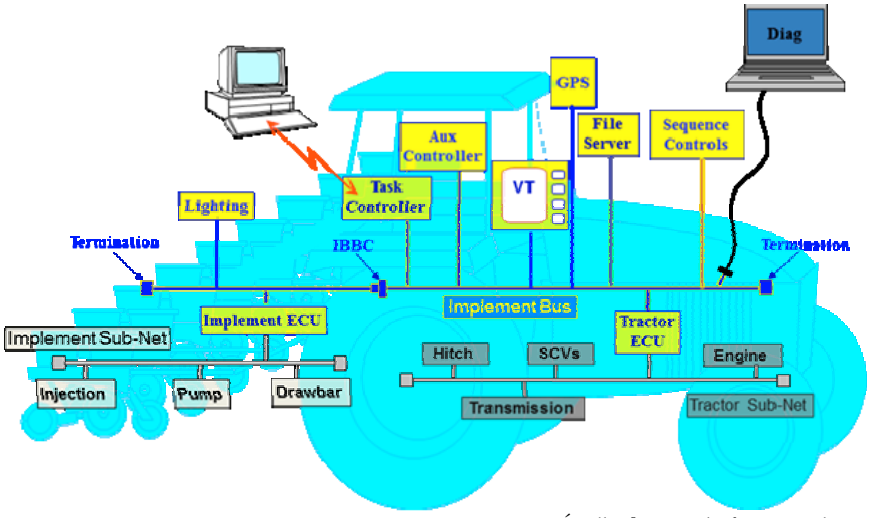
Źródło: [Materiały firmowe John Deere...]

Rys. 2. Złącze wtykowe ISOBUS

Tabela 1. Części składowe normy ISO 11783

Oznaczenie i tytuł	Treść
Część 1: Ogólne omówienie	Opis systemu
Część 2: Warstwa fizyczna	Opis hardware, uzupełnienie kompatybilności LBS
Część 3: Warstwa łącza danych	Formaty danych, przepływ informacji na magistrali
Część 4: Warstwa sieciowa	Opis sieci
Część 5: Warstwa zarządzania siecią	Przydzielenie adresów i sposób obchodzenia się z błędami
Część 6: Terminal wirtualny	Układ terminala i pulpit użytkownika
Część 7: Warstwa komunikatów przy implementacji zastosowania	Formaty informacji, treści
Część 8: Komunikaty silnika	Informacje dla magistrali ciągnika
Część 9: Traktor ECU	Magistrala ciągnika
Część 10: Kontroler zadań i informacje dla administratora przy wymianie danych systemowych	Przydzielenie zlecenia i jego obróbka
Część 11: Słownik danych	Opis identyfikatora
Część 12: Diagnostyka	Rozpoznanie błędów i obchodzenie się z nimi
Część 13: Serwer plików	Zapamiętywanie danych i dostęp do nich
Część 14: Funkcje automatyczne	Różne funkcje - np. systemy zarządzania poprzeczniakiem

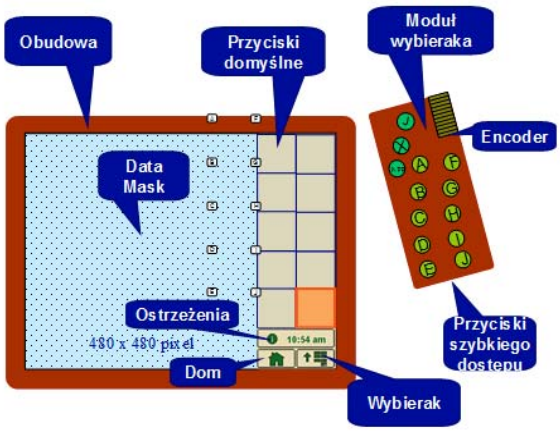
Źródło: opracowanie własne na podstawie [Części składowe normy ISO 11783...]



Źródło: [Materiały firmowe John Deere...]

Rys. 3. ISOBUS CAN (Controller Area Network)

Terminal, w którego skład wchodzą standardowo komputer pokładowy z monitorem, programowane klawisze funkcyjne oraz joystick, steruje dostępnymi funkcjami maszyn oraz dostarcza operatorowi niezbędnych informacji na temat aktualnego stanu poszczególnych systemów agregatu, umożliwia wprowadzanie danych zarządzających pracą zespołów roboczych i ich gromadzenie wraz z archiwizacją (rys. 4).



Źródło: [Materiały firmowe John Deere...]

Rys. 4. Schemat przykładowego terminala

Komunikacja pomiędzy elementami kontrolnymi ciągnika i współpracujących z nim maszyn odbywa się według technologii CAN. Przesyłanie sygnałów pomiędzy wszystkimi czujnikami, komputerem pokładowym, pulpitem sterowania, przełącznikami i innymi elementami wykonawczymi odbywa się za pomocą jednej magistrali danych, dzięki której zmniejszono liczbę przewodów elektrycznych i umożliwiono jednoczesną komunikację pomiędzy wszystkimi systemami w celu osiągnięcia optymalnej wydajności. Cała sieć elektryczna i elektroniczna wykorzystuje transmisję po szynie danych, co często określane jest nazwą multipleksowania.

Terminale ISOBUS wyposaża się w moduły przenośnej pamięci, służące dwukierunkowej wymianie danych pomiędzy terminalem a komputerami w ośrodkach zarządzania. Oprogramowanie zainstalowane na komputerze PC umożliwia przygotowanie scenariusza wykonywania zabiegów polowych w odniesieniu do poszczególnych pól i jego realizację poprzez zarządzanie funkcjami roboczymi współpracujących maszyn. Wyposażenie terminala w odbiornik GPS (Global Positioning System) rozszerza jego funkcje o określanie pozycji geograficznej maszyny.

Aktualnie na świecie funkcjonują dwa systemy globalnej lokalizacji - amerykański system GPS-NAVSTAR (Global Positioning System – Navigation Signal Timing And Ranging) oraz nie w pełni dokończony rosyjski system GLONASS (Globalnaja Nawigacionnaja Sputnikowaja Sistiema). Dwa dalsze są w budowie – GALILEO, cywilny globalny system nawigacyjny budowany przez Unię Europejską oraz COMPASS – chiński globalny system nawigacyjny (nazywany również BEIDOU-2). Każdy z tych systemów składa się z trzech części - segmentu kosmiczno-satelitarnego, segmentu naziemnych stacji korygujących oraz segmentu użytkowników. Podstawowe parametry wymienionych systemów przedstawiono w tabeli 2.

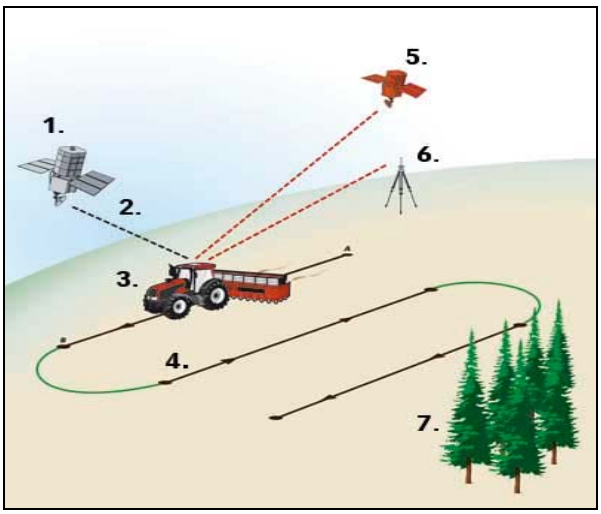
Tabela 2. Systemy globalnej lokalizacji

Nazwa systemu	Wysokość orbity [km]	Okres obiegu [h]	Nachylenie orbity [°]	Liczba płaszczyzn	Liczba satelitów w płaszczyźnie	Liczba satelitów
GPS-NAVSTAR	20200	11 h 58′	55	6	4 (5)	24 (32)
GLONASS	19100	11 h 15′	64,8	3	7+1	24 (21+3)
GALILEO	23616	14 h	56	3	9+1	30
COMPASS	brak danych	brak danych	brak danych	brak danych	brak danych	4

Źródło: opracowanie własne

Określanie pozycji geograficznej agregatów maszynowych wykorzystywane jest w zarządzaniu ruchem sprzętu rolniczego (prowadzeniem maszyn wg określonego toru jazdy) jak i różnicowania parametrów pracy maszyn stosownie do wymagań wynikających z przestrzennego zróżnicowania warunków przyrodni-

czych na uprawianych polach (rys.5). Wymagania te są określane albo na podstawie map aplikacyjnych, tworzonych w oparciu o dane uzyskane z badań polowych (in situ), lub dane modelowe, albo na podstawie pomiarów (obserwacji) wykonywanych w czasie rzeczywistym (on line).



Źródło: [http://www.valtra.de/products/properties/1322.asp]

Rys. 5. Schemat wykorzystania systemu GPS na potrzeby produkcji polowej: 1 - satelita nawigacyjny, 2 – sygnał nadawany przez satelitę nawigacyjnego, 3 – agregat maszynowy, 4 – trasa przejazdu agregatu, 5 – satelita nadający sygnał korekcyjny, 6 – stacja naziemna nadająca sygnał korekcyjny, 7 – czynniki zakłóceń i ryzyka błędnej lokalizacji agregatu maszynowego

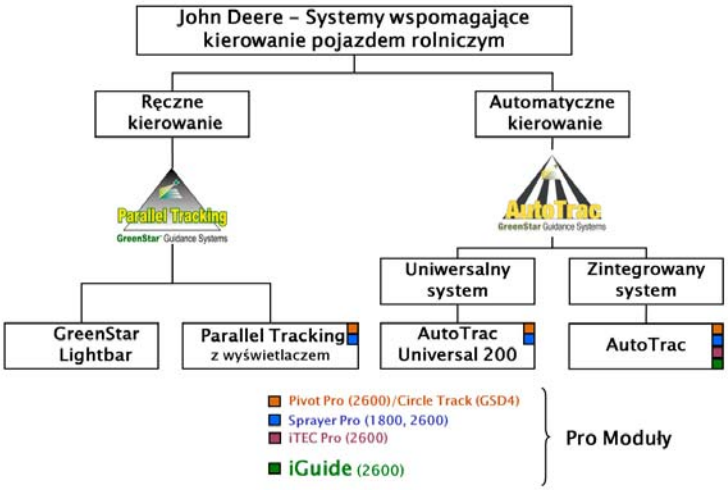
Systemy kierowania torem ruchu agregatów rolniczych

Wśród systemów kierowania torem ruchu agregatów rolniczych do najbardziej rozwiniętych należą satelitarne systemy prowadzenia „GreenStar", opracowane przez firmę John Deer (rys. 6).

Wykorzystuje się w nich technologię nawigacji satelitarnej GPS z użyciem różnych sygnałów korekcyjnych:

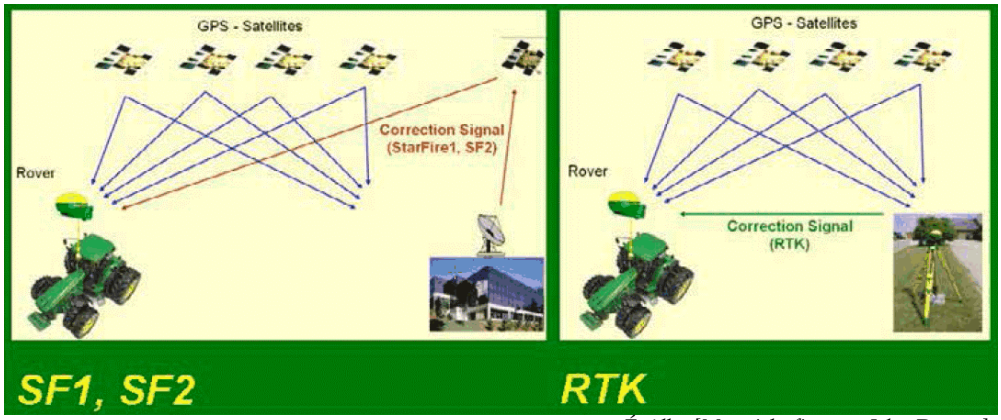
– Egnos (European Geostationary Navigation Overlay Service) – sygnał darmowy, ogólnodostępny w Europie. Dobrze się sprawdza w zabiegach nawożenia mineralnego i chemicznej ochrony roślin. Dokładność ±45 cm.
– SF1 (StarFire1) – darmowy sygnał dostępny jedynie dla klientów John Deere. Dokładność ±10÷30 cm. Nadaje się prac polowych, które nie wymagają dużej precyzji. Wykorzystywany także do siewu nasion (rys. 7).

– SF2 (StarFire2) – sygnał płatny w formie abonamentu. Umożliwia prowadzenie prac wymagających dokładności ±5÷10 cm (rys. 7).
– RTK (Real Time Kinematic) – najbardziej zaawansowany technologicznie system. Dokładność pozycjonowania wynosi ±2÷3 cm. Wymaga jednorazowej aktywacji. Przenośna stacja RTK ma zasięg do 4 km, zaś stacja stacjonarna do 20 km (rys. 7).



Źródło: [Materiały firmowe John Deere...]

Rys. 6. Systemy wspomagające kierowanie pojazdem rolniczym



Źródło: [Materiały firmowe John Deere...]

Rys. 7. Systemy pozycjonowania

Sygnał Egnos wykorzystuje się do wspomagania prowadzenia pojazdu w systemie Lightbar, polegającym na ręcznym naprowadzaniu pojazdu na właściwy tor jazdy na podstawie wskazań wyświetlacza diodowego (rys. 8).

Źródło: [Materiały firmowe John Deere...]

Rys. 8. Wyświetlacz Lightbar [Materiały firmowe John Deere...]

Parallel Tracking jest systemem wspomagania kierowaniem pojazdu przy wykorzystaniu terminala GreenStar i anteny StarFire iTC. Operator kieruje pojazdem wzdłuż ścieżki wskazanej na monitorze. W zależności od wymaganej dokładności prowadzenia pojazdu, system ten może korzystać z sygnałów: EGNOS, SF1, SF2 lub RTK. Umożliwia pracę przy złej widoczności i jazdę w trzech różnych trybach: na wprost, po łuku i w trybie „row finder", czyli co drugi rząd.

Auto Track to automatyczny system kierowania pojazdem rolniczym. Do zadań operatora należy jedynie omijanie przeszkód oraz wykonywanie nawrotów zgodnie z podpowiedzią wyświetlaną na terminalu. System współpracuje z wszystkimi sygnałami korekcyjnymi i jest wyposażony w funkcję Shift Track, pozwalającą na eliminację błędnych sygnałów odbieranych z satelitów GPS. Istnieje możliwość współpracy systemu z dodatkowymi modułami mechatronicznymi iTec oraz iGuide (rys. 10 i 11).

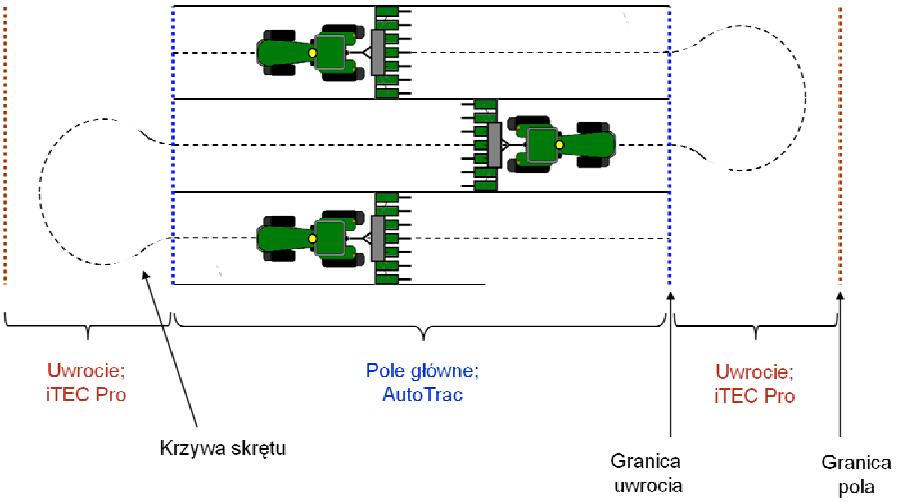
System Universal Auto Trac może być instalowany na wszystkich pojazdach (rys. 9). Posiada podobne cechy jak Auto Trac.

Moduł iTEC Pro rozszerza funkcjonalność systemu Auto Trac o funkcję automatycznego kierowania ciągnikiem lub innym pojazdem na uwrociach, zgodnie z zadanym programem (rys. 10). Układ kontroluje prędkość pojazdu, podnoszenie i opuszczanie narzędzi zawieszanych z przodu i z tyłu pojazdu oraz zmiany położenia roboczego narzędzi zaczepianych. Steruje pracą WOM, przednim napędem, blokadą mechanizmu różnicowego i obwodami hydrauliki zewnętrznej.

Układ mechatroniczny iGuide współpracuje z systemem Auto Trac. Zapobiega niepożądanemu nakładaniu się śladów przejazdu maszyny. Wykorzystywany jest do tego celu sygnał RTK oraz dodatkowy odbiornik tego sygnału instalowany na narzędziu. Przeznaczony jest do korekty przejazdów agregatu wzdłuż torów zakrzywionych oraz na pochyłościach.

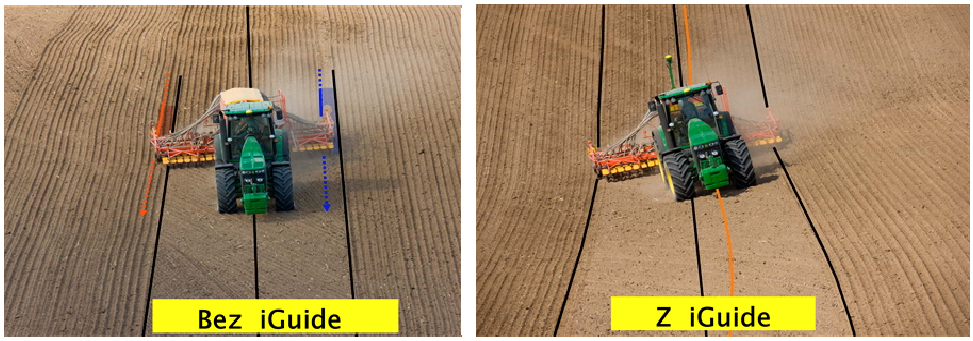
Źródło: [Materiały firmowe John Deere...]

Rys. 9. Urządzenia wchodzące w skład Universal Auto Trac



Źródło: [Materiały firmowe John Deere...]

Rys. 10. Schemat przejazdów agregatu maszynowego
z wykorzystaniem automatycznego systemu kierowania iTec Pro



Źródło: [Materiały firmowe John Deere...]

Rys.11. Porównanie jakości pracy agregatu przed i po zastosowaniu systemu iGuide

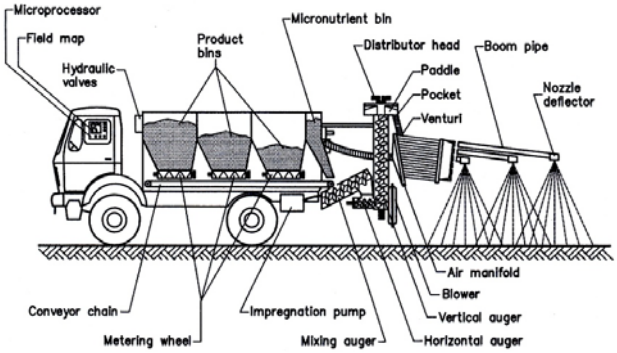
Systemy i układy regulacji zespołów roboczych

W rolnictwie precyzyjnym procesy robocze maszyn rolniczych są sterowane na podstawie wcześniej przygotowanych map aplikacyjnych i/lub na podstawie pomiarów oraz obserwacji wykonywanych w trakcie zabiegów polowych w czasie rzeczywistym.

Spośród licznych systemów regulacji procesów roboczych realizowanych w precyzyjnej produkcji roślinnej wyróżnić należy systemy zmiennego dawkowania (VRT –Variable Rate Technology), które pozwalają sterować ilością substancji (materiału) wydatkowanej na jednostkę powierzchni, w zależności od pozycji geograficznej, zgodnie z założonymi danymi sterującymi, pochodzącymi z map aplikacyjnych i/lub ze wskazań czujników. Mają one zastosowanie przy rozsiewie nawozów, aplikacji pestycydów oraz siewie nasion. Umożliwiają optymalizowanie dawek w zależności od potrzeb (rys. 12).

Do oceny aktualnego zapotrzebowania roślin na nawóz azotowy stosowane są metody optyczne Yara-N-Sensor, Mini-Veg-N czy też Green-Seeker. Najnowszy czujnik Yara-N-Sensor ALS (Active Light Source) stosowany jest głównie przy nawożeniu zbóż i rzepaku (rys.13). Umieszczany jest najczęściej na kabinie ciągnika i posiada własne, ksenonowe źródło światła. Emitowane promieniowanie po odbiciu przez rośliny trafia na fotodiody czujnika. Tam następuje ocena widma uwzględniająca absorpcję światła otoczenia. Poziom nawożenia określany jest na podstawie wcześniej opracowanych algorytmów dostosowywanych do gatunku roślin i regionu.

Do chemicznego zwalczania chwastów, firma Eco Dan oferuje wyposażenie opryskiwacza w układ selektywnego sterowania dyszami, w którym zastosowano kamery i programy komputerowe do analizy obrazu. W przypadku lokalizacji chwastów w strefie działania dyszy, automatycznie realizowany jest mikrooprysk (rys. 14).



Źródło: [Stout (red.). 1999]

Rys. 12. Rozsiewacz nawozów wieloskładnikowych

Źródło: [http://www.agricon.de]

Rys. 13. Yara-N-Sensor ALS

Źródło: [http://www.blt.bmlf.gv.at/vero/veranst/026/10_Handler_BLT_Bildverarbeitung-1]

Rys. 14. Sterowane dysze opryskiwacza

Teledetekcyjne układy wyposażone w kamery są wykorzystywane także do rozpoznawania chwastów podczas zabiegów uprawy międzyrzędowej. Na rys. 15 przedstawiono fragment pielnika, którego elementy robocze skutecznie spulchniają glebę zarówno w międzyrzędziach jak i pomiędzy kolejnymi roślinami, niszcząc jednocześnie wszystkie rośliny o odmiennym niż we wzorcu wyglądzie.

W uprawie roli, parametrem sterowanym przez zmienne właściwości gleby pracy jest głębokość robocza. Na podstawie map aplikacyjnych jest ona automatycznie dostosowywana do warunków glebowych w obrębie pola. Regulacja odbywa się poprzez bezstopniową zmianę położenia kół kopiujących lub zmianę geometrii czworoboków przegubowych, na których zamocowano elementy robocze. Elementami wykonawczymi są siłowniki hydrauliczne sterowane przez komputer pokładowy.

Do sterowania położenia ramy pługa względem krawędzi bruzdy wyoranej w poprzednim przejeździe, co stanowi problem w przypadku kiedy ciągnik wszystkimi kołami porusza się po caliźnie (orka onland), opracowano system kierowania wykorzystujący dwa ultradźwiękowe czujniki, zamocowane z przodu pługa (rys. 16). Przy prawidłowym torze ruchu jeden z czujników wykrywa dno bruzdy, a drugi caliznę. Każde odchylenie od właściwego toru jazdy jest automatycznie korygowane przez układ elektrohydrauliczny.

Źródło: [http://www.garford.com]

Rys. 15. Sterowane zespoły robocze pielnika

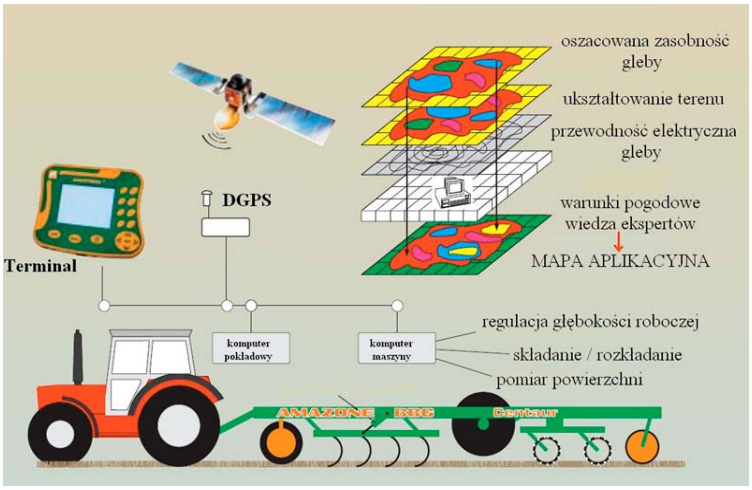
Źródło: [Eder 2010]

Rys. 16. Schemat kontrolera toru ruchu podczas orki

Badania zmienności właściwości użytków rolnych i plonowania roślin

Zmienność właściwości użytków rolnych jest cechą naturalną i stanowi swoiste wyzwanie dla ich efektywnego i skutecznego wykorzystania w produkcji surowców rolniczych, przy minimalnych zagrożeniach dla środowiska i zdrowia człowieka. To wyzwanie oznacza potrzebę stosowania metod produkcyjnych

uwzględniających lokalną zmienność warunków siedliskowych w obrębie pól, umożliwiających optymalne wykorzystanie zasobów gleby i potencjału roślin. Do tego niezbędna jest znajomość tej zmienności. Źródłem wymaganej wiedzy są wyniki wcześniejszych oraz aktualnie prowadzonych badań czynników charakteryzujących właściwości gleb, jak i ich oddziaływania na wzrost i plonowanie roślin w różnych uwarunkowaniach klimatycznych. Wykorzystanie tej wiedzy w produkcji rolniczej stało się możliwe przy zastosowaniu Systemu Informacji Geograficznej (GIS). Za pomocą systemu GIS sporządza się mapy, przedstawiające stan zróżnicowania przestrzennego właściwości środowiska przyrodniczego oraz osiąganych plonów. Na podstawie zamieszczonych na mapach danych oraz dostępnej wiedzy specjalistycznej, tworzone są mapy aplikacyjne dla zabiegów agrotechnicznych, uwzględniające założone cele produkcyjne (rys. 17).



Źródło: [Eder 2010]

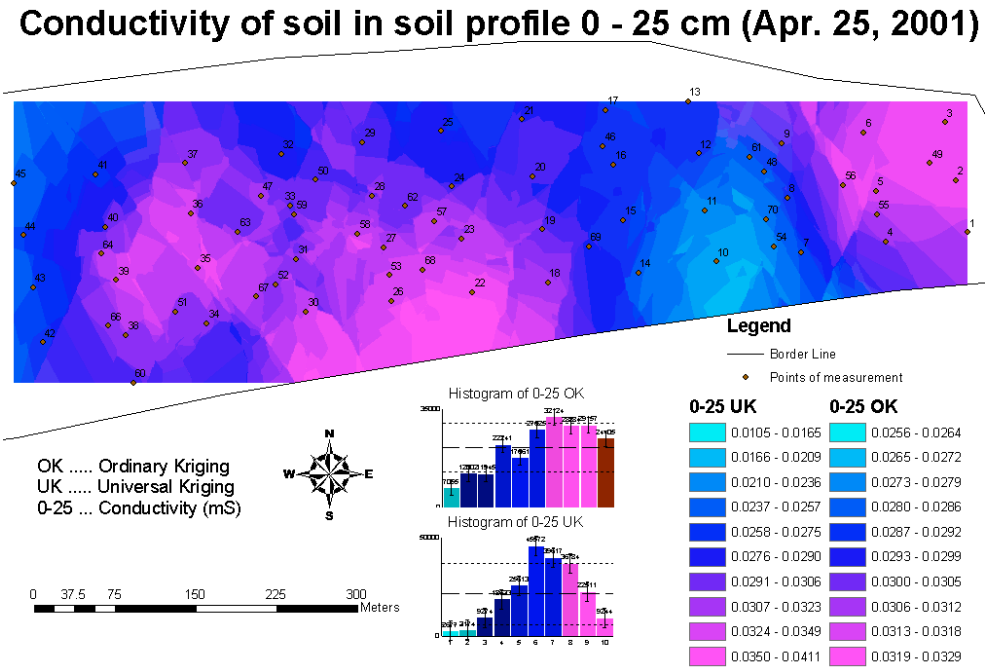
Rys. 17. Schemat procesu tworzenia i wykorzystania map aplikacyjnych w uprawie roli [Materiały firmowe Amazonen Werke H. Dreyer GmbH&Co]

Skuteczność w osiąganiu tych celów zależy nie tylko od systemów i technik kierowania pracą ciągników oraz maszyn rolniczych jak i technicznych możliwości regulacji parametrów pracy maszyn, ale także od rodzaju i jakości danych wykorzystywanych w procesie tworzenia map aplikacyjnych.

Obserwuje się znaczący postęp w rozwoju metod pozyskiwania i przetwarzania danych charakteryzujących zmienność przyrodniczą pól i uzyskiwane plony. Obok czaso- i pracochłonnych metod tradycyjnych, opartych na laboratoryjnych badaniach próbek, pobieranych w sposób mniej lub bardziej zautomatyzowany, stosowane są szybsze metody badań on-line, prowadzonych w warunkach polowych przy użyciu czujników montowanych na ciągnikach i innych pojazdach.

Wśród metod *in situ* na szczególną uwagę zasługują metody wyznaczania właściwości gleb na podstawie ich przewodności elektromagnetycznej oraz, zaawansowane technologicznie, metody badań z zastosowaniem teledetekcji.

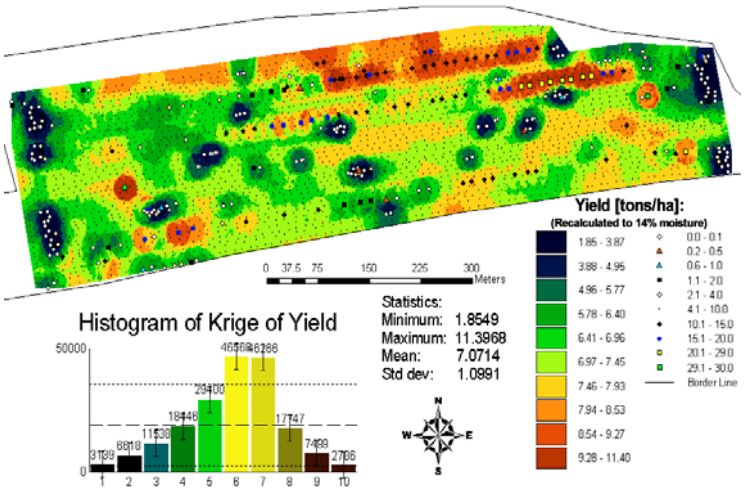
Mapy przewodności elektrycznej EC, którą uznaje się jako sprawdzoną metodę szybkiej oceny składu granulometrycznego oraz zawartości wilgoci w glebie, stają się jednym z ważniejszych składników procesu tworzenia map aplikacyjnych. Na rys.18 przedstawiono przykładowe wyniki badań przewodności elektrycznej gleby, przeprowadzonych z wykorzystaniem czujników do pomiaru indukcji elektromagnetycznej, będących w bezpośrednim kontakcie z glebą. Pomiar spadku napięcia, wynikającego ze zróżnicowanej zdolności gleby do przewodzenia prądu, dokonywany był w dwóch warstwach badanego profilu (0÷30 cm i 0±80 cm), a współrzędne miejsca pomiaru rejestrowane były za pomocą systemu GPS.



Źródło: [Šařec, Prošek, Dobek, Šařec 2002]

Rys. 18. Mapa przewodności elektrycznej gleby

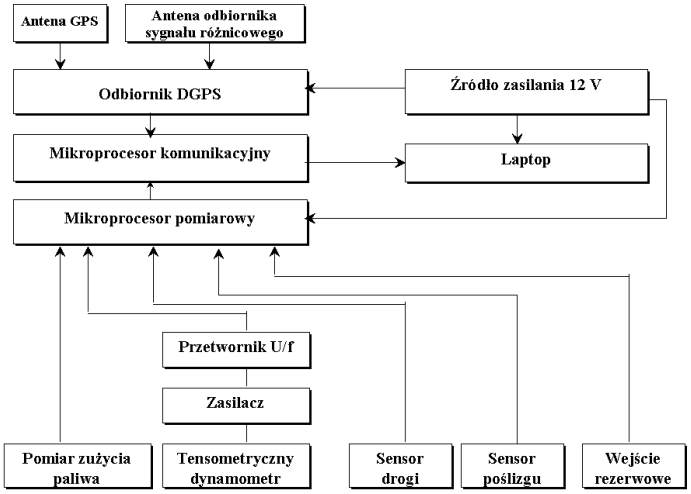
Wyniki badań przewodności porównano z wynikami badań plonów (rys. 19). Stwierdzono, że między tymi wielkościami istnieje dodatnia korelacja. Mapy przewodności elektrycznej mogą zatem służyć do prognozowania plonowania roślin.



Źródło: [Šařec, Prošek, Dobek, Šařec 2002]

Rys. 19. Mapa monitorowania plonów pszenicy ozimej podczas zbioru kombajnem Claas Lexion

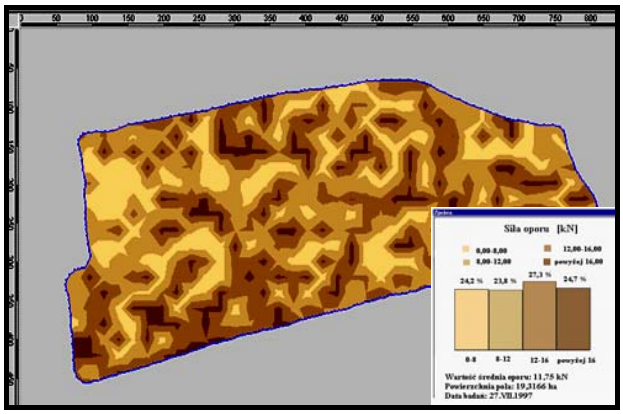
Innym przykładem szybkiej metody oceny właściwości gleb i powiązanych z nimi parametrów pracy ciągników i maszyn rolniczych jest wykorzystanie urządzeń pomiarowych standardowo instalowanych w ciągnikach. Na rys. 20 przedstawiono schemat wykorzystania takich urządzeń do pomiaru oporu gleby, poślizgu kół napędowych ciągnika i ilości zużywanego paliwa.



Źródło: [Šařec, Prošek, Dobek, Šařec 2002]

Rys. 20. Schemat blokowy układu do pomiaru oporu gleby, zużycia paliwa oraz poślizgu

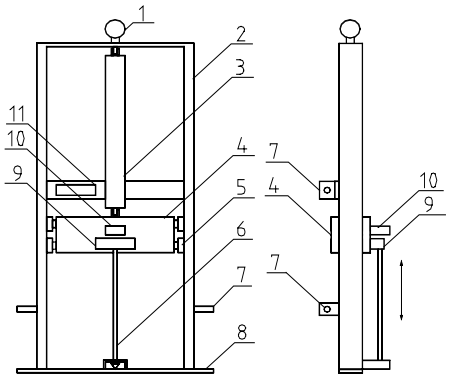
Znajomość rozkładu zmienności tych parametrów w obrębie uprawianych pól umożliwia podejmowanie racjonalnych decyzji odnośnie doboru parametrów pracy maszyn, wyboru technologii uprawy roli czy siewu. Przykładową mapę oporów gleby przedstawiono na rys. 21.



Źródło: [Šařec, Prošek, Dobek, Šařec 2002]

Rys. 21. Mapa oporów gleby

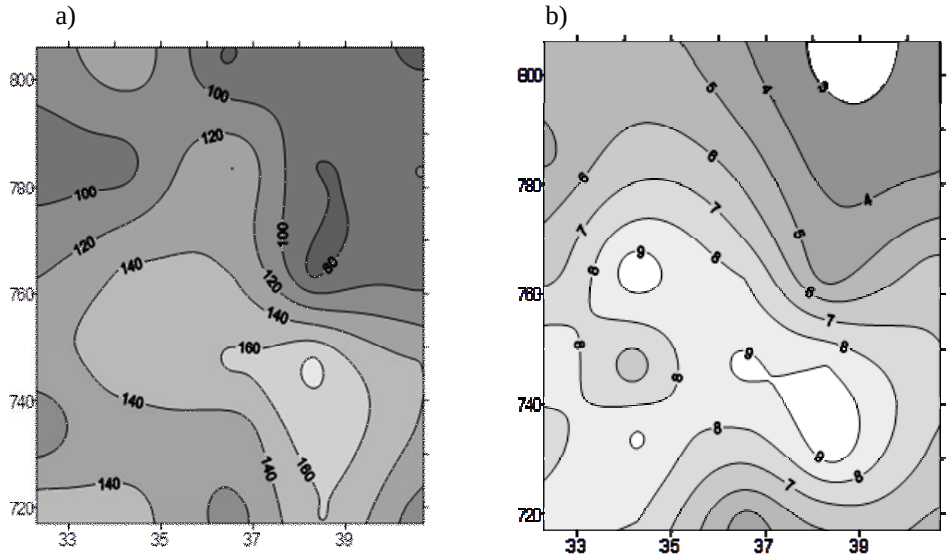
Na rys. 22 przedstawiono schemat wieloczynnościowego urządzenia pomiarowego, zawieszanego na TUZ ciągnika, do pomiaru zwięzłości, naprężenia granicznego i innych właściwości fizycznych, określanych na podstawie prób gleby o nienaruszonej strukturze.



Źródło: [Jurga 2005]

Rys. 22. Schemat urządzenia pomiarowego: 1 – odbiornik DGPS, 2 – rama, 3 – siłownik hydrauliczny, 4 – wózek roboczy, 5 – rolki prowadzące, 6 – sonda pomiarowa (alternatywnie pomiar zwięzłości, naprężenia granicznego, wilgotności objętościowej lub adapter do pobierania próbek gleby o nienaruszonej strukturze), 7 – elementy do agregatowania z ciągnikiem, 8 – podstawa (stopa) ramy, 9 – czujnik siły, 10 – czujnik zagłębienia sondy w glebie, 11 – mikrokomputer i wyposażenie elektroniczne

Urządzenie wyposażono w odbiornik DGPS oraz w układ do akwizycji danych wraz z oprogramowaniem umożliwiającym obróbkę danych uzyskanych podczas badań. Po zetknięciu sondy z glebą, samoczynnie uruchamia się układ rejestracji wyników, oraz lokalizacja urządzenia badawczego metodą DGPS. Po zakończeniu serii pomiarów następuje obróbka danych w programie wykonanym na potrzeby przedstawionego urządzenia pomiarowego. Urządzenie umożliwia badanie gleby na głębokość do 60 centymetrów, stąd wyniki pomiarów mogą zostać posortowane do przedziałów głębokości dowolnie ustalonych przez operatora. Program umożliwia wizualizację rozkładu zmienności badanych właściwości gleby na danym areale rys. 23.



Źródło: [Jurga 2005]

Rys. 23. Przykłady zastosowania urządzenia do badania wybranych właściwości fizycznych piasku gliniastego: a) rozkład naprężenia granicznego [kPa] na powierzchni gleby, b) rozkład zwięzłości gleby [MPa] w warstwie 25÷35 cm

Podsumowanie

Jak wykazują dotychczasowe doświadczenia i wyniki przeprowadzanych badań, rolnictwo precyzyjne jako system zarządzania produkcją rolniczą, oparty na wiedzy wspomaganej najnowszymi technologiami komputerowymi i telekomunikacyjnymi, sprzyja podejmowaniu optymalnych decyzji operacyjnych w kontekście ekonomicznych, jakościowych i ekologicznych efektów produkcji rolnej. To stosunkowo młode i innowacyjne podejście do gospodarowania zasobami w rol-

nictwie doczekało się już pełnego wdrożenia w USA, Kanadzie, Australii i Nowej Zelandii. Znajduje ono wielu zwolenników również w Europie.

Gospodarowanie precyzyjne, oparte na zasadzie optymalnego wykorzystywania potencjału produkcyjnego stosownie do oczekiwanych efektów, jest szczególnym wyzwaniem dla sfery produkcji roślinnej. Obok naturalnej zmienności właściwości środowiska glebowego, głównym problemem produkcji roślinnej są zmieniające się z roku na rok warunki pogodowe. Wpływają bowiem one znacząco na przebieg procesów uwalniania składników pokarmowych w trakcie wegetacji roślin, występowanie agrofagów, dostępność wody, a w końcowym efekcie na plonowanie roślin.

W tych uwarunkowaniach, w optymalizowaniu produkcji rolniczej niezastąpione jest doświadczenie i wiedza rolnika, wspomagana przez badania naukowe oraz komputerowe systemy podejmowania decyzji. Jakość uzyskiwanych rozwiązań decyzyjnych jest uzależniona od jakości posiadanych danych. Do pozyskiwania danych wykorzystuje się zaawansowane technologicznie metody i techniki gromadzenia i przetwarzania informacji, których przykłady przedstawiono w niniejszym opracowaniu. Wynika z nich, że problemem pozostaje pracochłonność pozyskiwania wielu informacji, jak i ich analiza oraz interpretacja. Niezbędne jest zatem kontynuowanie interdyscyplinarnych badań, ukierunkowanych na opracowanie szybkich metod oceny zmienności przyrodniczej użytków rolnych, a także poszukiwanie algorytmów odwzorowujących przebiegi procesów zachodzących w środowisku glebowym i ich oddziaływania na środowisko, wegetację roślin oraz na wielkość i jakość plonów.

Ostateczny efekt, tzn. osiągnięcie założonych celów produkcyjnych, uzależniony jest od technicznych zdolności ciągników i maszyn rolniczych do realizacji zadań wg założeń określonych na mapach aplikacyjnych, lub na podstawie sygnałów wysyłanych w trakcie wykonywania zabiegu agrotechnicznego przez urządzenia monitorujące. W opracowaniu przedstawiono przegląd wybranych systemów kierowania ruchem ciągników i pojazdów rolniczych oraz regulacji zespołów roboczych. Wynika z niego, że w ostatnich latach nastąpił w tym zakresie znaczący postęp. Oferuje się urządzenia umożliwiające stosowanie elementów technologii rolnictwa precyzyjnego zarówno w gospodarstwach dużych jak i małych.

Możliwe staje się więc upowszechnienie tej innowacyjnej koncepcji gospodarowania również w warunkach polskich. Jej interdyscyplinarny charakter, integrujący wiele różnych osiągnięć technologicznych i technicznych powoduje, że dalsze jej upowszechnienie oraz rozwój uzależniony jest od współpracy wielu dyscyplin naukowych, przemysłu i praktyki rolniczej. Wzorcowym przykładem kompleksowego podejścia do rozwiązywania zagadnień dotyczących rolnictwa precyzyjnego i jego miejsca oraz roli w nauce, rolnictwie i gospodarce narodowej jest wieloletni, niemiecki projekt badawczy Pre Agro [Informationsgeleitete Pflanzenproduktion].

Znaczącą, a może nawet najważniejszą rolę w rozwoju tego systemu produkcji miała i ma inżynieria rolnicza, pozwalająca w sposób zintegrowany wykorzystać osiągnięcia innych nauk i techniki do optymalizacji technologii uprawy poszczególnych roślin. Przed inżynierią rolniczą stoją też zadania upowszechniania rolnictwa precyzyjnego w praktyce rolniczej - między innymi poprzez działalność edukacyjną i publikacyjną, usuwanie istniejących barier oraz prowadzenie dalszych badań na użytek rozwoju tej innowacyjnej technologii.

Bibliografia

Eder H.W. 2010. Verfahrenstechnische Untersuchungen zum Onland Pflügen sowie dessen Auswirkungen auf Bodenverdichtungen. Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur. Wien [dostęp 14.04.2011]. Dostępny w internecie: https://zidapps.boku .ac.at/abstracts/

Gozdowski D., Samborski S., Sioma S. 2007. Rolnictwo precyzyjne. Wydawnictwo SGGW. Warszawa.

Jurga J. 2005. Urządzenie do pomiaru zwięzłości i naprężenia granicznego oraz do pobierania prób gleby o nienaruszonej strukturze. Inżynieria Rolnicza. Nr 63(3). Warszawa.

Šařec O., Prošek V., Dobek T., Šařec P. 2002. Precyzyjne rolnictwo - tworzenie mapy przewodności elektrycznej gleby. Inżynieria Rolnicza 2(55). Warszawa.

Stout B. A. (red.). 1999. CIGR Handbook of Agricultural Engineering. Plant Production Engineering. Volume 3. American Society of Agricultural Engineers. ISBN 1-892769-02-6.

Części składowe normy ISO 11783 [dostęp 10.04.2011]. Dostępny w internecie: http://www.isobus.net.

Informationsgeleitete Pflanzenproduktion mit Precision Farming als zentrale inhaltliche und technische Voraussetzung für eine nachhaltige Entwicklung der landwirtschaflichen Landnutzung – pre agro II. 2008. Bundesministerium für Bildung und Forschung.

Materiały firmowe Amazonen Werke H. Dreyer GmbH&Co. KG am Amazonenwerk 9-13. D 49205 Hasbergen – Germany.

Materiały firmowe John Deere Polska. Sp. z o.o., ul. Orzechowa 1, Jelonek k/Poznania, 62-002 Suchy Las.

Przykład zarządzania procesami w produkcji roślinnej [dostęp 21.02.2011]. Dostępny w internecie: http://pubs.ext.vt.edu/442/442-500/442-500.html.

Schemat wykorzystania systemu GPS na potrzeby produkcji polowej [dostęp 10.04.2011]. Dostępny w internecie http://www.valtra.de/products/properties/1322.asp.

Sterowane dysze opryskiwacza [dostęp 08.09.2009]. Dostępny w internecie: http://www.blt.bmlf.gv.at/vero/veranst/026/10_Handler_BLT_Bildverarbeitung-1.

Sterowane zespoły robocze pielnika [dostęp 08.09.2009]. Dostępny w internecie: http://www.garford.com.

Yara-N-Sensor ALS [dostęp 12.04.2011]. Dostępny w internecie: http://www.agricon.de.

STORING OF POTATOES IN SLOVAKIA AND ITS IMPACT ON THE QUALITY AND AMOUNT OF LOSS

Ján Frančák

Slovak University of Agriculture , Faculty of Engineering
Department of Machines and Production Systems
e-mail: Jan.Francak@uniag.sk

Maroš Korenko

Slovak University of Agriculture , Faculty of Engineering
Department of Quality and Engineering Technologies
e-mail: Maros.Korenko@uniag.sk

Introduction

In Slovakia, in most potato growers are used two basic methods of storage:

- **Freely put potatoes stored in boxes** with the possibility of ventilation from bottom by duct so that the whole matter was thoroughly ventilation and maintained at the desired temperature and humidity.
- **Placing of potatoes in the pallets** (one pallet capacity is 550-600 kg) in three to four rows of each other according to the type store of potatoes and clearance. Ventilation from the side and blasting cold air between the rows and among the various pallets stored at each other.

Both methods of storage must be equipped with air-conditioning facilities due to the fact that the potato storage the ambient temperature ranges from 15 to 20°C. In winter the temperature falls below – 15°C in spring in removal increase up to 20°C. Effect of storage temperature on loss and them damage expresses the following chart.

Increased temperature causes loss by vitiation, germination and putrefaction. Low temperature causes loss by turn into sugar, frost damage, reduced germination and etc.

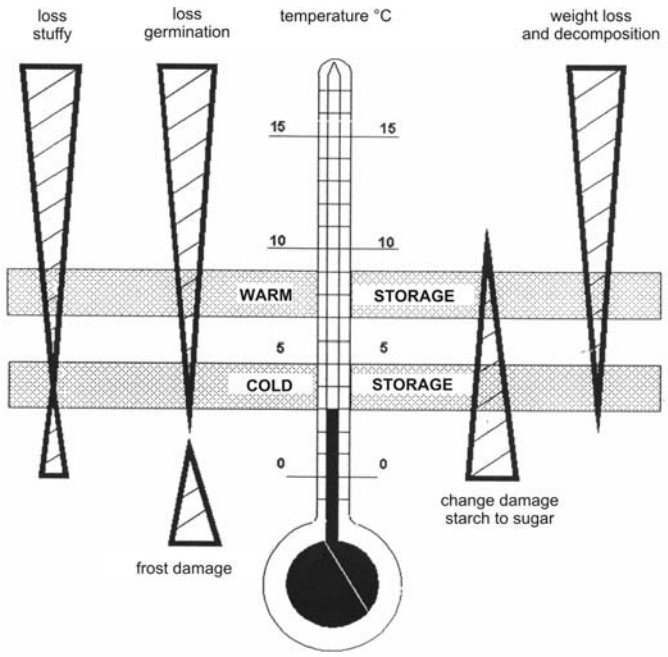


Fig. 1 Effect of storage temperature on damage to potatoes

Materials and methods

To assess the amount of damage and losses in storage of potatoes, depending on the use of storage technology, we compared two basic methods of storage.

1. Storage of freely put potatoes in boxes,
2. Storage of potatoes in pallets.

For storage of potatoes was used store of potatoes in southwestern Slovakia in Galanta district. Stored potatoes were for consumption and seed. In terms of phytosanitary were stored by two separated lines. The scheme of potato store in on fig. 2.

Potable material was stored in boxes that ware allocated with wooden partitions. The capacity of each box is 1800 tons. Planting material was stored in pallets in four rows on each other. The capacity of box with palletizing store is 1400 tons.

The regulation change in pallet storage of seed is through air conditioning units Agrocal. The system is controlled automatically by a thermal probe located in the box. Regulation of temperature in boxes with freely put potatoes is resolved by the thermometric sondes through heat sensors and security of air blasting cold through the bottom ventilation ducts. Figure.3 illustrates the storage of potatoes in the pallets.

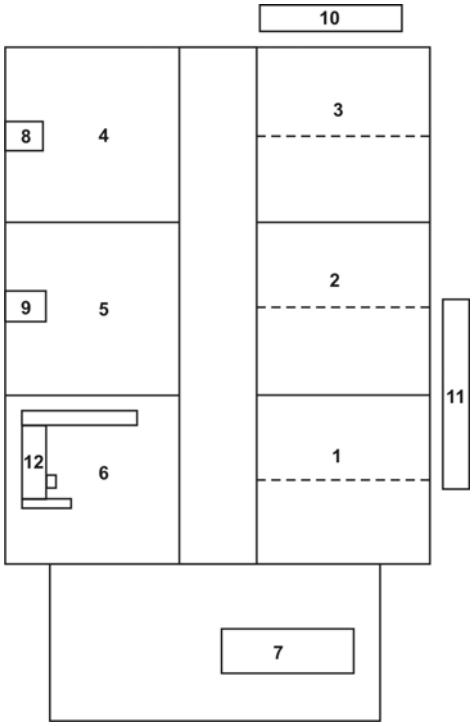


Fig. 2. Scheme of potato store.
Where: 1–3 – Chambers for the storage of consumer material; 4–5 – air–conditioned chambers for the storage of planting material; 6 –removal chamber of planting material, delivery orders; 7 –removal line of consumer material; 8–9 – air–conditioning towers; 10 – storage line planting material; 11 – storage line of consumer material; 12 – removal line of planting material

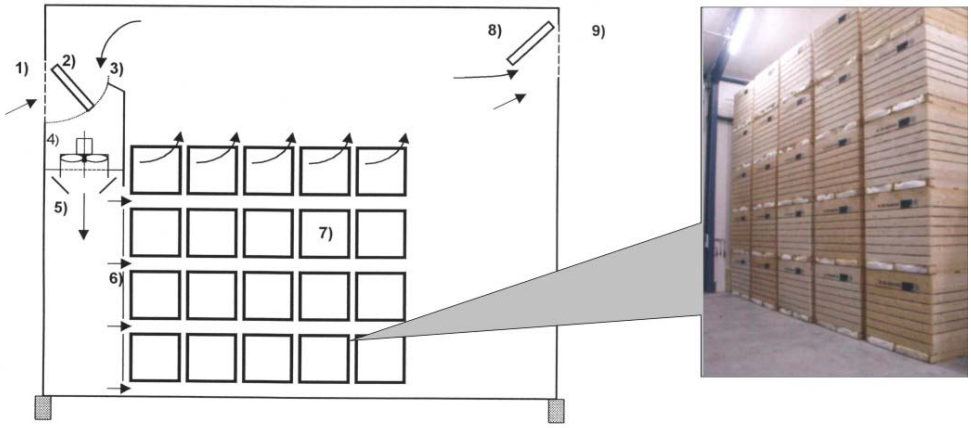


Fig. 3. Design of bound aeration of material in box pallets.
Where: 1 – laminated grille of air intake; 2 – air intake isolated valve made of plastic material; 3 – air circulation backstop; 4 – (fan housing with fan and valve against backlash; 5 – pressurized chamber; 6 – aeration canal; 7 – potato; 8 – isolated valve of air removal made of plastic material; 9 – laminated grille of air removal

In Fig. 4 is a diagram of storage of freely put potatoes.

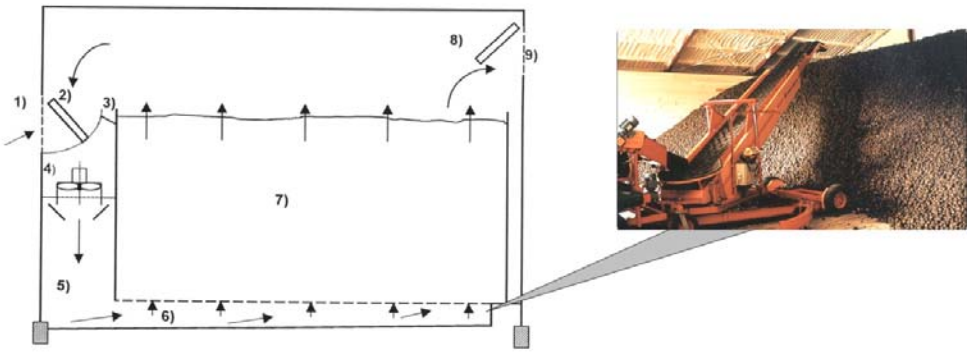


Fig. 4. Design of potatoes free storage.
Where: 1– laminated grille of air intake; 2 – air intake isolated valve made of plastic material; 3– air circulation backstop; 4 – fan housing with fan and valve against backlash; 5 – pressurized chamber; 6 – aeration canal); 7 – potatoes; 8 – isolated valve of air removal made of plastic material; 9 – laminated grille of air removal

Into the individual sections were potatoes removed from storage continuously during the harvest. In the first phase took place the drying phase, healing of wounds and chilling. Followed by removal from storage and then (in removal of seed - warming). The course of temperature is shown in Fig. 5.

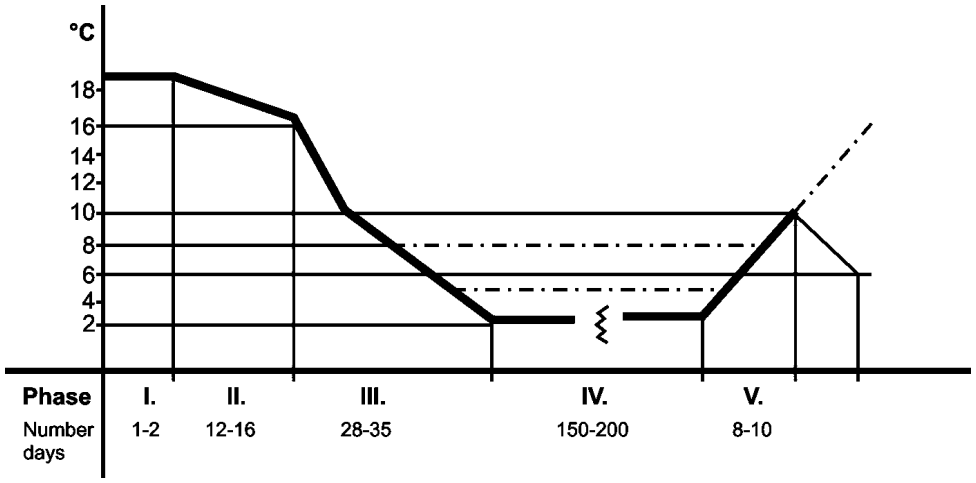


Fig. 5. Required values of temperature in the storage of potatoes.
Where: I drying, II. healing, III. chilling, IV. storage, V. warming – in removal of seed form storage

Harvesting of potatoes was solved with high-quality two-line potato harvester Grimme SE 170-60. Transportation of equipment was provided by trucks.

There were stored four varieties also by consumer and also by the planting material. It was Agria, Agatha, Impala and Kurada (currently the most common varieties in Slovakia). Total average damage was verified by the following relations:

Total average damage:

$$T_d = 0{,}1 \cdot S_d + 0{,}5 \cdot M_d + 1{,}0 \cdot H_d \quad (1)$$

kde:

T_d – total damage [kg],
S_d – damage – into the depth of 1 mm, or peel rawness [kg],
M_d – middle damage − into 5 mm [kg],
H_d – heavy damage − over 5 mm, or bulb cut [kg],
U_p – undamaged potatoes [kg].

Percent of damage:

$$P_d = \frac{T_d}{Y} \cdot 100 \ , \ [\%] \quad (2)$$

where:

P_d – percent of damage [%],
T_d – total damage [kg],
Y – yield from taken sample [kg].

Losses were verified from taken samples of potatoes from pallets, or freely put. Losses were created mainly by mechanical damage, stuffy and putrefaction.

Results and discussion

Storing of consumer also planting material to individual storage areas was ongoing.

Consumer material was from vehicles by belt conveyors transported through sorting machine where potato tubers are cleaned, free of soil, plant residues, stones and under dimensional potatoes. Free of soil and cleaned potatoes pass through the belt conveyor where the operator selects manually damaged tubers. After come by the transverse conveyors to individual storage boxes, where are by the cascading conveyors stored. Working speed of conveyors and fall is adjustable so, that in storing and sorting potatoes to avoid damage of them.

Storing height is 3.5 to 4 meters; a box capacity is 1,800 t. Ventilation system is by force of air flow through the lower aeration channels. Used, is mainly:

1. by storing of the potatoes to finishing drying ,
2. in winter by increasing of the storage temperature of the stored potatoes by blowing-in a cold air to preservation of a required temperature.

Regulation of temperature is solved by the measuring sondes through thermal sensors and providing of pumping of cold air through ventilation ducts. The advantage of this system is that it is simpler, cheaper, not heavy on maintenance and operation. The disadvantage is the non-observance of the storage temperature at high outside temperatures by storing or removal of the potatoes at high frosts in winter.

Planting material is stored by separate storing line in the main in term of its health protection. Potato tubers after sorting, separation of impurities underdimensional potatoes, stones and plant residues come to feeder and subsequently to wooden box pallets with weight 550 kg. After filling are the pallets by forklift to storage to air-conditioning boxes of store of potatoes. Their store is arranged so, that flowing air to provide cooling through each other between rows of pallets and the walls of the box and pallets.

Individual boxes are equipped with machinery to regulate the climate. The system of cooling or warming is working on the following principle: the thermic sondes get impulse to the machinery in case of high, or low temperature there come up to cooling or warming of the material. The system is controlled automatically. Boxes of planting also of consumer material are equipped with lamellar bars for air supply. The purpose of these lamellas is to provide by the active outdoor air ventilation, at rest of ventilation system ensures the holding of the set storage temperature.

Assessment of quality of pregerminated material

Consumer potatoes. In three boxes freely put potatoes was stored 5240 tons. Losses in individual boxes, but also in stored varieties ranged from 7.36% to 18.8%.Removaled were in total of 4569 tons. The average height of loss was 12.8% of the total amounted to 671 tons (figure 6).

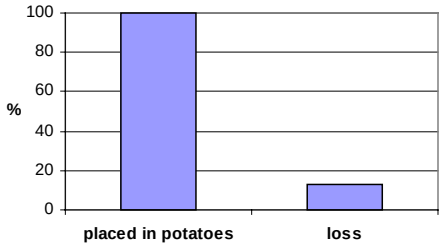


Fig. 6. Amount of loss in the free storage (stored potatoes, loss)

The losses consisted mainly in the mechanical damage on the long transport strips, next overbear of tubers in the lower layers in the store, as well as permeability of diseases at putrefaction.

Planting potatoes. Planting potatoes were stored in two boxes equipped with air-conditioning facilities in the total quantity of 2250 tons. Losses in different varieties also in separate boxes ranged from 3% to 7%. Removed were in total of 2128.5 tons. The average height of loss was 5.4% of the total amounted to 121.5 tons (figure 7).

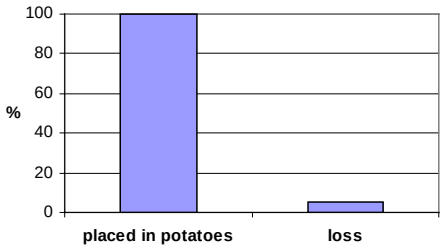


Fig. 7. Amonut of loss in the amount in pallets

When comparing the results of damage and losses in consumer and planting potatoes in free box and palette storage, there is clearly seems preferable a system of storage on pallets. Despite the diversity of varieties and sometimes subjective impact of services in the collection and handling, however, plays a crucial role the way of storage. Storage costs in the storage in pallets were higher by 8%, but the average height of losses in storage in pallets was smaller by 7.4%. By storage in pallets is provided better ventilation of potato tubers reduces damage of tubers in handling and reduce transfer of diseases. Similarly, in removal of the potato from the pallets are better (seed has maintained the required characteristics) as well as consumer potatoes from a visual point of view are superior and also better sales. Storage on pallets was achieved a higher quality of planting material, higher germination and better health of seed.

Conclusion

Based on the method of storage of potatoes in that company, we have reached the following conclusions:

– technology of storage of potatoes for seed and storage in pallets including automatically controlled climate fulfills all the requirements for the quality storage of potatoes (gentle handling of seed, low falls on takeover conveyors,

storage in pallets without major damage, good handling with pallets, limited transfer of diseases and good climate. The percentage loss was found at 5.4%,
- storage of freely put potatoes with forced ventilation system does not create so appropriate conditions for storage. There is a problem with the continuous reduction of temperature, drying and healing of wounds. In height of layer 3.5 to 4 m is high specific pressure to lower potatoes, being increase transfer of diseases. The percentage of losses is at the level 12.8%,
- high difference in losses creates a requirement for quality in air conditioning and storage in pallets. The difference in losses of 10000 t potato storage will pay capital costs for adjustment of potato storage over three years,
- although we did not specifically study the individual varieties , will be needed to pursue attention also to this issue, because the internal strength of potato tubers can significantly affect the amount of damage and the loss,
- in terms of damage reduce more attention need to be given to the technological discipline in primary producers:
  - quality fertilization (compliance of the fertilization regime),
  - soil preparation,
  - removal of stones form the soil before planting,
  - to pay special attention to harvesting techniques and its various functional mechanism for the purpose to reduce of damage in collection, which is then transferred also into storage.

Summary

From a technical and economic evaluation of potatoes in two storage technologies is clear that:
- the most appropriate method of storage is in the pallets,
- the implementation of automation and air conditioning control,
- storage on pallets, increases the storage costs comparing to the free storage by the 5%,
- storage on pallets, but also reduces the loss by 7.4%,
- the amount of loss in financial terms can over three years to pay the cost of completing the air-conditioning unit,
- storage on pallets ensures quality, healthy planting material and in consumer potatoes will maintain quality visual indication, which leads to merchantability increase of this product.

References

Frančák, J. – Budyn, P. - Korenko, M. – Simoník, J. 2001 Ekonomické hodnotenie uplatnenia techniky na pestovanie a zber zemiakov In: Ekonomika a efektívnosť poľnohospodárskej techniky: Zborník referátov z medzinárodnej vedeckej konferencie: Nitra 18.10.2001. Nitra. Slovenská poľnohospodárska univerzita

Frančák, J. - Korenko 2006. Automatizačné a regulačné systémy pri pozberovom spracovaní a uskladnení zemiakov. In: Manažment výrobných systémov s podporou informačných technológií a riadiacej techniky. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita.

Kielbasa P., Budyn P. 2009. Analiza zwięzłości gleb w okresie sadzenia i zbioru ziemniaków. Inżynieria Rolnicza. Nr 6(115). Kraków.

Kowalski J., Kwasniewski D., Kubon M. 1997. Wpływ struktury użytkowania ziemi i struktury zasiewów na wyposażenie techniczne gospodarstw. Inżynieria Rolnicza 1(1). Warszawa 1997, ISSN 1429-7264.

Kubon M. 2006. Potencjał magazynowy oraz jego wykorzystanie w gospodarstwach rolnych o wielokierunkowym profilu produkcji. Inżynieria Rolnicza. Nr 12(87). Kraków 2006. ISSN 1429-7264.

Žitňák, M. 2008. Efektívne využívanie dopravných prostriedkov pri zbere zemiakov. In VOZIDLA 2008 : nové trendy v konštrukcii a exploatácie vozidiel. - Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 2008. ISBN 978-80-552-0106-1, s. 175-180.

DLACZEGO NALEŻY UZNAĆ ROLNICTWO JAKO TEMAT WIODĄCY – ZADANIA DLA NAUKI

Janusz Haman

Czl. rzecz. PAN
e-mail: jan.haman@aster.pl

Rolnictwo jest jedyną dziedziną gospodarki powiązaną ze wszystkimi, bez wyjątku, aspektami funkcji społecznych i ekonomicznych kraju. Podobnie jest z *naukami rolniczymi,* co uzasadnimy poniżej.

Oczywiście rozumiemy tu rolnictwo w jego najszerszej definicji, jako cały dział gospodarki, u którego podstaw leży wytwarzanie i przetwarzanie wszelkich surowców o pochodzeniu biologicznym, niezależnie od ich dalszego przeznaczenia jako żywność, surowce przemysłowe, farmaceutyczne, a być może używane też dla wielu innych celów. Tak rozumiana definicja rolnictwa zawiera w sobie również leśnictwo gdyż, jak łatwo uzasadnić, rolnictwo i leśnictwo są pojęciami nierozłącznymi. Zawiera również znaczną, jeśli nie przeważającą część problemów związanych z *ochroną środowiska*.

Podobnie zawiera problemy, ściśle związanej z rolnictwem, struktury społecznej wsi, czego nie należy ich ograniczać do samej wsi, lecz objąć nimi całe otoczenie społeczne tej dziedziny, którą powyżej nazwaliśmy rolnictwem. Okaże się wtedy, iż w przeciwieństwie do przyjmowanych na ogół statystyk, owe struktury społeczne wsi obejmują, być może, niemal połowę populacji kraju.

Jest oczywiste, że problemy rolnictwa mają wymiar gospodarczy, ale także nadrzędny w stosunku do niego i o wiele bardziej istotny wymiar polityczny. Dla tego też powinny one być przedmiotem zainteresowania przede wszystkim, partii politycznych. Piszemy „powinny", bo w rzeczywistości nie są. To o czym się mówi w dyskusjach i programach partyjnych to, także w ostatnim okresie, jak napisał kiedyś prof. Mokrzycki, niemal wyłącznie *„banalne stereotypy"*, elementy krótkowzrocznych, populistycznych przetargów politycznych, l jeśli jakaś partia twierdzi, że posiada skuteczny program dla polskiej wsi i rolnictwa, że ma skuteczny program zwalczania, ściśle uwarunkowanego przez sytuację na wsi, bezrobocia, wreszcie, że ma najskromniejsze choćby koncepcje zagospodarowania przestrzennego Polski, to przekonany jestem, że jest to nieprawda. W tej sytuacji nie można oczekiwać od żadnej partii politycznej prawidłowej diagnozy stanu

rolnictwa i wsi, gdyż prawdziwa diagnoza musi być niepopularna. Nie ma bowiem żadnych możliwości szybkiej naprawy sytuacji. *Tak więc jedynie nauka może zdobyć się tu na obiektywną diagnozę i realny plan perspektywiczny.*

Nie ulega wątpliwości, że mimo niewielkiego udziału w PKB, dominujący wpływ zarówno na całokształt gospodarki jak i na rozwój życia społecznego będzie miało właśnie rolnictwo. Stało się to już oczywiste w momencie dyskusji akcesyjnych z Unią Europejską. W dokumentach akcesyjnych sprawy rolnictwa i związanych z nim: leśnictwa, rybactwa i ochrony środowiska zajmują niemal 50% całego kilkuset stronicowego tekstu (sprawy nauki tylko 2 strony). Podobnie w budżecie UE rolnictwo obejmuje ponad 50% środków i stało się głównym przedmiotem sporów. Trzeba realistycznie pokazać jak rolnictwo winno wyglądać, a nie bazować na takim jak obecnie, niemożliwym do utrzymania stanie. Należy wskazać drogi możliwości dochodzenia do pożądanego stanu rolnictwa i wsi.

Obecnie najbardziej istotnym czynnikiem, ważniejszym niż struktura agrarna, ważniejszym niż poziom technologii i decydującym zarówno o jednym jak i drugim jest przeludnienie wsi. Statystyczny poziom bezrobocia w kraju, określany obecnie na ponad 20% nie obejmuje ogromnej, na ogół ukrywanej i trudnej w rzeczywistości do określenia, lecz na pewno kilkumilionowej rzeszy ludzi zamieszkałych na wsi i w gruncie rzeczy nie mającej tam nic do roboty. Tak więc rzeczywisty całkowity poziom bezrobocia jest o wiele wyższy od statystycznego. Znaczna liczba tych ludzi prawdopodobnie nie znajdzie zatrudnienia nigdzie. Nie mają oni kwalifikacji do pracy w innych dziedzinach gospodarki, a i duża ich część takich kwalifikacji nie jest, mimo istnienia takich możliwości, w stanie zdobyć. System edukacji na wsi i edukacji dla rolnictwa jest niewydolny i brak jest koncepcji jego usprawnienia. Z drugiej strony wegetuje na wsi wiele osób nie mających żadnego nawyku uczenia się i zdobywania nowych kwalifikacji. Nie uda się ich zatrudnić przy pracach finansowanych ze środków społecznych, bo takimi środkami budżet nie dysponuje i przez długie lata dysponować nie będzie. Nie łatwo zresztą dla nich takie prace wymyślić przy istniejących uwarunkowaniach cywilizacyjnych i kulturowych. Nie jest to oczywiście sytuacja charakterystyczna tylko dla ludności wiejskiej, lecz ta nas szczególnie interesuje. Jest ona trudna tym bardziej, że strukturalny wzrost bezrobocia jest problemem ogólnoświatowym, wymuszanym przez technologie zautomatyzowane, które są zarówno tańsze jak i dające lepszy produkt od technologii obsługiwanych przez ludzi. Nawet kraje rozwinięte, o niskim poziomie bezrobocia, stanąć muszą prędzej, czy później przed tym problemem i nikt właściwie nie domyśla się sposobu jego rozwiązania.

Bez rozwiązania kwestii przeludnienia wsi nie ma żadnej szansy na większe zmiany struktury agrarnej, czy też pozytywne zmiany technologii. Nie ma też większych szans na istotną poprawę systemu edukacji ludności wiejskiej.

Trudno oczekiwać od partii politycznych i związków zawodowych wskazania dróg rozwiązania tych problemów. Partie polityczne chcą być za wszelką cenę

popularne, tak jak PiS i Samoobrona, które są najbardziej szkodliwe dla polskiej wsi i rolnictwa. Związki zawodowe są w Polsce, jak i na całym świecie, konserwatywne i roszczeniowe, walczą o zachowanie *status quo* a nie o szansę w dalekiej perspektywie.

Tak więc trzeba w pierwszej kolejności odpowiedzieć na pytanie jaki będzie w przyszłości los tych ludzi żyjących na wsi, którzy nie dają wiele wartościowej produkcji i wobec swego ubóstwa nie tworzą silnego rynku. Może *na takie pytanie odpowiedzieć w Polsce tylko nauka i to nauka niezależna instytucjonalnie od rządu, partii i związków zawodowych.*

Dopiero zmiany sytuacji demograficznej wsi mogą stworzyć przesłanki rozwoju rolnictwa. Trzeba będzie odpowiedzieć na takie pytania jak dla przykładu:

- jakie jest rzeczywiste zapotrzebowanie na tereny uprawne i jak na to zapotrzebowanie wpłynąć mogą zmiany w agrotcchnice i technologii, co zrobić z gruntami nie wykorzystywanymi dla produkcji rolnej, aby je zagospodarować w sposób sensowny, a nie przypadkowo dla zatkania doraźnych dziur w budżetach rolników,
- w jaki sposób tworzyć struktury przemysłowe i urbanistyczne na terenach dziś uważanych za wiejskie i rolnicze,
- jak rozwiązać problem zaopatrzenia w wodę, która jest pierwszym czynnikiem ograniczającym w Polsce fizjologiczną granicę produkcji rolniczej,
- jakie mają być relacje produkcji rolniczej, będącej z natury swojej zaprzeczeniem naturalnych ekosystemów, i ochrony środowiska. Jest to problem najbardziej uwarunkowany poziomem cywilizacji, i oczywiście na wiele innych pytań.

Rozważania roli rolnictwa w zagospodarowaniu przestrzeni i zasobów kraju muszą uwzględnić wiele czynników bardzo trudnych do przewidzenia. Czynników wynikających zarówno z uwarunkowań wewnętrznej polityki gospodarczej kraju, której nawet najbardziej ogólne zarysy nie zostały dotąd, nawet w grubych ramach określone, jak z relacji z rozlicznymi strukturami międzynarodowymi, które przecież nie pozostają w stanie statycznym. Sprawy rolnictwa i wsi wymagają zasadniczej zmiany perspektywy patrzenia całego społeczeństwa i wszystkich jego organów i struktur. Perspektywy nieporównanie dłuższej niż obecne „dojutrkowe", pełne hipokryzji i partykularyzmów patrzenie polskich polityków. Zerwać bowiem trzeba z panującym dziś powszechnie przekonaniem, że rola rolnictwa w gospodarce polskiej maleje. To przekonanie zupełnie fałszywe i oparte na tak błędnych przesłankach jak np. chwilowy udział produkcji rolniczej w GNP.

Nie tak należy patrzeć na rolnictwo. Jest to bowiem sposób życia niemal połowy naszych współobywateli związanych tak czy inaczej z produkcją rolniczą, nawet jeśli nie mieszkają oni na wsi. Prawic połowa wydatków ludności przeznaczana jest na produty wymagające surowców rolniczych - żywność i tak będzie jeszcze przez kilkadziesiąt lat. Jest to również najbardziej skomplikowany sektor każdej gospodarki. Ma on bowiem do czynienia z produktem biologicznym o niezwykłej różnorodności i złożoności w przeciwieństwie do większości innych

dziedzin produkcji i gospodarki, których przedmiotem są nieporównanie prostsze wytwory umysłu i rąk ludzkich.

Prędzej czy później obecna nadprodukcja rolnicza tanie się w skali świata wspomnieniem, o którym będzie się mówić jak o złotym wieku. Rolnictwo staje się bowiem w coraz większym stopniu nie tylko źródłem żywności lecz także najcenniejszych surowców przemysłowych w tak eksponowanych dziedzinach jak medycyna, paliwa, czy chemia i tworzywa sztuczne. Z drugiej zaś strony rolnictwo ma ograniczony potencjał, a w wielu w rozwiniętych krajach zbliża się do fizjologicznej granicy swojej produktywności. To wszystko musi być brane pod uwagę w myśleniu o *polskim rolnictwie* i o *polskiej wsi.*

Nie wiem czy zdolni jesteśmy do takiej zmiany perspektywy. Jeśli jednak ktokolwiek może temu podołać to *polska nauka.* Ale na pewno nie mogą to być same *nauki rolnicze.* I tu wracamy do tezy przedstawionej na początku. Łatwo bowiem można wykazać, że szeroko rozumiane rolnictwo, tak jak je zdefiniowaliśmy na początku tej wypowiedzi, leży w polu działania *wszystkich dziedzin nauki,* a więc i *wszystkich wydziałów PAN.* Nie ma innej dziedziny życia kraju, która by tak jednoczyła wszystkie nauki. Bowiem *nauki rolnicze to tylko nazwa,* w rzeczywistości jest to *sposób stosowania osiągnięć wszystkich nauk do tego co dzieje się na wsi i w produkcji biologicznej.* Łatwo wskazać to na dowolnie wybranym z całego pola nauki, przykładzie.

Trzeba więc koniecznie tu działać całym potencjałem nauki. Dlatego sądzimy, że także Prezydium Polskiej Akademii Nauk powinno rozwój rolnictwa uznać za jeden z głównych przedmiotów działania polskiej nauki.

Przedruk artykułu z czasopisma Inżynieria Rolnicza Nr 11(86)/2006.

TECHNIKA OPRYSKIWANIA UPRAW POLOWYCH I SADOWNICZYCH – WSPÓŁCZESNE PROBLEMY I AKTUALNE KIERUNKI

Ryszard Hołownicki, Grzegorz Doruchowski

Instytut Ogrodnictwa w Skierniewicach
e-mail: Ryszard.Holownicki@insad.pl

1. Wstęp

O postępie technicznym i technologicznym w produkcji roślinnej decydują głównie oczekiwania nabywców maszyn rolniczych. Rolnicy i dynamicznie rozwijające się przedsiębiorstwa usługowe wyznaczają obecnie główne trendy rozwojowe dla większości grup maszyn rolniczych. W mniejszym stopniu dotyczy to techniki ochrony roślin. Jakkolwiek oczekiwania rynku wciąż stymulują rozwój nowych technik opryskiwania, to w ostatnim dwóch dekadach o kierunkach rozwoju opryskiwaczy decydują stale zaostrzające się regulacje prawne. Dotyczy to zarówno konstrukcji i cech użytkowych tych maszyn, jak i utrzymania odpowiedniego stanu technicznego w związku z obowiązkową okresową inspekcją sprzętu do ochrony roślin.

Intensywna produkcja rolnicza jest istotnym zagrożeniem dla czystości wód, gleby i powietrza zwłaszcza podczas stosowania syntetycznych środków ochrony roślin (ś.o.r.). Dzięki dynamicznemu rozwojowi chemii są one coraz doskonalsze i mniej toksyczne dla ludzi, zaś prowadzona przy ich użyciu ochrona jest bezpieczniejsza dla konsumentów i środowiska. Jednocześnie pomimo stałego postępu chemicznej ochrony maleje jej społeczna akceptacja, a rosnące wymagania konsumentów i dalszy wzrost liczby ludności stawiają przed rolnictwem nowe wyzwania. Niewątpliwie do najważniejszych należą kwestie demograficzne, gdyż wbrew powszechnym opiniom, nie można wyżywić naszej populacji świata bez syntetycznych ś.o.r. zwłaszcza, gdy ponad 800 mln ludzi naszego globy cierpi głód, a ceny żywności rosną z powodu wykorzystania biomasy na cele energetyczne. Przewiduje się, że przy obecnie stosowanych technologiach w produkcji rolniczej można wyżywić nie więcej niż 12 mld ludzi, a taki poziom zostanie osiągnięty już w 2060 roku. Wyżywienie stale rosnącej liczby ludności będzie wymagało podwojenia produkcji zbóż zwłaszcza w Ameryce Północnej i Południowej,

Europie Zachodniej i Australii. W związku z tym zakłada się, że 80% wzrostu produkcji żywności zostanie uzyskane drogą intensyfikacji produkcji, a tylko 20% przez zwiększenie powierzchni zasiewów. Najbardziej groźne jest zwiększanie powierzchni gruntów rolnych przez wycinanie lasów, zwłaszcza w Ameryce Południowej.

Przedstawione prognozy wskazują wyraźnie, że wzrost produkcji żywności w świecie musi dokonać się przy intensywnym zużyciu syntetycznych środków ochrony roślin i nawozów. Ważne jednak, aby, opierała się ona w jak największym stopniu na produkcji zrównoważonej, tak aby chronić zdrowie ludzi i środowisko przyrodnicze. Wprawdzie rozwinięte społeczeństwa, a zwłaszcza ośrodki kształtujące politykę rolną i środowiska ekologiczne stają się coraz bardziej wrażliwe na kwestie ochrony środowiska i zasobów naturalnych, to konieczność stosowania ś.o.r. w produkcji rolniczej nie jest kwestionowana. Mimo powszechnego stosowania chemicznej ochrony upraw globalne straty plonów w wyniku oddziaływania agrofagów wciąż wynoszą ponad 40%, a jej zaniechanie powodowałoby straty sięgające nawet 70% [Pruszyński 2003]. Choć ochrona roślin nie jest czynnikiem plonotwórczym, lecz stabilizującym plon to jej rola w utrzymaniu poziomu produkcji żywności jest kluczowa.

Nadmierne oczekiwania wiązano z ekologiczną produkcją roślinną, ale dotychczasowe osiągnięcia w jej wdrażaniu do praktyki rolniczej są niezadowalające zarówno w Polsce jaki i w przodujących rolniczo krajach UE. Pomimo znaczących nakładów na prace badawcze z tego zakresu i dotacji dla producentów nic nie wskazuje na możliwość zdominowania w najbliższych latach konwencjonalnej produkcji roślinnej przez ekologiczną. Należy przy tym pamiętać, że w produkcji ekologicznej również stosuje się środki ochrony roślin. Wiele z nich, jak choćby preparaty miedziowe, to silne trucizny, tyle że pochodzenia naturalnego. W tym samym okresie, z przyczyn pozamerytorycznych (politycznych), ograniczono znacząco nakłady na badania z użyciem konwencjonalnych ś.o.r. Potwierdzeniem jest niewielka liczba projektów z tego zakresu finansowanych z Programów Ramowych UE. Jest to efekt zbyt doktrynalnego podejścia i braku zainteresowania środowisk ekologicznych w poszukiwaniu porozumienia z rolnikami. Z kolei administracja państwowa nie wypełniła swoje funkcji jako mediatora pomiędzy tymi środowiskami. Dotyczy to nie tylko Polski lecz również większości krajów UE, co nie sprzyja wykorzystaniu znacznych potencjalnych możliwości ograniczania zagrożeń dla środowiska wynikających ze zmniejszenia zużycia agrochemikaliów w rolnictwie. Korzyści z tego tytułu są niewspółmiernie większe od tych jakie są efektem całkowitego zaniechania stosowania syntetycznych ś.o.r. na terenach objętych produkcją ekologiczną. Łatwiej i bardziej racjonalnie jest bowiem ograniczyć zużycie środków ochrony w skali kraju o 20% niż wprowadzić produkcję ekologiczną na 20% gruntów ornych.

Znaczne możliwości ograniczania zagrożeń dla środowiska daje racjonalna technika opryskiwania, na którą składają się nowe rozwiązania techniczne i pro-

cedury właściwego postępowania ze ś.o.r. W ostatnim okresie szczególnego znaczenia nabiera opracowanie właściwych zasad postępowania ze ś.o.r. począwszy od zakupu poprzez magazynowanie, przygotowanie cieczy użytkowej, wykonanie zabiegu, zagospodarowaniu resztek cieczy użytkowej i opakowań, a skończywszy na bezpiecznym dla środowiska myciu zewnętrznym i wewnętrznym opryskiwacza oraz postępowaniu z ciekłymi i stałymi pozostałościami.

W niniejszym opracowaniu przedstawiono aktualne kierunki prac badawczych i najnowsze rozwiązania techniczne będące ich efektem, na tle najważniejszych zagrożeń dla środowiska przyrodniczego związanych ze stosowaniem ś.o.r.

2. Zagrożenia dla środowiska podczas opryskiwania roślin

Można z dużym przekonaniem stwierdzić, że w ostatnim 10-leciu postęp w technice opryskiwania determinuje głównie potrzeba ograniczenia zagrożeń dla środowiska związanych ze stosowaniem ś.o.r. Za najważniejsze uważa się skażenia miejscowe występujące w miejscach przedostawania się do środowiska dużej ilości preparatów w jednym miejscu oraz skażenia rozproszone związane ze znoszeniem cieczy użytkowej.

2.1. Skażenia miejscowe największym zagrożeniem dla środowiska

Jeszcze do niedawna uważano, że głównym źródłem zagrożeń dla środowiska w ochronie roślin jest znoszenie rozpylonej cieczy użytkowej poza strefę opryskiwania. Obecnie akcent zagrożeń został przesunięty w stronę tzw. skażeń miejscowych powstających wszędzie tam gdzie, jak nazwa wskazuje, w jednym miejscu następuje kumulacja ś.o.r. w wyniku niezamierzonego rozsypania lub rozlanie skoncentrowanego preparatu lub z powodu wycieku cieczy użytkowej. Zazwyczaj są to te same miejsca, w których przeprowadza się napełnianie i mycie opryskiwaczy lub składuje ś.o.r. i ich opakowania. Ryzyko rozprzestrzenienia się skażeń miejscowych zwiększa sąsiedztwo ujęcia wody, gdyż duże ilości wody sprzyjają przesiąkaniu substancji aktywnej ś.o.r. w głąb profilu glebowego [Doruchowski, Hołownicki 2003].

Środki ochrony roślin oddziałując biologicznie na organizmy szkodliwe i rośliny uprawne nie pozostają obojętne wobec ludzi oraz wszystkich innych gatunków fauny i flory, wchodzących w skład ekosystemu. Gleba oraz wody podziemne i powierzchniowe to środowiska najbardziej narażone na skażenia będące wynikiem chemicznej ochrony roślin. W glebie bytuje wiele organizmów pożytecznych, a wśród nich drapieżniki i pasożyty wielu szkodników roślin oraz mikroorganizmy pełniące ważną rolę w rozkładzie materiału organicznego. Zmniejszenie populacji tych organizmów w wyniku skażenia środowiska nie pozostaje więc bez szkody dla samych roślin uprawnych.

Poniżej powierzchni gleby zalega woda podziemna, będąca ważnym źródłem wody pitnej oraz wody użytkowej dla rolnictwa i przemysłu. W obszarach wiejskich woda podziemna, zasilająca studnie jest często jedynym źródłem wody pitnej. Według raportu World Watch Institute [2001] aż 97% zasobów wody pitnej na świecie zmagazynowane jest w zbiornikach wody podziemnej. W Polsce pobór wody przez gospodarkę komunalną pochodzi w 30% z tych właśnie zbiorników. Zanieczyszczenie wód podziemnych, ma na ogół charakter długotrwały i jest trudne do opanowania, a ich oczyszczenie jest zabiegiem bardzo skomplikowanym, czasochłonnym, kosztownym i często niewykonalnym. Rzeki, jeziora i inne zbiorniki wód powierzchniowych, będące siedliskiem przebogatej flory i fauny stanowią w naszym kraju podstawowe źródło wody pitnej i użytkowej. Ewentualne skażenie tych wód substancjami toksycznymi może naruszyć równowagę ekosystemu i poważnie zagrozić zdrowiu ludzi, szczególnie mieszkańców obszarów wiejskich.

Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dn. 19 listopada 2002 r w sprawie wymagań dotyczących jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. U. z 2002 r. Nr. 203, poz.1718) przewiduje wymagania dla wody pitnej takie same jak w UE, które dopuszczają dla pojedynczego pestycydu stężenie 0,1 $\mu g \cdot l^{-1}$, a dla sumy różnych pestycydów 0,5 $\mu g \cdot l^{-1}$.

Badania nad źródłem zanieczyszczenia wód powierzchniowych przez herbicydy w centralnych Niemczech wykazały, że w 90% pochodziły one z obszarów skażeń miejscowych [Frede i in. 1998], gdy tymczasem zabiegi chemiczne i zmywanie herbicydów z pól przyczyniały się do zanieczyszczenia wody w stopniu dalece mniej nieistotnym. W Anglii 40% środków ochrony roślin wykrytych w rzekach i strumieniach pochodziło ze skażeń miejscowych [Mason 1999], a w Szwecji wskaźnik ten wynosił 20% [Kreuger 1999]. Według Ganzelmeiera [2001] z ogólnej masy ok. 31000 ton s.a. stosowanych rocznie w Niemczech aż 7-22 ton trafia do wód poprzez skażenia miejscowe, tworzące się w obejściach gospodarstw, a więc w miejscach napełniania, mycia i przechowywania opryskiwaczy. W Polsce wody podziemne badane są na obecność środków ochrony roślin wyrywkowo. Według danych przytoczonych przez Wasilewicza i Śliwę [2002] niewłaściwe magazynowanie pestycydów, nieumiejętne sporządzanie cieczy użytkowej, mycie opryskiwaczy w nieodpowiednich warunkach oraz składowanie opakowań i preparatów niepełnowartościowych było powodem 8,3% zarejestrowanych przypadków skażenia wód podziemnych.

Ryzyko powstawania skażeń miejscowych istnieje na każdym etapie posługiwania się środkami ochrony roślin. Jednakże z cytowanych powyżej doniesień i analiz wynika, że decydujący wpływ na powstawanie skażeń miejscowych mają czynności związane ze sporządzaniem cieczy użytkowej i napełnianiem opryskiwacza, wewnętrznym i zewnętrznym myciem opryskiwacza po zabiegu oraz zagospodarowaniem pozostałości cieczy użytkowej, opakowań i środków niepełnowartościowych. W przypadku rażących zaniedbań operatora opryskiwacza do

skażeń miejscowych dochodzić może także podczas przeprowadzania zabiegu w polu. Zagrożenia powstające podczas transportu i magazynowania środków ochrony roślin mają charakter incydentalny. Stwierdzane przypadki skażenia wód środkami ochrony roślin są prawie wyłącznie skutkiem nieprawidłowego postępowania stosujących je ludzi, braku odpowiedniego zaplecza i wyposażenia gospodarstw, niesprawności opryskiwaczy lub nieodpowiedniego ich wyposażenia, i w końcu braku świadomości i wiedzy operatorów opryskiwaczy i osób odpowiedzialnych za prowadzenie ochrony roślin w gospodarstwach [Nilsson 2001].

Ryzyko skażenia wód, można eliminować lub istotnie ograniczać wykorzystując rozwiązania techniczne i organizacyjne. Zagadnieniom tym poświęcony był projekt TOPPS - *Szkolenie operatów opryskiwaczy w celu zapobiegania skażeniom miejscowym* (***T**raining the **O**perators to Prevent **P**ollution from **P**oint **S**ources – LIFE 05ENV/B/000510*), realizowany w ramach europejskiego programu LIFE-Environment. Jednym z owoców projektu jest Kodeks DPOOR (2007) - Dobra Praktyka Organizacji Ochrony Roślin, który ma na celu propagowanie praktyk służących ograniczeniu zanieczyszczenia wód środkami ochrony roślin pochodzącymi ze skażeń miejscowych. Kodeks DPOOR powstał w porozumieniu partnerów projektu i ekspertów zewnętrznych oraz jednostek administracji i organizacji działających w obszarze ochrony roślin w 16 krajach UE. Jest on wyrazem poglądów europejskich ekspertów na dobrą praktykę podczas wszelkich czynności związanych ze stosowaniem środków ochrony roślin w rolnictwie.

Istotną rolę w ograniczaniu ryzyka skażenia środowiska ś.o.r. odgrywa wyposażenie techniczne opryskiwacza. W związku z brakiem miarodajnych kryteriów opracowano model EOS *(Environmentally Optimised Sprayer)* umożliwiający ocenę opryskiwaczy polowych i sadowniczych poprzez parametryczne wartościowanie poszczególnych elementów wyposażenia opryskiwaczy pod kątem ich potencjalnych możliwości w obniżeniu ryzyka skażenia środowiska. Prace nad stworzeniem modelu prowadzone były przez 5 osobowy Zespół Ekspertów z Niemiec, Włoch, Szwecji i Polski w ramach projektu BRIDGE-EOS [Roettele i in. 2011], finansowanego przez Europejskie Stowarzyszenie Ochrony Roślin - ECPA. Rozwiązania techniczne elementów i podzespołów opryskiwaczy zostały skategoryzowane według następujących parametrów: *(i) obszary ryzyka*, podczas mycia wewnętrznego i zewnętrznego, napełniania opryskiwacza, pozostałości i strat cieczy); *(ii) problemy* w ramach każdego z tych obszarów; *(iii) technologie* mające na celu rozwiązanie tych problemów. Poszczególnym parametrom przypisano procentowe wartości określające ich istotność w ograniczeniu ryzyka skażenia środowiska, a szczegółowym rozwiązaniom technicznym przypisano punkty od 0 do 10 opisujące znaczenie tych rozwiązań w ramach zdefiniowanych technologii. Ten sposób wartościowania poszczególnych kategorii pozwolił przy użyciu odpowiedniego algorytmu na obliczenie dla każdego rozwiązania technicznego opryskiwacza wartości liczbowej, wyrażającej potencjał w ograniczeniu zagrożenia dla środowiska. Zsumowanie wartości wszystkich rozwiązań zastosowanych

na opryskiwaczu daje jego ocenę środowiskową. Model EOS może być pomocą dla producentów opryskiwaczy w opracowywaniu nowych konstrukcji oraz dla użytkowników chcących ocenić użytkowany lub oferowany opryskiwacz pod kątem jego bezpieczeństwa dla środowiska. Model, będzie powszechnie udostępniony także po polsku w Internecie w formie interaktywnego oprogramowania.

2.2. Znoszenie jako zjawisko niepożądane w ochronie roślin

Obok źródeł miejscowych istotnym zagrożeniem dla środowiska jest znoszenie cieczy użytkowej, które towarzyszy niemal wszystkim zabiegom opryskiwania roślin, a jego całkowita eliminacja nie jest możliwa. Istnieje wiele definicji tego zjawiska. Najpełniej oddaje je propozycja Hewitta [2000], który za znoszenie uważa fizyczne przemieszczanie się środka ochrony w powietrzu, podczas wykonywania zabiegu lub bezpośrednio po, z opryskiwanego obiektu na obiekt nieopryskiwany lub inaczej jest to część cieczy użytkowej w postaci kropel lub części stałych przenoszona prądami powietrznymi poza opryskiwany obiekt. Znoszona ciecz jest zagrożeniem dla sąsiadujących upraw i otoczenia. Należy więc przedsięwziąć wszystkie możliwe środki, aby znoszenie ograniczyć do niezbędnego minimum przez dobór odpowiedniej techniki opryskiwania, parametrów pracy opryskiwacza i uwzględnienie warunków atmosferycznych podczas zabiegu.

Choć nie są znane w świecie przypadki śmierci lub poważnych chorób wywołanych znoszoną cieczą opryskową, to problem ten powoduje niewspółmiernie duży rezonans społeczny w stosunku do rzeczywistych zagrożeń. „Big fears, little risks" (Duże obawy, małe ryzyko") to tytuł filmu video opracowany przez American Council on Science and Health, którego tytuł dobrze oddaje poziom nastrojów społecznych. Obserwuje się paradoksalną sytuację, gdyż z jednej strony dzięki najnowszym rozwiązaniom technicznym znoszenie cieczy użytkowej maleje, ale jednocześnie problemy z tego zakresu rosną, gdyż obserwuje się zwiększony rezonans społeczny przeciw użyciu wszelkich ś.o.r. w rolnictwie podsycany przez media i środowiska ekologiczne. Wszystko to sprawia, że potrzeba dalszego ograniczenia znoszenia jest jednym z najważniejszych aspektów chemicznej ochrony roślin i dlatego jest on przedmiotem zainteresowania zarówno instytucji rządowych jak i jednym z głównych kierunków prac badawczych nad techniką ochrony roślin.

Szczególnie duże straty wywołane znoszeniem obserwuje się w uprawach sadowniczych. Przekraczają one 90% w okresie bezlistnym i sięgają nawet 80% w fazie pełnego ulistnienia [Hołownicki i in. 2000]. Znoszona ciecz jest także źródłem wtórnego naniesienia na sąsiadujących roślinach. Może więc wpływać na efekt biologiczny zabiegu opryskiwania, choć efekt przedawkowania jest bardzo trudny do uchwycenia w ochronie roślin. Taki wpływ obserwowano jednak podczas stosowania regulatorów wzrostu [Hołownicki 2001].

O ile jeszcze do niedawna znoszoną ciecz użytkową rozpatrywano wyłącznie jako źródło strat w wymiarze ekonomicznym i zagrożenie dla sąsiadujących upraw, to obecnie decydującego znaczenia nabiera jego wymiar ekologiczny, czyli jako zagrożenie dla ludzi i zwierząt oraz wód, gleby i powietrza, jak również dla

fauny pożytecznej. W związku z tym potrzeba ograniczenia znoszenia jest troską wielu krajów, czego dowodem jest realizacja wieloletnich programów rządowych. Mają one na celu z jednej strony zidentyfikowanie skali problemu, a z drugiej wspieranie rozwoju środków technicznych i popularyzację metod bezpiecznego stosowania ś.o.r. W Holandii jest realizowany Multi Year Crop Protection Plan, który ma na celu ograniczenie zużycia środków ochrony roślin i poprawę bezpieczeństwa dla środowiska przyrodniczego. Zakłada on 10 krotne ograniczenie emisji środków ochrony do gleby, wód powierzchniowych i powietrza. Taka poprawa ma być głównie wynikiem doskonalenia techniki opryskiwania. Obecnie w Holandii znaczna część znoszonej cieczy osiada na wodach powierzchniowych. Jest to 5,4% emitowanej dawki przez opryskiwacze polowe i 7,4% przez opryskiwacze sadownicze. Na podstawie badań stwierdzono, że możliwe jest zakładane w planie 10-krotne ograniczenie znoszenia przy użyciu istniejących rozwiązań nawet dla stref ochronnych o szerokości 1,0 m [Van de Zande i in. 2008].

W USA, gdzie zagrożenia dla wód powierzchniowych związane ze znoszeniem są stosunkowo niewielkie, utworzono Narodową Koalicję Ograniczenia Znoszenia (National Coalition On Drift Minimization – NCOSM). W końcowej fazie znajdują się badania nad oceną czynników wpływających na znoszenie cieczy [Hewitt 2000]. Konsorcjum 40 firm chemicznych zwane „Oddział specjalny znoszenia cieczy" (*The Spray Drift Task Force – SDTF*) przeprowadziło setki doświadczeń polowych określających wpływ parametrów, czynników atmosferycznych i innych na wielkość znoszenia dla opryskiwaczy lotniczych, opryskiwaczy polowych, sadowniczych i fumigacji.

2.3. Czynniki wpływające na znoszenie cieczy użytkowej

Znoszenie podczas opryskiwania roślin rozpatruje się jako proces składający się z dwóch faz. Faza pierwsza, zwana znoszeniem potencjalnym (*drift potential*), polega na uwalnianiu drobnych kropel w wyniku działania rozpylacza. Znoszenie jest wówczas uzależnione głównie od jego parametrów technicznych, co oznacza, że pierwsza część procesu znoszenia może być korygowana przez operatora opryskiwacza. W drugiej fazie krople są przenoszone przez wiatr. W tej fazie na proces znoszenia mają wpływ głównie czynniki atmosferyczne (prędkość wiatru, temperatura, wilgotność powietrza), a techniczne tylko dla wybranych upraw (np. osłanianie strefy opryskiwania w ochronie sadów.)

Do najważniejszych czynników wpływających na wielkość znoszenia zalicza się:

a) czynniki techniczne:
- wielkość kropel (ciśnienie cieczy, typ i rozmiar rozpylacza),
- prędkość robocza,
- odległość rozpylaczy od opryskiwanych obiektów (np. gleba, uprawy polowe, drzewa, chwasty)
- prędkość strumienia powietrza (opryskiwacze wentylatorowe),

b) czynniki atmosferyczne:
- prędkość i kierunek wiatru,
- wilgotność i temperatura powietrza
- stabilność atmosferyczna

c) czynniki biologiczne:
- faza rozwojowa roślin, wielkość i gęstość roślin
- osłony naturalne

2.3.1. Znoszenie - czynniki techniczne

Najważniejszym technicznym czynnikiem znoszenia jest niewątpliwie ***wielkość kropel***. Wynika to z mniejszej masy kropel drobnych niż grubych i ich większej podatności na oddziaływanie prądów atmosferycznych. Ponadto mogą one być zawieszone w powietrzu przez dłuższy czas niż krople grube, na które oddziaływanie sił grawitacji jest większe. Dowiedziono, że wiatr o prędkości 0,5÷4,0 $m \cdot s^{-1}$, nie wpływa istotnie na wielkość znoszenia, gdy krople mają średnicę większą niż 150 μm. Oznacza to, że powinno się unikać wykonywania zabiegów przy użyciu mniejszych kropel i wyższych prędkości wiatru.

Wielkość kropel wpływa na odległość ich przemieszczania się. Na duże krople cieczy, na które w większym stopniu działają siły grawitacji niż prądy atmosferyczne. Kropla o średnicy 400μm opada na ziemię z czterokrotnie większą prędkością i jest znoszona na czterokrotnie mniejszą odległość niż kropla o średnicy 200 μm. Najbardziej podatne na znoszenie są drobne krople o średnicy poniżej 75 μm [Miller i in. 1991], które są ponadto bardzo podatne na odparowanie.

Nadmierna ***prędkość robocza*** opryskiwacza jest również przyczyną znoszenia, które rośnie wraz z prędkością agregatu. Powstają wówczas miejscowe zawirowania powietrza, a strumień kropel emitowany przez rozpylacze odchyla się ku tyłowi, co w końcowym efekcie redukuje penetrację łanu roślin podczas opryskiwania upraw polowych lub drzew i krzewów w ochronie upraw sadowniczych. Podniesienie prędkości roboczej z 4,0 do 8,0 $km \cdot h^{-1}$, podczas wiatru 3,0 $m \cdot s^{-1}$, zwiększało znoszenie średnio o 51%. Jednocześnie stwierdzono, że zwiększanie prędkości roboczej skutkuje większym znoszeniem niż zmiana ciśnienia cieczy w zakresie 0,2÷0,4 MPa [Miller i Smith 1997].

Odległość rozpylaczy od opryskiwanych obiektów powinna być precyzyjnie ustalona stosownie do użytych rozpylaczy. Belka polowa nie może być położona zbyt nisko nad glebą lub łanem roślin, gdyż maleje zasięg rozpylacza i rośnie ilość cieczy przypadająca na jednostkę powierzchni. Jednocześnie występują pomiędzy rozpylaczami miejsca o niedostatecznym naniesieniu. Z kolei zbyt wysokie prowadzenie belki zwiększa odległość, którą muszą pokonać krople, a większa odległość to mniejsza prędkość i energia kropel, które stają się w ten sposób bardziej podatne na znoszenie. Nilars [2002] wykazał, że przy słabym wietrze (1,5 $m \cdot s^{-1}$) zmiana wysokości belki polowej z 40 do 80 cm nad uprawą zwiększyła znoszenie kropel grubych aż siedmiokrotnie, a kropel drobnych dwukrotnie. Z kolei w wa-

runkach silniejszego wiatru (4,0 ms^{-1}) wzrost znoszenia był odpowiednio dwukrotny i czterokrotny.

W przypadku upraw sadowniczych znoszenie cieczy znacznie ograniczono zastępując opryskiwacze konwencjonalne o radialnej emisji cieczy opryskiwaczami deflektorowymi lub z ukierunkowanym strumieniem powietrza. W pierwszym przypadku rozpylacze rozmieszczone są na obwodzie wentylatora osiowego, w dużej odległości od wierzchołków opryskiwanych drzew, w drugim zaś są one rozmieszczone wzdłuż pionowo wyprowadzonych sekcji opryskowych, a więc na każdej wysokości znajdują się blisko pędów drzew.

Pomocniczy strumień powietrza podczas opryskiwania upraw przestrzennych jest niezbędny. Liczne badania dowiodły jednak, że nadmierna ***prędkość powietrza*** wytwarzanego przez wentylator w ochronie sadów i chmielników zwiększa znoszenie cieczy. Dotyczy to zwłaszcza wczesnych faz rozwoju roślin, gdy nawet ponad 90% cieczy użytkowej jest przedmuchiwana przez rząd drzew i bezpowrotnie tracona. Należy mieć bowiem na uwadze, że znoszenie w ochronie sadów jest dziesięciokrotnie większe niż podczas opryskiwania upraw polowych [Ganzelmeier i Rautmann 2000].

2.3.2. Znoszenie - czynniki atmosferyczne

Wiatr jest najważniejszym czynnikiem atmosferycznym wpływającym na wielkość znoszenia. Przyjmuje się, że odległość przemieszczania się kropel jest wprost proporcjonalna do prędkości wiatru. Oznacza to, że krople o średnicy powyżej 100 μm przemieszczą się na odległość dwa razy większą, gdy prędkość wiatru zwiększy się dwukrotnie. Wpływ wiatru można ograniczyć przez wybór odpowiedniej pory dnia na przeprowadzanie zabiegów. Najlepsze są godziny nocne i późno popołudniowe. Wybór najbardziej sprzyjających warunków atmosferycznych nie zawsze jest możliwy, ponieważ zbyt długie oczekiwanie na odpowiednią pogodę zagraża terminowemu wykonaniu zabiegów. Wpływ wiatru można ograniczyć przy użyciu technik ograniczających znoszenie (TOZ) (np. rozpylacze inżektorowe, opryskiwacze polowe PSP, opryskiwacze tunelowe).

Wilgotność i temperatura powietrza również odgrywa istotny wpływ na znoszenie. Przy niskiej wilgotności powietrza, następuje bardziej intensywne odparowanie wody, na którą bardziej podatne są drobne krople, gdyż mają one większy stosunek powierzchni do objętości. Wprawdzie parowanie to problem dotykający głownie kraje o suchym i gorącym klimacie, ale występuje także w klimacie umiarkowanym, typowym dla krajów naszego regionu. Przy wilgotności 70% i temperaturze (25°C) kropla o średnicy 100 μm spadając z wysokości 1,5 m traci połowę swojej pierwotnej średnicy [Ozkan 2000].

Na zasięg znoszenia ma wpływ również ***stabilność atmosferyczna*** ze względu na ruchy powietrza. Najczęściej ruch ciepłego powietrza odbywa się ku górze, gdzie ulega ono ochłodzeniu, ponieważ temperatura zmniejsza się w tempie 15°C/300 m i opada ku ziemi. Następuje wówczas mieszanie się mas powietrza,

a zawieszone krople znoszonej cieczy ulegają rozproszeniu w atmosferze. Niekiedy jednak występuje zjawisko inwersji, które zachodzi podczas bezwietrznej pogody. Warstwa ciepłego powietrza zalega wtedy poziomo na pewnej wysokości i uniemożliwia wymieszaniu się mas powietrza. Masy zimniejszego powietrza przemieszczają się wówczas poziomo na odległości nawet wielu kilometrów wraz z kroplami cieczy zawieszonymi w powietrzu stwarzając zagrożenie dla otoczenia.

2.3.3. Znoszenie - czynniki biologiczne

Ilość znoszonej cieczy zależy także od czynników biologicznych, czyli wielkości, gęstości i fazy rozwojowej opryskiwanej rośliny. Dotyczy to zwłaszcza upraw sadowniczych, w których ilość znoszonej cieczy zależy ponadto od struktury przestrzennej koron drzew.

Faza rozwojowa i związane z nią zdolności retencyjne rośliny wpływają w dużym stopniu na ilość znoszonej cieczy opryskowej [Walklate i in. 2000]. Dotyczy to szczególnie sadownictwa i wiąże się z zachowaniem się koron drzew w procesie nanoszenia cieczy, które można traktować jako złożone półprzepuszczalne struktury przypominające filtry [Svensson 2001]. Drzewo nie jest jednakże filtrem idealnym, dlatego podczas zabiegu tylko część cieczy użytkowej zostaje naniesiona na opryskiwanym obiekcie. Dotyczy to zwłaszcza drzewek karłowych o niewielkich i otwartych koronach, których zdolność filtracyjna jest mniejsza od tradycyjnie formowanych drzew.

Znoszenie cieczy znacząco ograniczają ***osłony naturalne***, do których zalicza się żywopłoty, rzędy drzew, a nawet zarośla. Ich zdolność redukcji znoszenia może sięgać nawet 50%. Ze względu na lokalne uwarunkowania osłony naturalne są przedmiotem zainteresowania głównie w Holandii i Wlk. Brytanii. Funkcję osłaniającą obszary wymagające szczególnej ochrony spełnia również roślinność trawiasta. Miller i in. [2000] wykazali dla strefy ochronnej o szerokości 2,0 m, że rośliny o wysokości 0,7 m zmniejszyły znoszenie powietrzne ponad trzykrotnie, a pięciokrotnie dla strefy o szerokości 4,0 m i ośmiokrotnie dla strefy o 6,0 m szerokości.

3. Techniki opryskiwania roślin bardziej przyjazne środowisku

3.1. Rozpylacze

3.1.1. Rozpylacze niskoznoszenowe i inżektorowe

Rozpylacze należą do najważniejszych elementów opryskiwacza, gdyż decydują o dawce ś.o.r., wielkości znoszenia, a także o równomierności pokrycia i naniesienia cieczy użytkowej. Uniwersalne rozpylacze hydrauliczne charaktery-

zują się szerokim spektrum wielkości wytwarzanych kropel, z których te najdrobniejsze, choć dają wysokie pokrycie, to jednocześnie są podatne na znoszenie. W ostatnim 10-leciu na stałe do techniki opryskiwania upraw polowych weszły rozpylacze niskoznoszeniowe i inżektorowe, w których dzięki specjalnej konstrukcji znacząco ograniczono ilość drobnych kropel. Można z dużym przekonaniem stwierdzić, że są one najtańszą przyjazną środowisku techniką opryskiwania. ***Rozpylacze niskoznoszeniowe*** wyposażono w dodatkową kalibrowaną kryzę, która obniża ciśnienie cieczy docierającej do dyszy wylotowej. Dzięki temu zwiększyła się jej trwałość i zmniejszył się udział drobnych kropel. Dławienie przepływu sprawia, że energia kropel jest niższa niż dla rozpylaczy tradycyjnych, toteż dla uzyskania właściwego rozkładu poprzecznego zaleca się niekiedy użycie wyższych ciśnień roboczych.

Dalszą redukcję znoszenia uzyskano przy użyciu ***rozpylaczy inżektorowych***. W procesie formowania kropel wykorzystano w nich efekt Venturiego. Strumień cieczy zasysa zewnętrzne powietrze w stosunku zbliżonym do 1:1, a w specjalnej stożkowej komorze w wyniku mieszania następuje napowietrzenie kropel. Jednocześnie zasysane powietrze mieszając się z cieczą uniemożliwia wytwarzanie drobnych kropel. Powstają wówczas grube krople (VMD = 300÷600 μm), które przyjmują postać pęcherzyków. Początkowo rozpylacze inżektorowe skonstruowano z myślą o ochronie płaskich upraw polowych. Obecnie zaleca się je również do opryskiwania upraw rzędowych, w tym roślin sadowniczych. W związku z wyższymi ciśnieniami roboczymi (0,5÷1,5 MPa) ich elementy składowe odpowiedzialne za wydatek, tzn. dysza i wkładka inżektorowa, są wykonane z materiału ceramicznego, bardzo odpornego na zużycie erozyjne. Z kolei w związku z mniejszym rozstawem rozpylaczy, w gardzielach wylotowych opryskiwaczy sadowniczych, stosuje się również mniejszy kąt rozpylania (80÷90^{o} zamiast 110÷120^{o}).

3.1.2. Rozpylacze krańcowe

O wielkości kropel decyduje rodzaj i wielkość rozpylaczy, jak również ciśnienie i właściwości fizyczne cieczy opryskowej. Obniżenie ciśnienia cieczy w rozpylaczach hydraulicznych zwiększa wielkość kropel. Zasada ta legła u podstaw teoretycznych konstrukcji powszechnie już stosowanych w ochronie roślin rozpylaczy przeciwznoszeniowych. Należą do nich rozpylacze niskoznoszeniowe, wyposażone w dodatkową kalibrowaną dyszę i inżektorowe, w których dzięki napowietrzeniu cieczy wytwarzane krople stają się większe i mniej podatne na znoszenie. W ostatnim okresie coraz częściej spotykane są ***inżektorowe rozpylacze krańcowe*** montowane na końcach belki polowej. Wytwarzają one asymetryczny strumień kropel, który wyraźnie „odcina" powierzchnię opryskiwaną - położoną na krawędzi pola - od nieopryskiwanej. Ma to szczególne znaczenie podczas zabiegów w sąsiedztwie wód powierzchniowych lub upraw wrażliwych, gdyż w odległości 1÷2 m od ostatniego rozpylacza zmniejszają one znoszenie aż

o 50% i o 80% dla opryskiwaczy PSP [Van de Zande i in. 2008] w porównaniu do rozpylaczy symetrycznych. W związku z tym ich użycie jest już obowiązkowe w Holandii podczas wykonywania opryskiwania pól w sąsiedztwie wód powierzchniowych.

3.2. Technika PSP (Pomocniczy Strumień Powietrza)

Koncentracja produkcji rolniczej i rozwój firm usługowych wykonujących zabiegi ochrony roślin wywołał potrzebę budowy gigantycznych opryskiwaczy charakteryzujących się bardzo dużą wydajnością (20÷25 $ha \cdot h^{-1}$). Wiązało się to z koniecznością konstruowania coraz dłuższych belek polowych. Wielu producentów oferuje belki polowe o długości 45 m (Bentsen, 2000), a największe z nich osiągają nawet 60 m. Zwiększająca się długość belek polowych nieuchronnie wiąże się z odejściem od techniki PSP *(Pomocniczy Strumień Powietrza)*, uważanej za najlepszą ze znanych dotąd technik ochrony upraw polowych. Przyczyną jest brak możliwości rozprowadzenia powietrza wzdłuż belki o długości powyżej 36 m. Liczne badania wskazują, że żadna ze znanych dotąd metod opryskiwania upraw polowych nie dorównuje opryskiwaczom wykorzystującym ***pomocniczy strumień powietrza*** (PSP), zarówno pod kątem skuteczności biologicznej jak i wielkości strat związanych ze znoszeniem (fot. 1). Technika PSP wykazuje 2÷3 krotną redukcję znoszenia w porównaniu z opryskiwaczami konwencjonalnymi. Jednocześnie zabieg wykonywany podczas wiatru o prędkości 8,5 $m \cdot s^{-1}$ przy użyciu pomocniczego strumienia powietrza charakteryzował się tym samym poziomem znoszenia, co technika tradycyjna przy wietrze 1,5 $m \cdot s^{-1}$ (Taylor & Andersen, 1997). Uzasadnia to potrzebę dopuszczenia wyższej granicznej prędkości wiatru dla opryskiwaczy PSP niż tej obowiązującej w zapisach ustawowych (3,0 $m \cdot s^{-1}$). Kolejnymi zaletami jest możliwość bezpiecznego użycia najcenniejszych w ochronie roślin drobnych i średnich kropli. Lepsza penetracja łanu roślin gwarantuje bardziej równomierne rozłożenie ś.o.r. i w efekcie wyższą skuteczność zabiegu. Pomimo niekwestionowanych zalet w ograniczaniu strat i emisji ś.o.r. do środowiska jak i wyższej skuteczności biologicznej technika PSP nie zdołała zdominować ochrony upraw polowych. Ograniczeniem jest wyższa cena oraz większe wymagania eksploatacyjne (kwalifikacje operatora, moc ciągnika, koszty napraw i serwisu) w porównaniu z tradycyjnymi maszynami.

3.3. Otwieracze łanu i osłony belek polowych

Sposobem na ograniczenie znoszenia i jednocześnie poprawę penetracji upraw polowych jest zastosowanie mechanicznych otwieraczy łanu, podwieszonych pod belką polową. Przykładem może być opracowane w Szwecji urządzenie ***Släpduk***, które umożliwia prowadzenie rozpylaczy na wysokości wierzchołków opryskiwanych roślin (fot. 2).

Fot. 1. Opryskiwacz polowy z pomocniczym strumieniem powietrza (Dammann)

Fot. 2. Opryskiwacz polowy z otwieraczem łanu Släpduk (Szwecja)

Prostokątne elementy urządzenia podwieszone wahliwie przed rozpylaczami podczas opryskiwania ślizgają się po wierzchołkach roślin i odchylając delikatnie łan ułatwiają jego penetrację przy minimalnych stratach cieczy. Wynikiem zastosowania tej techniki jest poprawa równomierności naniesienia cieczy w uprawie oraz zmniejszenie znoszenia o 80% [Enfält i in. 2000]. Podobną rolę spełnia układ dwóch równoległych kurtyn umieszczonych przed i za linią rozpylaczy zastosowany w rozwiązaniu ***Flexi-Coil*** (Kanada). Utworzona w ten sposób komora osłania rozpylacze i znacząco redukuje efekt znoszenia.

3.4. Techniki recyrkulacyjne w ochronie sadów

Jeszcze do niedawna główne prace badawcze i rozwojowe nad techniką opryskiwania sadów i jagodników były ukierunkowane na poprawę biologicznej skuteczności zabiegów i ograniczenie kosztów ochrony przez wyższą precyzję nanoszenia ś.o.r. Obecnie w większym stopniu dotyczą one problemów związanych z potrzebą ochrony środowiska naturalnego i bezpieczeństwem wykonawców zabiegów.

Postępująca modernizacją sadów zmierza do zastępowania przestrzennie rozbudowanych drzew w sadach tradycyjnych drzewami karłowymi o niewielkiej zdolności do zatrzymywania kropel cieczy. Straty ś.o.r. w takich sadach podczas użycia tradycyjnych opryskiwaczy wentylatorowych sięgają od 60÷80% w fazie pełnego rozwoju liści do ponad 90% w okresie kwitnienia. W celu ograniczenia tych strat poszukuje się możliwości odzyskiwania i powtórnego wykorzystania części traconej dotąd cieczy użytkowej przy użyciu opryskiwaczy recyrkulacyjnych. Należą do nich opryskiwacze: tunelowe, reflektorowe i kolektorowe.

Ochrona sadów przy użyciu ***opryskiwaczy tunelowych*** (fot. 3, 4), choć nie eliminuje całkowicie znoszenia cieczy, to ogranicza zanieczyszczenie środowiska przyrodniczego w stopniu większym niż inne znane dotąd techniki opryskiwania upraw przestrzennych. Badania wykazały, że osłonięcie strefy opryskiwania ogranicza znoszenie aż o 80-90% w porównaniu z opryskiwaczami tradycyjnymi [Hołownicki i in. 1997]. Dzięki temu wpisane są do oficjalnego rejestru technik ograniczających znoszenie o 90÷95%, co w krajach ze zmiennymi strefami ochronnymi upoważnia sadowników stosujących tę technikę do radykalnego zmniejszania szerokości tych stref. Podczas kwitnienia ilość odzyskiwanej cieczy użytkowej wynosi 36÷43% i jest ona dwukrotnie wyższa w fazie pełnego ulistnienia. Wskazuje to na bardzo korzystną cechę opryskiwaczy tunelowych, jaką jest samoczynne dostosowanie dawki cieczy do gęstości drzew. Dla stałej dawki, ilość cieczy zatrzymywanej przez drzewo zwiększa się wraz ze wzrostem ich gęstości. Oznacza to w praktyce, że parametry pracy opryskiwacza tunelowego (liczba i wielkość rozpylaczy, ciśnienie, prędkość robocza) mogą być stałe w całym sezonie zabiegów lub wymagają niewielkiej tylko korekty.

Fot. 3. Sadowniczy opryskiwacz tunelowy (KFMR Krukowiak - licencja ISK Skierniewice)

Fot. 4. Opryskiwacz tunelowy do krzewów jagodowych (projekt celowy, KFMR Krukowiak – ISK Skierniewice)

W ***technice kolektorowej*** wykorzystuje się tradycyjny opryskiwacz z poziomo skierowanym strumieniem powietrza wyposażony w dwa pionowe kolektory umiejscowione po zawietrznej stronie drzew w świetle działania strumienia powietrza. Układ sterowanych hydraulicznie wysięgników utrzymuje kolektory w pionowym położeniu i ułatwia ich składanie na uwrociach oraz podczas transportu. Kolektory zbudowane są z poziomo ułożonych zachodzących na siebie lameli tworzących separator przepuszczający powietrze, a zatrzymujący krople cieczy. Podczas opryskiwania ciecz przedmuchana przez koronę drzewa zatrzymuje się na kolektorze. Następnie odzyskana ciecz (15÷20%) jest filtrowana i przepompowywana do zbiornika. Zaletą opryskiwaczy kolektorowych jest możliwość opryskiwania dwóch rzędów jednocześnie, a wadą przestrzennie rozbudowana konstrukcja. Osiąga ona nawet ponad 6 m szerokości, co utrudnia manewrowanie i wymaga wyrównanej powierzchni w sadzie.

Opryskiwacz reflektorowy jest zbliżony budową do kolektorowych, w którym zamiast separatorów kropel zamontowane są specjalnie uformowane ekrany zwane reflektorami (fot. 5). Odbijają one strumień cieczy i powietrza wytwarzany przez wentylator poprzeczny i kieruje go z powrotem na przeciwną stronę rzędu drzew. Część kropel, zwłaszcza grubszych, osiada na ścianie reflektora i jest zbierana przez układ recyrkulacji, a następnie kierowana przez filtr do zbiornika opryskiwacza. Ilość odzyskiwanej cieczy nie przekracza 5-10%. W połączeniu z rozpylaczami inżektorowymi opryskiwacze reflektorowe ograniczają znoszenie nawet o 95% [Wenneker, Zande 2008].

Fot. 5. Opryskiwacz reflektorowy (Wanner)

Pomimo niekwestionowanych zalet opryskiwacze recyrkulacyjne (tunelowe, kolektorowe, reflektorowe) są wciąż niedostatecznie wykorzystanym pomysłem. Przyczyną jest wyższy koszt zakupu i przestrzennie rozbudowana konstrukcja, która utrudnia manewrowanie podczas zabiegów w sadzie [Doruchowski, Hołownicki 2000].

3.5. Techniki sensorowe

3.5.1. Opryskiwacze sensorowe do ochrony upraw polowych

Rozwój układów detekcji pracujących w czasie rzeczywistym sięga końca lat 60-tych, ale dopiero zastosowanie czujników optycznych, pracujących w widmie światła widzialnego lub podczerwonego dokonało znaczącego postępu w tej dziedzinie. Poszukuje się nowych rodzajów sensorów. Wśród nich największe nadzieje wiąże się z analizą spektralną łanu roślin, ponieważ roślina jest najlepszym sensorem swojego otoczenia.

Mapa zmiennego dawkowania fungicydu musi jednak obejmować znacznie większą powierzchnię, ponieważ sąsiadujący obszar może być już zainfekowany. West i McCartney [2002] określali zasięg infekcji w sąsiedztwie ognisk choroby, które nie zostały wykryte przy użyciu zamontowanej na ciągniku aparatury OPTIDIS *(OPTIcal detection system for DISeases in field crops)*. Stwierdzili oni w pszenicy ozimej, że septorioza liści rozprzestrzenia się nie więcej niż 1,0 m od ogniska choroby, a żółta rdza kilkakrotnie dalej. Gdy liczba ognisk choroby jest duża to zaleca się równomierne opryskanie całego pola.

Opisane przykłady wskazują jak niezwykle złożone są problemy związane z miejscowym stosowaniem ś.o.r., a prawidłowe wykonanie zabiegu wymaga wszechstronnej wiedzy zarówno o charakterze technicznym jak i biologicznym. Dużego doświadczenia wymaga prognozowanie pojawienia się organizmów szkodliwych w oparciu o warunki środowiskowe sprzyjające ich rozwojowi. Topografia terenu, rodzaj i wilgotność gleby, ekspozycja w stosunku do słońca i faza rozwojowa roślin kształtują miejscowy mikroklimat, który może sprzyjać rozwojowi określonych agrofagów. Prognozowanie ich występowania ułatwiają także dane z ostatnich kilku lat, jak również dane mikroklimatyczne.

Komercyjnie dostępny jest układ „WeedSeeker" (Trimble) skonstruowano go z myślą o punktowym zwalczaniu chwastów na lotniskach, torowiskach i terenach komunalnych. Jest on wyposażony w spektralny układ identyfikacji, który emituje dwie monochromatyczne wiązki światła o długości 670 nm, które jest silnie pochłaniane przez chlorofil i światło intensywnie odbijane przez chlorofil o długości 750 nm. Układ optyczny odbiera odbite od obiektów wiązki światła, a system spektralny analizuje stosunek ich intensywności. Dla roślin zawierających chlorofil stosunek ten wynosi od 6 do 15, podczas gdy dla innych obiektów najczęściej nie przekracza 2. Największe oszczędności (24%) uzyskano podczas selektywnego zwalczania chwastów, gdy stopień zachwaszczenia nie przekracza

6% [Doruchowski i in. 1998]. Przy większym zachwaszczeniu oszczędności drastycznie maleją z powodu zbyt szerokiego pola widzenia optycznych układów identyfikacji.

Bardzo przydatnym narzędziem do odróżniania chwastów od rośliny uprawnej jest analiza światła odbitego w spektrum widzialnym i bliskim podczerwonego. Wymaga jednak użycia bardzo zaawansowanych technicznie kamer CMOS i metod analitycznych jak również wyselekcjonowania odpowiednich długości fal typowych dla rośliny uprawnej i zwalczanych chwastów [Ramon i in. 2002].

Obok identyfikacji chwastów i zmian cech morfologicznych roślin poszukuje się również metod regulacji parametrów roboczych opryskiwaczy w zależności od warunków wykonania zabiegów, w tym także położenia belki polowej. Szewczyk [2011] proponuje wyposażenie opryskiwaczy polowych w układ automatycznej regulacji ustawienia płaszczyzny rozpylania belki polowej w zależności od prędkości wiatru. Za takim przekonaniem przemawiają wykonane badania, które wykazały, że kształt rozpylonej strugi kropel jest deformowany przez oddziaływanie czołowego wiatru atmosferycznego i względnego związanego z ruchem opryskiwacza. Rozpylona struga jest wówczas odchylana zgodnie z kierunkiem wiatru, co redukuje penetrację łanu roślin przez ciecz użytkową i zmniejsza pokrycie pionowych organów roślin położonych od strony zawietrznej. Zmiana kąta rozpylania w kierunku przeciwnym, w oparciu o pomiar prędkości wiatru, skutecznie przeciwdziała temu niekorzystnemu zjawisku.

3.5.2. Opryskiwacze sensorowe do ochrony upraw sadowniczych

Nanoszenie preparatów wyłącznie na organy roślin w ilości dostosowanej do ich cech morfologicznych jest istotą realizacji koncepcji Rolnictwa Precyzyjnego w ochronie roślin, która neguje dotychczasowe podejście polegające na jednolitym traktowaniu całego pola. Takie działanie jest możliwe dzięki szerokiej gamie układów identyfikacji, określających wybrane cechy roślin w celu określenia dawki ś.o.r. odpowiednio do wielkości, pokroju i gęstości rośliny oraz precyzyjnych układów emisji cieczy. Wśród znanych technik identyfikacji najczęściej stosowane są obecnie metody ultradźwiękowe i optyczne. Czujniki ultradźwiękowe (fot. 6) emitują i rejestrują odbicie fal akustycznych w przedziale od 40 do 300 kHz. Na podstawie czasu między emisją i odbiorem echa, czyli sygnału odbitej fali, można określić odległość obiektu od czujnika, a uwzględniając rozstawę drzew można obliczyć szerokość obiektu [Gil i in. 2007]. Bardziej zaawansowane algorytmy analizujące także czas trwania i natężenie echa pozwalają z pewnym przybliżeniem określić także strukturę obiektu, w przypadku drzewa może to być gęstość ulistnienia korony [Doruchowski i in. 2009]. Choć ceny czujników ultradźwiękowych nie są wysokie, to ich wadą jest zbyt szeroka wiązka emitowanego sygnału, co uniemożliwia wykrywanie niewielkich przerw w ulistnieniu szpaleru drzew. Ponadto w przypadku użycia kilku czujników jednocześnie szeroka wiązka sygnałów powoduje wzajemne zakłócania.

Spośród czujników optycznych w ochronie roślin znajdują zastosowanie fotokomórki, czujniki spektralne i laserowe [Doruchowski 2005]. Fotokomórki wykorzystywane są jedynie do wykrywania obecności obiektów i nie mają możliwości określania ich właściwości. Bardziej selektywnie działają czujniki spektralne „WeedSeeker" wykorzystywane do zwalczania chwastów (patrz: rodz. 3.5.1). Pozwala to na rozróżnianie obiektów i wykrywanie np. elementów zielonych na tle gleby lub nieba [Doruchowski i in. 1998]. Zastosowanie własnego źródła skupionej wiązki światła i układu optycznego (obiektywu) do rejestracji wiązki odbitej pozwala na selektywne wykrywanie nawet niewielkich kilkumilimetrowych obiektów.

Najbardziej precyzyjnym ze znanych dotąd układów optycznej identyfikacji jest LIDAR (*Light Detection and Ranging*) (fot. 6), będący rodzajem laserowego radaru [Walklate i in. 2002]. Wiązka laserowa kierowana za pomocą wirującego zwierciadła skanuje drzewa. Rejestracja odbitej wiązki pozwala na bardzo szczegółowe odwzorowanie kształtu drzew z wszystkimi ich detalami, takimi jak poszczególne liście. Tak szczegółowe odwzorowanie wiąże się z bardzo dużą ilością danych, co wymaga długiego czasu do obróbki. Dzięki wprowadzeniu uproszczeń w algorytmie analizy wyników i przy obecnych mocach obliczeniowych komputerów możliwa jest identyfikację obiektów w czasie rzeczywistym. Czujniki LIDAR są również bardzo przydatnym narzędziem służącym do pomiarów geometrii i morfologii drzew w rożnych fazach wzrostu i tworzenia wzorców w badaniach nad optymalizacją dawek cieczy i ś.o.r. [Cross i in. 2004].

W początkowej fazie znajdują cię prace nad wizyjną identyfikacją obiektów z wykorzystaniem kamery RGB i analizy uzyskanego z niej obrazu [Rovira-Mas i in. 2005; Kise i in. 2005]. Kamera zainstalowana na ciągniku zatrzymuje obraz mijanych podczas przejazdu drzew w odstępach umożliwiających częściowe nakładanie się kolejnych klatek i łączenie ich w ciągły obraz. Komputer analizuje obraz w czasie rzeczywistym określając wielkość drzew oraz ich procentowy udział w bocznym rzucie (projekcji) będącym przybliżonym miernikiem gęstości koron drzew. Na podstawie takich pomiarów można różnicować dawkę cieczy emitowanej przez rozpylacze odpowiednio do rzeczywistych, miejscowych potrzeb wynikających ze zmiennej wielkości i gęstości roślin.

Osobnym zagadnieniem jest identyfikacja stanu zdrowotności roślin [Shut 2003]. Rozwiązania takie są na razie przedmiotem badań laboratoryjnych. Przykładem jest czujnik spektralny, który analizuje światło odbite od roślin. Zainfekowana lub osłabiona działaniem szkodników tkanka liści w wyniku stresu wywołanego zahamowaniem fotosyntezy i produkcji chlorofilu, zmienia odcień zieleni w stopniu zauważalnym dla czujników. Analiza spektralna pozwala na określenie rodzaju infekcji w czasie rzeczywistym [Zande i in. 2007]. Udało się opracować metodę wykrywania parcha jabłoni na jabłoniach już 4 godziny po infekcji, a więc 10÷12 dni wcześniej niż zauważalne gołym okiem symptomy choroby. Użycie czujników spektralnych działających na opryskiwaczu w czasie

rzeczywistym pozwoli na włączanie rozpylaczy i nanoszenie fungicydów tylko w tych miejscach koron drzew gdzie jest rzeczywista potrzeba zwalczania zaistniałej choroby.

Fot. 6. Czujniki ultradźwiękowe i czujnik laserowy LIDAR (po środku)

Czujniki układów identyfikacji podczas ruchu opryskiwacza skanują rzędy drzew monitorując odbicie fali świetlnej lub dźwiękowej. Zgodnie z otrzymywanymi z czujników sygnałami rozpylacze lub sekcje rozpylaczy umieszczone na odpowiadających czujnikom wysokościach włączają się lub wyłączają w zależności czy przed rozpylaczami znajdują się organy rośliny lub wolna przestrzeń pomiędzy drzewami. Bardziej zaawansowane algorytmy analizujące sygnał niektórych czujników ultradźwiękowych umożliwiają nie tylko detekcję drzew lecz także określenie ich charakterystyki, tzn. szerokości i gęstości koron na różnych wysokościach. Pozwala to na różnicowanie ilości cieczy emitowanej przez rozpylacze na poszczególnych poziomach koron drzew. Regulacja ta przeprowadzana jest najczęściej za pomocą liczby włączanych rozpylaczy.

Opryskiwacze sensorowe budzą zainteresowanie ze względu na duże możliwości ograniczenia dawek cieczy i środków ochrony roślin oraz zmniejszenia znoszenia cieczy. Oszczędności są tym większe im więcej jest wolnych przestrzeni w rzucie drzew na pionową płaszczyznę i mogą wynosić od 24-26% w sadach karłowych [Doruchowski i in. 1998] do 45÷60% w 3-letnim sadzie czereśniowym [Koch i Wieisser 2000]. Redukcja emisji środków chemicznych do środowiska może być mniejsza o nawet o 25-50% [Ganzelmeier, Rautmann 2000].

Znacznie większe oszczędności przynosi identyfikacja gęstości drzew przy użyciu czujników ultradźwiękowe nowej generacji [Balsari i in. 2009]. W intensywnych sadach, w początkowej fazie rozwoju drzew oszczędności mogą przekraczać nawet 80 %, lecz średnio dla całego sezonu wynoszą zwykle ok. 50%. Dla wyższych drzew i bardziej zwartych rzędów oszczędności nie przekraczają 20%. Ze względu na bardzo ograniczoną emisję cieczy w przestrzeń między drzewami znoszenie cieczy zmniejsza się nawet o 50%.

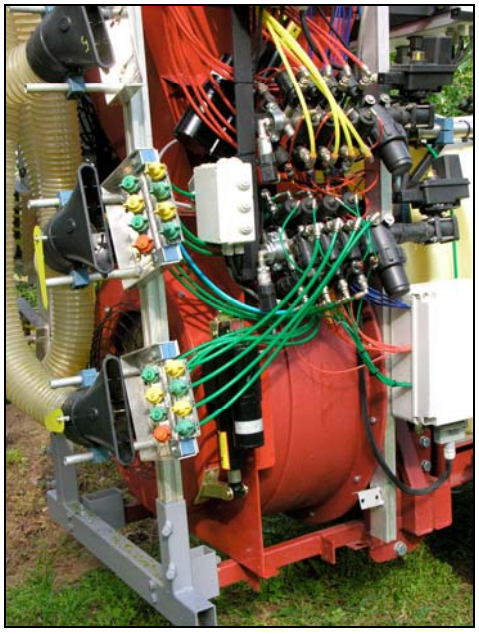
Koncepcja Rolnictwa Precyzyjnego uwzględnia również okresową zmienność warunków atmosferycznych. Szczególnie zaś prędkości i kierunku wiatru, które są znanym utrudnieniem podczas opryskiwania sadów. W związku z tym podejmowano próby w ISK opracowania samoregulującego się opryskiwacza VSPG *(Variable Spray Plume Geometry)* o zmiennej geometrii strumienia powietrza w zależności od prędkości wiatru atmosferycznego i wiatru względnego powstającego podczas ruchu opryskiwacza Przewiduje się, że dzięki utrzymaniu optymalnego efektu filtracyjnego korony drzewa będzie można zredukować straty ś.o.r. o około 50% [Holownicki i in. 2004a].

W ISK opracowano układ VarioWindSelect (fot. 7) automatycznej zamiany rozpylaczy (tradycyjne/inżektorowe) w zależności od chwilowej prędkości wiatru mierzonej podczas ruchu opryskiwacza [Hołownicki i in. 2004b]. Gdy prędkość wiatru przekracza ustaloną wartość graniczną, to na sygnał ze sterownika mikroprocesorowego następuje odcięcie dopływu cieczy do rozpylaczy tradycyjnych. Jednocześnie ciecz jest kierowana do rozpylaczy inżektorowych wytwarzających grube krople, które podczas wietrznej pogody są mniej podatne na znoszenie. Podobną co do zasady metodę regulacji dawki cieczy i wielkości kropel, ale przy użyciu głowic sterownych elektro-pneumatycznie zastosowano w opryskiwaczu sadowniczym CASA (fot. 8) [Doruchowski i in. 2009].

Dalszym rozwinięciem koncepcji samoczynnej regulacji parametrów roboczych był opryskiwacz EDAS *(Environmentally Dependent Application System)* (Fot. 9) opracowany w projekcie ISAFRUIT (VI Program Ramowy), który wyposażono dodatkowo w unikalny układ asymetrycznej regulacji wydajności strumienia powietrza [Doruchowski i in. 2009]. Jest to pierwsze takie rozwiązanie w świecie, które umożliwia nie tylko regulację ilości zasysanego powietrza na wlocie wentylatora za pomocą regulowanej diafragmy, ale również jego skierowanie na prawą lub lewą stronę opryskiwacza przy pomocy elektrycznie sterowanej przesłony. Dzięki takiemu rozwiązaniu możliwe jest niwelowanie niekorzystnego wpływu bocznego wiatru, który jest powszechnie znanym utrudnieniem w skutecznej ochronie sadów. Asymetryczna regulacja strumienia powietrza umożliwi skierowanie większej objętości powietrza przeciwnie do wiatru i odwrotnie mniejszej objętości zgodnie z wiejącym wiatrem. Koncepcja EDAS może być również wykorzystana w opryskiwaczach nawigowanych w realizacji z góry zaprogramowanego scenariusza wykonywania zabiegu w sąsiedztwie obszarów wrażliwych (patrz: rozdz. 3.5.3.).

Fot. 7. Układ VarioWindSelect automatycznej zamiany rozpylaczy w zależności od prędkości wiatru (koncepcja ISK Skierniewice)

Fot. 8. Opryskiwacz CASA z czujnikami ultradźwiękowymi w przedniej części opryskiwacza do identyfikacji wielkości i gęstości drzew – koncepcja ISK Skierniewice (projekt ISAFRUIT - VI Program Ramowy UE)

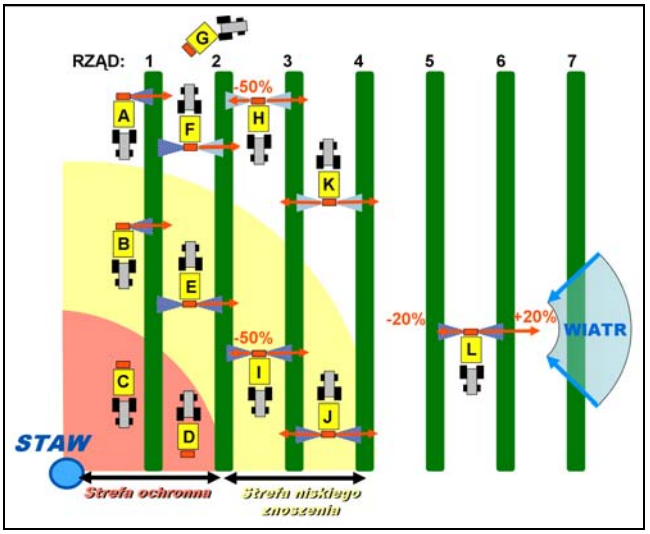


Fot. 9. Wentylator EDAS z asymetryczną regulacją wydajności strumienia powietrza - koncepcja ISK Skierniewice (projekt ISAFRUIT)

Choć skala praktycznego zastosowania opisanych elementów rolnictwa precyzyjnego w technice ochrony sadów jest jeszcze niewielka, to w miarę zmniejszania się kosztów zaawansowanych systemów informatycznych, rosnącego poziomu wykształcenia producentów owoców i zaostrzających się wymagań co do bezpieczeństwa produktów i ochrony środowiska, praktyka ta będzie musiała być wdrażana w coraz większym tempie.

3.5.3. Opryskiwacze nawigowane

Nawigacja satelitarna jest jak na razie wykorzystywana w sadownictwie w niewielkim zakresie. Istnieją jednak przesłanki do jej upowszechnienia w dostosowaniu parametrów pracy opryskiwacza w zależności od jego położenia w sadzie. Przykładem jest realizacja niskoznoszeniowych scenariuszy zabiegów, polegających na stosowaniu rozpylaczy grubokroplistych na brzegowych rzędach sadu oraz w bezpośrednim sąsiedztwie stref ochronnych [Doruchowski i in. 2009]. Podczas opryskiwania położenie opryskiwacza określane jest za pomocą systemu DGPS (*Differential GPS*). Śledzi on tor jazdy na mapie, na której naniesione są także obszary wrażliwe i zaznaczone strefy ochronne oraz dodatkowo strefy obniżonego znoszenia. Położenie opryskiwacza jest wyznaczane z dokładnością od 0,5÷1,0 m dla systemów jednokanałowych do 0,1÷0,15 m dla dwukanałowych i układów wykorzystujących naziemne stacje referencyjne. Kiedy opryskiwacz znajdzie się w strefie obniżonego znoszenia następuje automatyczna zmiana rozpylaczy drobnokroplistych na grubokropliste, a w strefie ochronnej rozpylacze są wyłączane (fot. 10).



Fot. 10. Niskoznoszeniowy scenariusz zabiegu opryskiwania realizowany przez system EDAS - koncepcja ISK Skierniewice

Dysponując dodatkowo możliwością regulacji wydatku strumienia powietrza indywidualnie dla każdej strony opryskiwacza można na wymienionych wyżej obszarach zmieniać także parametry strumienia powietrza. Zamykając lub istotnie redukując strumień powietrza działający w kierunku obszarów wrażliwych i jednocześnie zmieniając rozpylacze na grubokropliste można ograniczyć znoszenie o ponad 80% w porównaniu z tradycyjną techniką opryskiwania. Monitorując na bieżąco położenie opryskiwacza wszystkie zmiany parametrów jego pracy można przeprowadzać automatycznie i precyzyjnie w odniesieniu do mapy pola.

4. Innowacyjne podzespoły

4.1. Technika VRA (Variable Rate Application)

Większość prac badawczych dotyczących zastosowania koncepcji Rolnictwa Precyzyjnego w ochronie roślin jest ukierunkowana na doskonalenie układów identyfikacji. Można z dużym przekonaniem stwierdzić, że są one dużo bardziej zaawansowane w rozwoju niż układy emisji cieczy, które wciąż nie dysponują technicznymi możliwościami miejscowego zróżnicowania dawki ś.o.r. stosownie do lokalnych wymagań. Do realizacji procesu zmiennego dawkowania potrzebny jest rozwój technik VRA *(Variable Rate Application)* stosowania zróżnicowanych dawek cieczy, gdyż tradycyjne rozpylacze hydrauliczne znane z zastosowań rolniczych trudno nazwać precyzyjnymi, ponieważ emitują strumień cieczy o szerokości roboczej ponad 0,5 m, [Stafford 2000]. Ponadto zakres regulacji dawki cieczy poprzez zmianę ciśnienia (+/- 50%) jest niewystarczający, a czas reakcji zbyt długi. Jednocześnie zmiana ciśnienia wpływa na wielkość wytwarzanych kropel i w końcowym efekcie na znoszenie i skuteczność zabiegów.

Duże nadzieje wiązano z układami iniekcyjnymi (patrz: rozdz. 4.2), w których płynny preparat wtryskuje się do komory zlokalizowanej w najbliższym sąsiedztwie belki polowej. Okazało się jednak, że opóźnienie w transporcie założonej dawki ś.o.r. sięgało ponad 20 sek, co w konsekwencji wywoływało aż 40% błąd w realizacji założonej dawki preparatu.

Przełomu w poszerzeniu zakresu regulacji dawki cieczy dokonała 4-rozpylaczowa głowica VarioSelect firmy Lechler (RFN) sterowana pneumatycznie. Poprzez kombinację liczby pracujących rozpylaczy i ciśnienia cieczy można uzyskać bardzo szeroki zakres regulacji dawki cieczy (50÷1000 $l \cdot ha^{-1}$. Użycie jednak kilku jednocześnie pracujących rozpylaczy, choć okazało się skutecznym sposobem na szybkie i precyzyjne zróżnicowanie dawki ś.o.r. wiąże się również z pewnymi ograniczeniami. Dotyczą one potrzeby użycia skomplikowanych szybkodziałających układów wykonawczych i zwielokrotnionej liczby rozpylaczy.

Wymaga to więcej wolnej przestrzeni, której brak odczuwa się szczególnie w opryskiwaczach sadowniczych.

W celu wyeliminowania tych ograniczeń podjęto prace nad głowicami pulsacyjnymi PMW *(Pulse Width Modulation)* wyposażonymi w rozpylacze tradycyjne. Przy otwarciu zaworu trwającym 1/10 całkowitego czasu pracy, osiągano zadawalającą precyzję dozowania i niewielkie zmiany w średnicy i rozkładzie kropel [Giles 1997]. Firma SprayTarget opracowała głowicę o zmiennym polu przepływu cieczy Varitarget (US Patent Nr 5134961). Jego konstrukcja opiera się na współpracy dwóch dysz, z których pierwsza zmienia wielkość otworu, a druga jest konwencjonalnym rozpylaczem ciśnieniowym. Przeprowadzone badania wykazały, że zakres osiąganych wydatków ciśnienia wynosił nawet jak 1:12, podczas gdy dla tradycyjnych rozpylaczy hydraulicznych osiągał nie więcej niż 1:3. Jednocześnie czas aktywacji głowicy wynosił zaledwie 0,25 s, co gwarantuje wysoką precyzję działania w warunkach zróżnicowanego dawkowania ś.o.r. [Daggupati 2007].

Daleka od oczekiwań jest precyzja działania rozpylaczy. Jakkolwiek powstały już prototypowe rozwiązania mikro-rozpylaczy o rozdzielczości 12,7x6,4 mm i dawce 0,0098 $l \cdot min^{-1}$, ale sumaryczne dawki cieczy z ich użyciem są zbyt wysokie do zastosowań praktycznych [Slaughter i in. 2000].

4.2. Układy iniekcyjne

Rozwój usług z zakresu ochrony upraw polowych wywołał potrzebę skonstruowania nowych generacji opryskiwaczy o specyficznych cechach użytkowych. Jedną z nich jest potrzeba dużej elastyczności w zamianie rodzaju użytego ś.o.r. bez potrzeby długotrwałego i kłopotliwego płukania układu cieczowego. Z pomocą przyszły układy iniekcyjne, w których preparat jest wtryskiwany bezpośrednio do instalacji w sąsiedztwie belki polowej za pomocą pompy dozującej. Wykorzystuje się do tego celu pompy perystaltyczne lub proporcjonalne pompy wielotłoczkowe. Takie rozwiązanie pozwala w pełni wykorzystać środek ochrony roślin, ponieważ można w dowolnym momencie przerwać zabieg - na przykład podczas nagłej zmiany pogody - bez problemów z zagospodarowaniem sporządzonej cieczy użytkowej. W zbiorniku głównym jest zawsze tylko czysta woda, a płukaniu podlega tylko ta część instalacji, która ma kontakt z preparatami. Możliwe jest także wykonywanie zabiegów z użyciem dwóch różnych ś.o.r.

Układy iniekcyjne znane są od ponad 30 lat, ale z powodu wysokich kosztów i ograniczeń związanych z użyciem ś.o.r. w postaci proszków, nie były dotąd powszechnie stosowane. Obecnie w związku z obserwowaną tendencją do budowy gigantycznych opryskiwaczy, udział kosztów układów iniekcyjnych w cenie maszyny jest niewielki. Ponadto dostępna jest szeroka gama preparatów w formulacjach płynnych.

4.3. Sterowniki mikroprocesorowe

Współczesne opryskiwacze już nie mogą obejść się bez sterowników mikroprocesorowych (fot. 11) zwanych potocznie komputerami pokładowymi. Początkowo skonstruowano je z myślą o samoczynnej regulacji wydatku rozpylaczy, w celu utrzymywania stałej dawki cieczy użytkowej, bez względu na zmieniającą się prędkość roboczą. Najnowsze generacje sterowników łączą w sobie kilka dodatkowych funkcji, takich jak nawigacja satelitarna, która umożliwia wizualizację ruchu opryskiwacza na mapie pola, obsługę sygnałów GSM pozwalającą na odbiór i wysyłanie komunikatów oraz rejestrację parametrów zabiegu, monitorowanie wykonanej pracy i zużytej cieczy użytkowej.

Fot. 11. Sterownik mikroprocesorowy do opryskiwacza polowego (Müller Elektronic)

Coraz powszechniejsze użycie standardu ISOBUS (ISO 11783) ułatwiło komunikację pomiędzy opryskiwaczem i ciągnikiem, jak również zestawianie agregatów z innymi maszynami wyposażonymi w sterowniki mikroprocesorowe. W miejsce kilku różnych sterowników montowanych w kabinie ciągnika stosuje się jeden uniwersalny terminal elektroniczny z dużym wyświetlaczem ciekłokrystalicznym współpracujący ze wszystkimi maszynami towarzyszącymi (np. opryskiwaczem, rozsiewaczem nawozów, siewnikiem). Z kolei specjalistyczny sterownik jest zamontowany w maszynie. Standard ISOBUS jest platformą sprzętowo-programową umożliwia realizację nowych, nieosiągalnych dotąd funkcji. Są wśród nich układy ułatwiające omijanie przeszkód środpolnych i wykonywanie zabiegów na skraju pola tworzącego klin. W takich sytuacjach trudno uniknąć

omijaków lub powtórnego naniesienia preparatu, co grozi jego przedawkowaniem. Pomocny staje się wówczas system kontroli pracy rozpylaczy, zintegrowany z nawigacją satelitarną GPS, który rejestruje na mapie przebieg zabiegu, opryskany obszar i podczas ponownego wjazdu opryskiwacza w ten obszar wyłącza odpowiednie sekcje belki, które mogłyby spowodować powtórne naniesienie cieczy.

W opryskiwaczach o znacznej szerokości roboczej (ponad 30 m) wprowadza się czujniki ultradźwiękowe umieszczone na ramionach belki polowej. Służą one do utrzymania stałej wysokości belki nad opryskiwaną powierzchnią poprzez pomiar odległości belki od ziemi lub wierzchołków roślin. Niekiedy w sekcji centralnej znajduje się czujnik odchylenia kątowego, pełniący funkcję korygująco-stabilizacyjną. Informacje ze wszystkich czujników są analizowane przez komputer, który steruje siłownikami wydźwigu i pochylenia belki, a w bardziej zaawansowanych rozwiązaniach, także siłownikami indywidualnego pochylania ramion.

Pokonanie uwroci wiąże się z potrzebą wykonania kilku czynności jednocześnie, które muszą być wykonane w odpowiedniej kolejności. W przeciwnym wypadku możliwe jest uszkodzenie belki polowej. Kolejność i prawidłowość ich wykonywania może być kontrolowana przez odpowiednio zaprogramowany komputer. W pierwszej fazie zawór główny automatycznie wyłącza rozpylacze, gdy znajdują się dokładnie na granicy łanu, następnie belka polowa opryskiwacza unosi się na żądaną wysokość. A jeśli jest ona prowadzona w pewnym pochyleniu (np. na skłonach), to po jej podniesieniu jest ona automatycznie prostowana. Po wykonaniu nawrotu system automatycznie opuszcza belkę na odpowiednią wysokość i włącza rozpylanie dopiero, gdy belka znajduje się nad roślinami. W przypadku opryskiwania skłonów przed opuszczeniem belki jest ona odchylana o odpowiedni kąt tak aby zachować jej równoległość wobec powierzchni pola.

5. Quo Vadis techniko opryskiwania?

Na obecnym etapie rozwoju technologii produkcji roślinnej i nauk rolniczych zdecydowana większość produkcji roślinnej w Polsce i w świecie będzie odbywała się przy znaczącym zużyciu syntetycznych ś.o.r. Jednocześnie nic nie wskazuje na możliwość zmiany tej sytuacji w najbliższych 2-3 dekadach. Nastąpił ogromny rozwój nowych grup syntetycznych środków ochrony roślin (ś.o.r), które są mniej toksyczne dla ludzi i środowiska. Dzięki temu w przodujących rolniczo krajach nie notuje się już wypadków śmiertelnych i ciężkich zatruć związanych bezpośrednio z wykonywaniem zabiegów ochrony roślin. Zdarzające się jednak przypadki dotyczą tzw. niezamierzonego użycia, (np. przez dzieci) oraz w wyniku awarii lub naruszenia elementarnych zasad bezpieczeństwa. Wiele nadziei wiąże się z postępem biologicznym i hodowlą odpornościową, która w coraz większym stopniu wykorzystuje narzędzia inżynierii genetycznej.

Najbliższe lata pokażą, czy będzie mogła nastąpić substytucja tradycyjnych odmian roślin, przez modyfikowane genetycznie (GMO), gdyż wywołują podobny sprzeciw społeczny jak chemiczna ochrona roślin.

Uważa się, że stosowanie środków ochrony jest jednym z najmniej efektywnych procesów w produkcji roślinnej. W wielu przypadkach mniej niż 5% powierzchni roślin jest pokryte przez ciecz opryskową i tylko 1% uwalnianych pestycydów jest aktywna przeciwko szkodnikom agrofagom [Hislop 1987]. Potencjalne możliwości ograniczenia strat i tym samym zużycia ś.o.r. są więc ogromne. Pomimo znacznego postępu, jaki dokonał się w ostatnim 20-leciu stwierdzenie Hislopa wciąż nie traci na aktualności. Wprawdzie opracowano i wdrożono do praktyki rolniczej wiele nowych rozwiązań technicznych (np. rozpylacze inżektorowe, sterowniki mikroprocesorowe), to jednocześnie względy ekonomiczne odsuwają w czasie szersze użycie najbardziej przyjaznych dla środowiska technik ochrony (np. opryskiwacze polowe PSP, tunelowe).

Wprawdzie strategia na przyszłość to zerowe zużycie agrochemikaliów w rolnictwie dzięki technikom sensorowym i wizyjnym zintegrowanym z badaniami biologicznymi, ale nie ulega wątpliwości, że jest to bardzo odległy cel wykraczający daleko poza obecny stan wiedzy zarówno nauk biologicznych jak i technicznych. W związku z tym można oczekiwać rosnącego znaczenia ś.o.r. pochodzenia naturalnego [Jongebruer 2000] zwłaszcza dla produkcji ekologicznej.

Bardzo obiecujące są metody biologiczne. Wśród nich są metody wykorzystujące naturalne lub sztucznie wprowadzane organizmy zdolne do ograniczania populacji szkodników, zachowując pełne bezpieczeństwo przyszłych konsumentów, samych upraw i środowiska, w którym występują [Tomalak 2009]. Ich użycie w praktyce rolniczej wymaga jednak dużej wiedzy i stwarza wiele technicznych problemów związanych uszkadzaniem lub śmiertelnością w procesie stoswania ze względu na ich dużą wrażliwość na podwyższone ciśnienie i temperaturę.

Nowoczesne rolnictwo wymaga nowych technologii produkcji. Ważne jest, aby były to technologie bardziej przyjazne środowisku. Wprowadzanie do praktyki nowych, bardziej bezpiecznych technik opryskiwania wiąże się często z wyższymi kosztami zakupu i eksploatacji nowych rozwiązań. Należy jednak spodziewać się dalszego zaostrzania niż liberalizacji ustawodawstwa w zakresie stosowania agrochemikaliów. Może się wówczas okazać, że metody uważane dotąd za nieopłacalne okażą się rentowne.

Dalszy rozwój techniki opryskiwania jest ukierunkowany głównie na stoswanie ś.o.r. w oparciu o zasady Rolnictwa Precyzyjnego [Matthews 2005]. W ostatnim okresie obserwuje się coraz więcej prac badawczych mających na celu przejście z ze skali wybranego fragmentu pola do skali pojedynczej rośliny *(plant-scale husbandry)*, gdy każda pojedyncza roślina będzie opryskiwana w zależności od jej indywidualnych potrzeb. Już wkrótce można oczekiwać rozwiązań, w których Rolnictwo Precyzyjne zbliży się do skali pojedynczego liścia *(leaf-scale husbandry)*, a tradycyjne opryskiwacze zastąpią roboty zdolne do nanoszenia mikro dawek

cieczy użytkowej na pojedyncze liście chwastu [Hołownicki 2004]. Poszukuje się również metod ograniczenia zużycia energii. Jedną z nich może być użycie systemu KERS *(Kinetic Energy Recovery)* znanego z wyścigowej „Formuły 1", który będzie gromadzić energię podczas hamowania, jak również drgań belki polowej, a nawet siedziska operatora [Boaz 2011].

Można również oczekiwać, że już w najbliższej przyszłości będzie można wyposażyć opryskiwacze w układy sprzężone z GPS rejestrujące historię przebiegu zabiegu opryskiwania zawierającą mapę rozkładu ś.o.r. Gromadzone w ten sposób dane tworzą wiarygodną dokumentację zabiegów będącą jednym z brakujących ogniw identyfikowalności *(traceability)* w łańcuchu żywności z „pola na stół". Taka dokumentacja już obecnie jest wymagana w technologiach produkcji prowadzonych według standardów dobrej praktyki rolniczej (np. GlobalGAP).

W celu ograniczenia podstawowego zagrożenia dla środowiska w ochronie roślin, jakim są skażenia miejscowe, konieczne są działania ukierunkowane na podnoszenie świadomości ekologicznej rolników. Istnieje więc pilna potrzeba wspierania wszelkich inicjatyw edukacyjnych, które powinny przekonywać rolników, że sprawny opryskiwacz i nowoczesna technika ochrony to nie tylko mniejsze zagrożenie dla otoczenia i środowiska, ale także niższe koszty ochrony roślin. Można to osiągnąć poprzez organizację szkoleń i pokazów z zakresu techniki ochrony upraw ze szczególnym uwzględnieniem popularyzacji bezpiecznych procedur napełniania i mycia opryskiwaczy oraz poprzez promowanie i wspomaganie budowy biologicznych neutralizatorów resztek cieczy użytkowej. Decydującą rolę w tych działaniach będą odgrywali specjaliści z zakresu techniki ochrony roślin.

Bibliografia

Balsari P., Marucco P., Tamagnone M. 2009. A crop identification system (CIS) to optimise pesticide applications in orchards. Journal of Horticultural Science and Biotechnology. Vol. 84 No. 6.

Bentsen L. 2000. Commercial considerations in field crop sprayer design. Aspects of Applied Biology. 57.

Boaz A. 2011. Motion capture. IVT International. March 2011.

Cross J.V., Murray R.A., Walklate P.J., Richardson G.M. 2004. Pesticide Dose Adjustment to the Crop Environment (PACE): Efficacy evaluation in UK apple orchards 2002-2003. Aspects of Applied Biology 71 (Vol.II).

Daggupati N.P. 2007. Assesment of the varitarget nozzle for variable rate application of liquid crop protection products. Master Thesis, Kansas State University, Manhattan, Kansas.

Doruchowski G., Jaeken P., Holownicki R. 1998. Target detection as a tool of selective spray application on trees and weeds in orchard. SPIE Conference on Precision Agriculture and Biological Quality. Boston. Proceedings of SPIE. Vol. 3543.

Doruchowski G., Hołownicki R. 2000. Environmentally friendly spray techniques for tree crops. Crop Protection 19(2000).

Doruchowski G., Hołownicki R. 2003. Przyczyny i zapobieganie skażeniom wód i gleby wynikających ze stosowania środków ochrony roślin. Zeszyty IMUZ 9.

Doruchowski G. 2005. Elementy rolnictwa precyzyjnego w ochronie roślin. Inżynieria Rolnicza. Nr 6 (66). Kraków.

Doruchowski G., Świechowski W., Hołownicki R., Godyń A. 2009. Environmentally-Dependent Application System for safer spray application in fruit growing. Journal of Horticultural Sciences and Biotechnology Vol. 84 No. 6.

Enfalt P., Bengtsson P., Engqvist A., Wretblad P. 2000. A novel technique for drift reduction. Aspects of Applied Biology 57.

Frede F.-G., Fisher P., Bach M. 1998. Reduction of herbicide contamination in flowing waters. Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 161.

Ganzelmeier H. 2001. Biologische Bundesanstalt für Land-und- Forstwirtschaft, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig. Kontakt osobisty.

Ganzelmeier H., Rautmann D. 2000. Drift, drift reducing sprayers and sprayer testing. Aspects of Applied Biology No. 57, Pesticide application.

Gil E., Escolŕ, Rosell J.R., Planas, S., Vald. L. 2007. Variable rate application of plant protection products in vineyard using ultrasonic sensors. Crop Protection 26.

Giles D. K. 1997. Independent control of liquid flow rate and spray droplet size from hydraulic atomizers. Atomization and Sprays 7.

Hewitt A.J. 2000. Spray drift modeling, labeling and management in the US. Aspects of Applied Biology 57.

Hislop E.C. 1987. Can we define and achieve optimal pesticide deposits? Aspects of Applied Biology 14, Studies of pesticide transfer and performance.

Hołownicki R., Doruchowski G., Godyn A., Swiechowski W. 1997. Minimising pesticide waste and emission to the environment by using tunnel sprayers. Journal of Fruit and Ornamental Plant Research, V (3-4).

Holownicki R, Doruchowski G, Godyń A, Świechowski W. 2000. Effects of air jet adjustment on spray losses in orchard. Aspects of Applied Biology 57.

Hołownicki R., Godyń A., Doruchowski G., Świechowski W. 2001. Spray drift as a source of secondary deposition on the trees in orchards. Parasitica 57 (1-2).

Hołownicki R. 2004. Perspektywy zastosowania koncepcji Rolnictwa Precyzyjnego w ochronie roślin. Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin. Tom 44 (1).

Hołownicki R., Doruchowski G., Świechowski W., Godyń A. 2004a. Automatic self adjusting air-jet sprayer concept for fruit trees. Annual Review of Agricultural Engineering 3(1)/2004.

Hołownicki R., Doruchowski G., Świechowski W., Godyn A. 2004b. VarioWindSelect system for automatic adjustment of nozzle type to the wind velocity in order to decrease spray drift in orchard. 7th International ATW-Symposium on Technology Application in Horti- and Viticulture. Stuttgart 10-11.05.2004.

Jongebruer A.A. 2000. Strategic themes in agricultural engineering in the 21st century. Journal of Agricultural Engineering Research Vol. 76 (3).

Kise M., Zhang Q., Rovira-Más F. 2005. A stereovision-based crop row detection method for tractor-automated guidance. Biosystems Engineering, 90(4).

Koch H., Weisser P. 2000. Sensor equiped orchard spraying – efficacy, savings and drift reduction. Aspects of Applied Biology No. 57, Pesticide application.

Kodeks DPOOR, 2007. Dobra Praktyka Organizacji Ochrony Roślin, Instytut Sadownictwa i Kwiaciarstwa, Zakład Agroinżynierii, Skierniewice.

Kreuger J., 1999. Pesticide in the Environment – Atmospheric Deposition and Transport to Surface Waters. Acta Universitatis Agricultura Suecicae, Agraria 162. PhD Thesis.

Mason P.J., Foster I.D.L., Carter A.D., Walker A., Higginbotham S., Jones R.L., Hardy I.A.J., 1999. Relative importance of point sources contamination of surface water: River Cherwell catchment monitoring study. Proceeding of the XI Symposium Pesticide Chemistry, Human and Environmental Exposure to Xenobiotics.

Matthews G. 2005. Plant Protection Technique-Successes and Failures of Past Century and Challenges for Coming Decades. Annual Rev. of Agriculture Eng. 4(1).

Miller P. 1991. Agricultural sprayer design to minimize environmental contamination. BCPC Monograph No. 46.

Miller P. C. H., Smith R. W. 1997. The effects of forward sped on the drift from boom sprayers. Proceedings, Brighton Crop Protection Conference – Weeds.

Miller P.C.H., Lane A.G., Walklate P.J., Richardson G.M. 2000. The effect od plant structure on the drift of pesticides at field boundaries. Aspects of Applied Biology 57.

Nilars M.S. 2000. Effect of nozzles on the quality and safety of spray application. III Konferencja "Racjonalna Technika Ochrony Roślin", Skierniewice 16-17.10.2002 r.

Nilsson E., 2001. Occupational risks when handling Pesticides. Materiały z II Konferencji " Racjonalna Technika Ochrony Roślin" – Skierniewice, 23-24.10.2002.

Ozkan H. E. 2000. Reducing spray drift. Ohio State University Extension Publication, AEX 816-00.

Pruszyński S. 2003. Ewolucja myśli i strategii działania w zakresie rozwoju ochrony roślin: wczoraj, dziś i jutro. Zeszyty Edukacyjne IMUZ. Nr 9.

Ramon H., Anthonis J., Vrindts E., Delen R., Reumers J., Moshou D., Deprez K., De Baerdemaeker J., Feyaerts F., Van Gool L., De Winne R., Van den Bulcke R.: 2002. Development of a weed activated spraying machine for targeted application of herbicides. Aspects of Applied Biology No. 66.

Rovira-Más F., Zhang Q., Reid J. F., Will J. D. 2005. Hough-transform-basedvision algorithm for crop row detection of an automated agricultural vehicle. Journal of Automobile Engineering, 219(8).

Roettele M., Balsari P., Doruchowski G., Marucco P., Wehmann H.J. 2011. EOS – Handbook. Environmentally Optimized Sprayer. Background and Documentation. European Crop Protection Association. (dostępny w Internecie).

Slaughter D.C., Giles D.K., Lamm R.D., Lee W.S. 2000. Robotic weed control system for California row crops. Agricultural Engineering Conference, AgEng 2000-Warwick, Paper 00-PA-018.

Stafford J.V. 2000. Implementing Precision Agriculture in the 21st century. Journal of Agricultural Engineering Research 76.

Svensson S.A. 2001. Converging air-jets in orchard spraying. Influence on Deposition, Air Velocities and Forces on Trees. Doctoral thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Alnarp 2001.

Szewczyk A. 2011. Analiza ustawienia, parametrów i warunków pracy rozpylacza w aspekcie jakości opryskiwania upraw polowych. Rozprawa habilitacyjna. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, Zeszyt XCVII, ISS 1898-1151 i ISBN 978-837717-003-8, s. 131.Schut, A.G.T. 2003. Imaging spectroscopy for characterization of grass swards. PhD Thesis Wageningen University, Wageningen, The Netherlands. 264p.

Taylor W.A., Andersen P.G. 1997. Review of benefits of air assisted spraying trials in arable crops. Aspects of Applied Biology 48.

Tomalak M. 2009. Czynniki biologiczne w ochronie upraw ekologicznych przed szkodnikami. Dostępny w Internecie: http://www.agengpol.pl/ekspertyzy.aspx.

Walklate P.J., Richardson G.M., Cross J. V., Murray R.A. 2000. Relationship between orchard tree crop structure and performance characteristics of an axial fan sprayer. Aspects of Applied Biology No. 57, Pesticide application.

Walklate P.J., Cross J.V., Richardson G.M., Murray R.A., Baker D.E. 2002. Comparison of different spray volume deposition models using LIDAR measurements of apple orchards. Biosystems Engineering 82 (3).

Wasilewicz M., Śliwa J. 2000. Wody podziemne - referat w ramach przedmiotu Zintegrowana Gospodarka Wodna, Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska, Wydział Inżynierii i Kształtowania Środowiska, SGGW Warszawa: http://~ozw1 /ZintegrowGospWod /ZintegrowanagospwodREW20/wodypodziemne/index.html

Wenneker, M., Zande van de J.C. 2008. Drift Reduction in Orchard Spraying Using a Cross Flow Sprayer Equipped with Reflection Shields (Wanner) and Air Injection Nozzles. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript ALNARP 08 014. Vol. X. May.

West J., McCartney A. 2002. Optical disease detection and estimation of latent infections around disease foci for targeted pesticide application. Aspects of Applied Biology No. 66.

Van de Zande J., Wenneker M., Meuleman J., Achten V., Balsari P., Doruchowski G. 2007. Development of a Crop Health Sensor to minimise spray applications in apple. Proc. SuProFruit 2007 – 9th Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing. Alnarp, Sweden 12-14 September.

Van de Zande J., Huijsmans J., Porskamp H., Michielsen J., Stallinga H., Holterman H., De Jong A. 2008. Spray techniques: how to optimise spray deposition and minimise spray drift. Environmentalist (2008) 28.

Anonymus, „Big fears, little Risk", film video wykonany przez American Council on Science and Health; film dostępny w Internecie: http://www.youtube.com/watch?v=tucn1qKPhAo

World Watch Institute, 2001. Woda na świecie. Ekologiczny Serwis Informacyjny, Onet-Republika: http://republika.pl/storytel/8-05-01.html.

AGROFIZYKA I INŻYNIERIA ROLNICZA W ROZWIĄZYWANIU PROBLEMÓW WSPÓŁCZESNEGO ROLNICTWA

Józef Horabik, Grzegorz Józefaciuk

Instytut Agrofizyki im. B. Dobrzańskiego PAN, Lublin
e-mail: j.horabik@ipan.lublin.pl

Wstęp

W dzisiejszej dobie nauki rolnicze są chyba najbardziej interdyscyplinarną dziedziną wiedzy. Wśród nauk, które coraz szerzej wykorzystywane są przez rolnictwo, znajdują się biologia, genetyka, fizyka, chemia, matematyka, informatyka, elektronika, automatyka, nauki techniczne (mechanika ciał stałych i płynów, termodynamika i teoria transportu ciepła i masy) i wiele innych. Do takich interdyscyplinarnych nauk zalicza się dzisiaj agrofizykę oraz inżynierię rolniczą lokujące się na styku nauk ścisłych i rolnictwa. Wspólne dla obu nauk jest opublikowane w roku 1977 dzieło Byszewskiego i Hamana „Gleba, maszyna, roślina". Zapoczątkowało ono proces przekształcania „techniki rolniczej" w kierunku dzisiejszej interdyscyplinarnej „inżynierii rolniczej" [Dawidowski 2009] oraz dało początek współczesnemu rozumieniu agrofizyki.

Agrofizyka jest dziedziną fizyki, zajmującą się zastosowaniem fizyki, fizyki chemicznej i fizykochemii do badania właściwości materiałów oraz poszukiwania mechanizmów procesów występujących w produkcji i przetwarzaniu płodów rolnych, zwłaszcza w układzie gleba – roślina – atmosfera oraz gleba – maszyna-roślina – płody rolne, ze szczególnym uwzględnieniem jakości surowców i produktów żywnościowych. Agrofizyka pomaga również w rozwiązywaniu złożonych zagadnień w szeroko pojętej ochronie środowiska przyrodniczego i kontroli jego jakości. Profesorowie Haman i Michałek [2004] przez agrofizykę rozumieją „Zbiór tych elementów wiedzy z fizyki, które stosowane są w badaniach związanych z produkcją i przetwarzaniem wszelkich materiałów pochodzenia biologicznego". Jest to chyba najogólniejszy obraz zakresu agrofizyki.

Inżynieria według swojej definicji jest działalnością polegającą na projektowaniu, konstrukcji i modyfikacji rozwiązań praktycznych, z wykorzystaniem wiedzy naukowej oraz technicznej, oraz, przede wszystkim, ich wdrażaniu. W ściślejszym

sensie, to używanie właściwości materii, energii oraz obiektów abstrakcyjnych dla tworzenia konstrukcji, maszyn i produktów, przeznaczonych do wykonywania określonych funkcji lub rozwiązania określonego problemu, do projektowania, tworzenia, eksploatacji i usprawnienia procesów technologiczno-przyrodniczych. Zatem inżynieria rolnicza zajmuje się przede wszystkim rozwiązywaniem zadań związanych z produkcją rolniczą i przetwórstwem płodów rolnych, koncentrując się na technice i technologii wytwarzania surowców i produktów, ich efektywności oraz skuteczności działania. Bada relacje zachodzące w układzie przyroda ożywiona i nieożywiona – urządzenia techniczne. Rozwiązuje problemy inżynierskie umożliwiające zachowanie rolniczego środowiska przyrodniczego w stanie równowagi oraz zachowania jego możliwości do samoregeneracji. Inżynieria rolnicza obejmuje wiedzę z zakresu mechanizacji i energetyki oraz rolnictwa i gospodarki żywnościowej. Wchodzi ze swoimi rozwiązaniami w szereg zagadnień nauk rolniczych od chemii rolnej przez budowę i eksploatację maszyn, użytkowanie energii w przemyśle rolno-spożywczym i produkcji zwierzęcej, agronomię, technologię żywności, przetwórstwo rolno-spożywcze, aż po kształtowanie środowiska i architekturę krajobrazu.

W strukturze nauk rolniczych agrofizyka funkcjonuje jako część dyscypliny agronomia. Koresponduje to z zakresem badań agrofizyki, jaki istniał na początku jej rozwoju. W chwili obecnej badania agrofizyczne przeplatają się zarówno z agronomią, inżynierią rolniczą jak i kształtowaniem środowiska [Walczak i in. 2003]. Znajdują one odbiorców w różnych innych dyscyplinach gdyż, jak wynika już chociażby z samej nazwy, agrofizyka ma służyć całemu rolnictwu. Inżynieria rolnicza funkcjonuje natomiast jako dyscyplina będącą na styku nauk rolniczych, technicznych i częściowo ekonomicznych [Speelman 1997] i przynależy do dziedziny nauk rolniczych [Michałek 2007].

Warsztat badawczy

Ponieważ badane przez agrofizykę obiekty znacznie odbiegają swoją specyfiką od tych, którymi zajmują się „czysta" fizyka i chemia, agrofizyka musiała wypracować swoje własne metody i narzędzia analityczne. W tym celu przystosowała szereg oryginalnych fizycznych metod pomiarowych do analiz gleby i materiałów pochodzenia roślinnego. Można tu wymienić metody spektroskopowe, dostępne praktycznie w pełnym zakresie widma elektromagnetycznego – od termografii do rentgenografii i mikrotomografii, elektrometryczne – potencjometryczne, amperometryczne czy jonometryczne, spektroskopię dielektryczną, mechatronikę, analizę obrazu czy emisję akustyczną. Cenną zaletą bardzo wielu metod fizycznych jest to, iż są one niedestrukcyjne i zapewniają krótki czas analizy [Baranowski i in. 2009; Bieganowski i in. 2010; Skierucha i Wilczek 2010; Zdunek i in. 2010].

Agrofizyka wypracowała również swoje własne narzędzia badań systemowych, które można ująć w trzy podstawowe grupy:

- metrologia agrofizyczna, zajmująca się interpretacją danych pomiarowych oraz opracowująca nowe metody i urządzenia do pomiaru oraz opisu właściwości materiałów rolniczych i procesów zachodzących w środowisku uprawy roślin [Rajchew i in. 2009; Skierucha 2008; Zdunek i in. 2009];
- monitoring obejmujący pozyskiwanie zbiorów danych dotyczących stanu aktualnego i historii badanych przez agrofizykę procesów [Usowicz i in. 2004];
- modelowanie czyli tworzenie modeli symulacyjnych i prognostycznych oraz ich kalibracja i weryfikacja [Sykut i in., 2008; Usowicz i in. 2006].

Agrofizyka tworzy wyspecjalizowane metody modelowania komputerowego i prognozowania przebiegu procesów istotnych dla środowiska przyrodniczego oraz procesów przetwórczych. Agrofizyczne metody badawcze wykorzystywane są coraz częściej do pomiaru charakterystyk materiałowych oraz monitoringu, modelowania i projektowania komputerowego przebiegu procesów, zarządzania bazami danych parametrów środowiska przyrodniczego oraz tworzenia modeli prognostycznych.

Inżynieria rolnicza posługuje się bardzo zróżnicowanymi narzędziami i metodami naukowymi stosowanymi w naukach rolniczych, fizycznych, matematycznych, ekonomicznych i technicznych [Dawidowski 2009], a szczególnie wiedzą i metodami nauk technicznych, wykorzystując je dla potrzeb projektowania maszyn i urządzeń rolniczych oraz maszyn i urządzeń do przetwarzania płodów rolnych, matematycznego modelowania i optymalizowania systemów oraz procesów rolnictwa i przemysłu spożywczego, projektowania technicznego wyposażania procesów przechowywania i przetwarzania produktów rolniczych, użytkowania i niezawodności maszyn i urządzeń rolniczych, projektowania nowych, także odnawialnych, źródeł energii i ich automatyzacji, informatyzacji procesów produkcyjnych w rolnictwie i przemyśle spożywczym, a także budownictwa rolniczego i wielu innych działów produkcji rolniczej [Pabis, Jaros 2009].

Niewątpliwie wspólnym elementem agrofizyki i inżynierii rolniczej są warsztat naukowy – zaczerpnięty z dorobku nauk ścisłych, z tym, że w przypadku inżynierii rolniczej znaczne szerzej obejmuje on nauki techniczne oraz przeplatający się obszar badawczy – zastosowanie nauki i technologii w systemach rolniczych, biologicznych i produkcji żywności. Wspólna jest również metodologia nauk empirycznych.

Nieco większa jest natomiast różnica w końcowym etapie badań prowadzonych w agrofizyce oraz inżynierii rolniczej. Agrofizyka koncentruje się głównie na poszukiwaniu odpowiedzi na podstawowe pytania: jak? i dlaczego? Znalezienie odpowiedzi na takie pytania często kończyło proces badawczy, a jego produktem końcowym był opis mechanizmów procesów, wyjaśnienie właściwości materiałów i obiektów, nowe metody, modele czy systemy pomiarowe. Natomiast w inżynierii rolniczej proces ten obejmował głównie następne etapy: technologie i wdrożenia.

Kierunki dalszych prac

Niewątpliwe jest, że zarówno agrofizyka jak i inżynieria rolnicza uzupełniając się nawzajem pomagają w znalezieniu odpowiedzi na szereg pytań oraz rozwiązaniu szeregu problemów, które wciąż pojawiają się przed współczesną gospodarką rolniczą, stawiającą coraz to nowe wymagania w zakresie jakości produkcji i jej konkurencyjności. Działania te wpisują się w najważniejszy program gospodarczo-społeczny Unii Europejskiej, Strategię Lizbońską, której głównym celem jest stworzenie na terytorium Europy najbardziej konkurencyjnej gospodarki na świecie. Strategia skupia się na czterech kwestiach: innowacyjności (gospodarka oparta o wiedzę), liberalizacji rynków, przedsiębiorczości oraz spójności społecznej. Podstawowym narzędziem realizacji polityki naukowej UE są Programy Ramowe (6 oraz 7 PR UE) skupione są wokół 3 priorytetów: Info, Techno i Bio. W obrębie grupy tematycznej Bio, gdzie mieszczą się działania zarówno agrofizyki jak i inżynierii rolniczej, najważniejszymi problemami są biotechnologia i bioinżynieria (produkcja zdrowej żywności, zmniejszenie zapadalności na choroby, zwiększanie produkcji rolno-spożywczej, wytwarzanie biomasy na cele energetyczne, postęp biologiczny w rolnictwie, ochrona środowiska oraz produkcja białka roślinnego o wartości zbliżonej do białka zwierzęcego). Podobne priorytety określone zostały przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w Krajowym Programie Badań Naukowych i Prac Rozwojowych (KPBNiPR, 2008): badania środowiska naturalnego dla zrównoważonego rozwoju i zachowania różnorodności biologicznej, ochrona i kształtowanie środowiska rolniczego i leśnego, przyrodnicze determinanty zrównoważonego rozwoju; bioinżynieria, biomechanika, podstawy i zastosowania biosensorów; nowe zasoby i odnawialne źródła energii. W krajach rozwiniętych obserwuje się zwiększone wymagania dotyczące jakości żywności oraz ochrony środowiska naturalnego. Konsekwencją tego jest potrzeba stosowania efektywnych i bezpiecznych technologii produkcji we wszystkich ogniwach łańcucha żywnościowego. Potrzebne jest wyeliminowanie ujemnego wpływu zabiegów agrotechnicznych na glebę, wodę gruntową i uprawiane rośliny, a także o uzyskiwanie produktów o wymaganych parametrach jakościowych i użytkowych [Krasowicz 2008]. Potrzeby te wyznaczają nowe zadania dla agrofizyki i inżynierii rolniczej.

Agrofizyka ma do rozwiązania jeszcze wiele problemów. Kierunki badań naukowych w zakresie agrofizyki wyznaczają przede wszystkim potrzeby dokładnego poznania procesów stanowiących podstawy produkcji zdrowej żywności i biomasy na cele energetyczne.

Obecnie produkcja roślin musi radzić sobie z wciąż postępującą degradacją gleby: zanieczyszczeniem, zakwaszaniem, erozją, destrukcją struktury, utratą materii organicznej. Wiele zjawisk i procesów fizycznych warunkuje przebieg procesów degradacji, stąd poznanie właściwości fizycznych i fizykochemicznych gleby pomaga w dobrym rozpoznaniu tych procesów oraz znalezieniu metod ich

oceny oraz zapobiegania. Chyba najbardziej istotną bolączką współczesnej produkcji roślinnej jest narastająca susza glebowa, w znacznym stopniu spowodowana zmianami klimatycznymi. Fizyka, poprzez tworzenie baz danych właściwości powierzchniowych, hydrofizycznych i termofizycznych gleby oraz sposobów ich regulacji pomaga zabezpieczyć korzystne warunki wzrostu i rozwoju roślin oraz, w dalszej konsekwencji, opracować systemy gospodarki wodnej wsi i rolnictwa. Zmiany klimatyczne wymuszają konieczność poszukiwania nowych, odpornych na suszę gatunków roślin uprawnych. Metody fizyczne umożliwiające opis przebiegu procesów transportu masy i energii w systemie gleba-roślina-atmosfera oraz opis właściwości mechanicznych roślin pozwalają na opracowanie lepszych technologii ich uprawy i zbioru. Aktualnym problemem, również w znacznym stopniu dotyczącym rolnictwa, jest rozpoznana dotychczas w bardzo niewielkim stopniu emisja gazów cieplarnianych z gleby do atmosfery. Fizyka pomaga badać warunki ich powstawania i wielkość emisji w różnych warunkach uprawy.

Różne systemy produkcji rolniczej industrialne, zrównoważone lub ekologiczne w różny sposób wpływają na zmiany fizycznych i fizykochemicznych warunków glebowych. Badania struktury i wynikających z niej właściwości wodnych i powietrznych gleby niosą pomoc w podjęciu decyzji o sposobie uprawy.

Produkcja rolnicza na cele energetyczne wymaga nie tylko zapewnienia wysokiego uzysku biomasy, ale również opracowania optymalnych technologii jej zbioru, suszenia, obróbki i przetwarzania. Poznanie procesów fizycznych zachodzących podczas każdego z tych etapów jest niezmiernie istotne dla uzyskania jak największej wartości energetycznej produktu finalnego.

Utrzymanie bezpieczeństwa i wysokiej jakości żywności wymaga dokładnej znajomości właściwości fizycznych roślin i płodów rolnych. Pomocne są tu fizyczne i fizykochemiczne metody identyfikacji uszkodzeń materiałów roślinnych, oceny wybarwienia, jędrności, mikrostruktury i tekstury owoców i warzyw oraz kontroli przebiegu procesów zbioru, transportu i przechowywania. Można tu wymienić metody spektroskopowe, dostępne praktycznie w pełnym zakresie widma – od termografii do rentgenografii, elektrometryczne czy emisji akustycznej. Cenną zaletą bardzo wielu metod fizycznych jest to, iż są one niedestrukcyjne i zapewniają krótki czas analizy.

Dalszy rozwój technologii rolno-spożywczej i produkcja żywności o wysokich walorach odżywczych i prozdrowotnych wymagają zastosowania nowoczesnych technik fizycznych w przetwórstwie, pakowaniu i przechowywaniu gotowych produktów. Fizyka pomaga biotechnologii w konstrukcji bioreaktorów oraz systemów kontroli i zarządzania przebiegiem procesów biosyntezy.

Zastosowanie agrofizyki w rolnictwie daje szanse szybkiego uzyskania istotnych dla praktyki rozwiązań poprzez udoskonalanie metod i systemów monitoringu parametrów fizycznych środowiska, określenie przestrzennej zmienności fizycznych, chemicznych i biologicznych właściwości gleb dla celów rolnictwa precyzyjnego, opracowanie i doskonalenie oryginalnych fizycznych metod pomia-

rowych do oceny jakości surowców i produktów żywnościowych w poszczególnych ogniwach łańcucha produkcji żywności (spektroskopia dielektryczna, mikrotomografia, mechatronika, analiza obrazu), modelowanie procesów technologicznych produkcji bezpiecznej żywności, opracowanie metod alternatywnego wykorzystania surowców rolniczych, szczególnie w zakresie odnawialnych źródeł energii.

Z kolei kierunki badań naukowych w zakresie inżynierii rolniczej wyznaczają przede wszystkim potrzeby dostosowania techniki i technologii do wymogów rolnictwa zrównoważonego, rolnictwa precyzyjnego i monitorowania produktów żywnościowych na wszystkich etapach ich produkcji, przetwórstwa i obrotu handlowego [Pawlak, 2010]. W warunkach Polski potrzebny jest rozwój technologii dostosowanej do istniejącej struktury rolnictwa i przemysłu maszyn rolniczych, a więc przeznaczonej do produkcji ogrodniczej i niszowej [Hołownicki 2009].

Badania naukowe w zakresie inżynierii rolniczej powinny być ukierunkowane na tworzenie rozwiązań gwarantujących produkcję zdrowej żywności, spełniającą wymogi poszanowania środowiska i zasobów naturalnych oraz zapewniającą dużą efektywność nakładów produkcyjnych. Ich zakres powinien obejmować gospodarkę energią, wodą, środkami chemicznymi stosowanymi w rolnictwie, regulację mikroklimatu w budynkach inwentarskich i szklarniach, a także problematykę emisji gazów cieplarnianych i innych szkodliwych substancji, dobrostanu zwierząt, warunków pracy personelu oraz organizację produkcji w zakresie dotyczącym inżynierii rolniczej. W najbardziej ogólnym ujęciu chodzi o zapewnienie zrównoważonego rozwoju rolnictwa i gospodarki żywnościowej, a konsumentom – pełnej informacji o wszystkich etapach produkcji poszczególnych produktów żywnościowych. Aby osiągnąć wspomniane cele, należy udoskonalić systemy produkcji, prowadzić racjonalną gospodarkę energetyczną, wdrażać technologię informacyjną oraz uwzględniać rosnące znaczenie organizacji produkcji [Pawlak 2010].

Z uwagi na postępujące ograniczenie zasobów nawozów naturalnych oraz względy ekologiczne, przyszłościowym systemem produkcji jest rolnictwo precyzyjne, którego istota polega na stosowaniu zróżnicowanej, odpowiedniej do rzeczywistych potrzeb roślin w danym punkcie rizosfery, aplikacji środków w obrębie pola uprawnego [Stafford 2000; Usowicz 2004]. Możliwości doskonalenia tego systemu leżą w zastosowaniu odpowiednich czujników mierzących lokalnie właściwości gleby in situ oraz inteligentnych, odpowiednio zaprogramowanych małogabarytowych i lekkich minirobotów, wykonujących prace polowe. Zastosowanie robotów miałoby wiele zalet: zapewniałoby zmniejszenie nakładów energii w pracach uprawowych, zapobieganie nadmiernemu ugniataniu gleby, ułatwienie wykonywania prac w trudnych warunkach polowych, siew precyzyjny i w razie potrzeby jego uzupełnienie w trakcie wegetacji roślin, selektywną ochronę roślin z zachowaniem bioróżnorodności, czy selektywny zbiór [Blackmore i in. 2005]. Z kolei zastosowanie szybko działających czujników umożliwiałoby rozpoznanie

składu chemicznego i wilgotności gleby, jak też stanu roślin, zachwaszczenia czy porażenia chorobami w czasie rzeczywistym i zastąpienie nimi rozwiązań opartych na bazie mapowania i wykorzystania GPS. Duże możliwości w zakresie doskonalenia i miniaturyzacji czujników upatruje się w zastosowaniu nanotechnologii.

Konieczność zwiększenia udziału odnawialnych źródeł energii w bilansie energetycznym pociąga za sobą potrzebę produkcji biomasy oraz poddaniu jej procesom fizycznym, biochemicznym czy chemicznym w celu uzyskania paliw. Osiągnięcie konkurencyjności biopaliw w stosunku do paliw tradycyjnych jest niskonakładowość produkcji. Zadaniem inżynierii rolniczej jest tu doskonalenie środków mechanizacji, stosowanych na wszystkich etapach produkcji i przetwarzania surowca, a także poprawa sprawności odbiorników energii, zasilanych nośnikami energii pochodzącymi z biomasy [Pawlak 2010].

Nowe systemy produkcji i udoskonalenia konstrukcyjne środków mechanizacji rolnictwa wymagają odpowiedniego poziomu wiedzy odbiorców, której przekazywanie jest jednym z zadań transferu technologii. Odpowiednie wyniki prac badawczych i rozwojowych powinny być jak najszybciej wykorzystywane w edukacji oraz upowszechniane i wdrażane w praktyce rolniczej.

Perspektywy

Analizując rozwój agrofizyki oraz inżynierii rolniczej w ostatnich kilku dziesięcioleciach warto ze wspólnej perspektywy patrzeć na zmiany zachodzące w nauce. Dobrym na to przykładem są zmiany, jakie zaszły ostatnio w amerykańskiej inżynierii rolniczej.

W ciągu minionych 40 lat postępowała coraz szybsza zmiana nazwy kierunków studiów: dotychczasową inżynierię rolniczą rozszerzano o element Bio- nazywając to różnie: Inżynieria Biologiczna, Inżynieria Zasobów Biologicznych czy Inżynieria Systemów Biologicznych. Kierunki, które zmieniły nazwę odnotowywały przyrost liczby studentów.

Co więc rozumiano w tym środowisku przez bioinżynierię? Dział inżynierii przygotowujący studentów do rozwiązywania problemów w systemach biologicznych: inżynieria bioprocesowa (żywność, nutraceutyki, farmaceutyki, biokonwersja, bioreaktory) inżynieria biośrodowiska (bioremediacja, jakość wody, zanieczyszczenie środowiska) inżynierskie systemy kontroli środowiska, inżynieria biomedyczna, biosensory, bioogniwa.

Inżynieria biosystemów rozumiana jako zastosowanie metod inżynierskich do projektowania maszyn, procesów, materiałów i systemów, których efektywność nie może być zoptymalizowana bez uwzględnienia anatomii, fizjologii czy funkcjonowania żywych materiałów, organizmów i ich środowiska to próba połączenia dwóch, dotychczas bardzo odmiennie pojmowanych, obszarów: inżynierskich

metod obliczeniowych weryfikowanych na materii nieożywionej oraz biologii używającej zupełnie innego języka opisu.

Tak pojmowany zakres bioinżynierii pokrywa w całości obszar badawczy zarówno inżynierii rolniczej jak i agrofizyki: projektowanie rozwiązań problemów w systemach obejmujących rośliny (produkcja roślinna, mechanizacja), zwierzęta (produkcja zwierzęca, budownictwo, środowisko), ludzi (zdrowie, inżynieria biomedyczna) oraz środowisko (inżynieria środowiska).

Podsumowanie

Wspólne narzędzia i metody, wspólne korzenie i podobne kierunki badań wskazują na to, że inżynieria rolnicza i agrofizyka są ze sobą ściśle powiązane. Pomimo to, dotychczas rozwijały się one w znacznym stopniu niezależnie i zbyt mało czerpały nawzajem ze swoich osiągnięć. Obecnie, gdy następuje coraz większa integracja różnych dziedzin nauki, skutkująca nawet instytucjonalnym skupieniem różnych jednostek naukowych, warto zastanowić się nad sposobem bardziej efektywnego powiązania prac badawczych inżynierii rolniczej i agrofizyki, na przykład poprzez tworzenie międzyinstytucjonalnych grup badawczych pracujących nad określonymi zadaniami, aplikowanie o wspólne projekty czy też rozwiązywanie poszczególnych aspektów wspólnych problemów jednocześnie w kilku ośrodkach.

Bibliografia

Baranowski P., Mazurek W., Witkowska-Walczak B., Sławiński C. 2009. Detection of early apple bruises using pulsed-phase thermography. Postharvest Biology and Technology, 53.

Bieganowski A., Ryżak M., Witkowska-Walczak B. 2010. Determination of soil aggregate disintegration dynamic using laser diffraction. Clay Minerals, 45.

Byszewski W., Haman J. 1974. Gleba, maszyna, roślina. PWN, Warszawa.

Dawidowski J.B. 2009. Logicznie czy funkcjonalnie? Forum Akademickie.

Haman J., Michałek R. 2003. Quo venis quo vadis inżynierio rolnicza. Inżynieria Rolnicza. Nr 9(51). Warszawa.

Haman J., Michałek R. 2004. Związki pomiędzy agrofizyką a inżynierią rolniczą. Acta Agrophysica. 3(3). Lublin.

Hołownicki R. 2008. Przed agroinżynierią stoją nowe zadania. Inżynieria Rolnicza. Nr 4(102). Kraków.

Hołownicki R. 2009. Agroinżynieria na tle przemian w rolnictwie i przemyśle. Inżynieria Rolnicza. Nr 5(114). Kraków.

Jongebreur A.A., Speelman L. 1997. Future trends in agricultural Engineering. Netherlands Journal of Agricultural Science. Nr 45.

Kitchen N.R., Snyder C.J., Franzen D.W., Wiebold. W.J. 2002. Educational needs of precision agriculture. Precision Agriculture. Nr 3(4).

Kondo N. 2005. Latest agricultural robots and traceability information based on robotic agriculture. Resource. Nr 9.

Krajowy Program Badań Naukowych i Prac Rozwojowych. Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. 2008.

Krasowicz S. 2008. Relacje człowiek–środowisko przyrodnicze w aspekcie zrównoważonego rozwoju. Problemy Inżynierii Rolniczej. Nr 1(59). Warszawa.

Michałek R. 2007. Inżynieria rolnicza – stan obecny i szanse rozwoju. Inżynieria Rolnicza. Nr 1(99). Kraków.

Michałek R. 2008a. Przyszłość Inżynierii rolniczej jako nauki i kierunku kształcenia. Inżynieria Rolnicza. Nr 1(99). Kraków.

Michałek R. 2008b. Domena i krajowe środowisko inżynierii rolniczej. Inżynieria Rolnicza. Nr 6(104). Kraków.

Michałek R., Grotkiewicz K. 2010. Miejsce i rola postępu naukowego w warunkach rolnictwa zrównoważonego. Problemy Inżynierii Rolniczej. Nr 1(67). Kraków.

Pabis S., Jaros M. 2009. O klasyfikacji nauk Forum Akademickie.

Pawlak J. 2010. Współczesne wyzwania dla inżynierii rolniczej. Problemy Inżynierii Rolniczej. 4. Warszawa.

Rajchew T., Popandowa S., Piszmanowa S., Arsova A., Sokołowska Z., Hajnos M., Józefaciuk G. 2009. Sposób fizykochemicznej melioracji gleb kwaśnych zanieczyszczonych cynkiem. Patent: 193727.

Skierucha W. 2008. Temperature dependence of time domain reflectometry-measured soil dielectric permittivity. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 172, 2.

Skierucha W., Wilczek A. 2010. A FDR sensor for measuring complex soil dielectric permittivity in the 10-500 MHz Frequency Range. Sensors, 10(4).

Stafford J.V. 2000. Implementing precision agriculture in the 21st century. Journal of Agricultural Engineering Research. Nr 76.

Sykut J., Molenda M., Horabik J. 2008. DEM simulation of the packing structure and wall load in a 2-dimensional silo. Granular Matter. 10.

Usowicz B., Hajnos M. Sokołowska Z., Józefaciuk G., Bowanko G., Kossowski J., Usowicz J. 2004. Przestrzenna zmienność fizycznych i chemicznych właściwości gleby w skali pola i gminy. Acta Agrophysica 103. Seria Rozprawy i Monografie. (3).

Usowicz B., Lipiec J., Marczewski W., Ferrero A. 2006. Thermal conductivity modelling of terrestrial soil media - A comparative study. Planetarny and Space Science. 54.

Walczak R.T., Gliński J., Horabik J. 2003. Agrofizyka i jej rola w rozwoju nauk rolniczych. Acta Agrophysica. 100.

Wójcicki Z. 2007. Poszanowanie energii i środowiska w rolnictwie i na obszarach wiejskich. IBMER. Warszawa.

Wójcicki Z. 2008. Zadania dla nauki i techniki w zakresie pozyskiwania bezpiecznej żywności. Problemy Inżynierii Rolniczej. Nr 1(59). Kraków.

Wójcicki Z. 2010. Modernizacja gospodarstw rodzinnych. Problemy Inżynierii Rolniczej. Nr 1(67). Warszawa.

Zdunek A., Pytka J., Ranachowski Z. 2009. Sposób i urządzenie do pomiaru kruchości i tekstury owoców i warzyw, zwłaszcza jabłek. Zgłoszenie patentowe P-388443.

Zdunek A., Cybulska J., Konopacka D., Rutkowski K. 2010. New contact acoustic emission detector for texture evaluation of apples. J. Food Engineering, 99(1).

INŻYNIERIA ROLNICZA Z PERSPEKTYWY CIGR I CIOSTA

Tadeusz Juliszewski[1]

Instytut Eksploatacji Maszyn, Ergonomii i Procesów Produkcyjnych
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
e-mail: Tadeusz.Juliszewski@ur.krakow.pl

Wstęp

Inżynieria rolnicza, określana też terminem „agroinżynieria" rozumiana jest jako (1) dyscyplina naukowa oraz (2) kierunek kształcenia[2]. Obejmuje swym zakresem projektowanie, konstruowanie i eksploatację urządzeń technicznych stosowanych w technologiach produkcji i przetwórstwa surowców pochodzenia biologicznego. Mimo, że określenie to weszło trwale do słownictwa inżynieryjnego nie doczekało się jeszcze encyklopedycznej definicji (jak np. inżynieria chemiczna, sanitarna, czy – jak ostatnio inżynieria genetyczna, lub bioprocesowa). Podręcznikowa definicja inżynierii rolniczej określa ją jako naukę stosowaną wykorzystywaną dla optymalnego przetwarzania surowców naturalnych dla potrzeb człowieka przy zastosowaniu gleby, maszyn, budynków, procesów i systemów produkcyjnych[3].

Określenie „inżynieria rolnicza" we współczesnym[4] rozumieniu jego treści – pojawiło się, mniej więcej, 20-30 lat temu. Autor nie potrafi wskazać osoby, która to określenie zdefiniowała jednoznacznie – w formie powszechnie przyjmowanej i akceptowanej w środowisku. Nie potrafi też wskazać źródła bibliograficznego ani też miejsca, gdzie to nastąpiło, mimo, że jest czynnym zawodowo w tej dyscyplinie naukowej od ponad 35 lat. Nie ulega natomiast wątpliwości, że „inżynieria rolnicza" jest efektem ewolucji określenia „maszynoznawstwo rolnicze" poprzez

[1] Autor był Prezydentem CIOSTA w latach 1999-2001, oraz Przewodniczącym V Sekcji CIGR w latach 2003-2004.

[2] Formalnie kierunek kształcenia o profilu inżynierii rolniczej nosi nazwę „technika rolnicza i leśna" (wg wykazu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

[3] *Agricultural engineering has been applying scientific principles for the optimal conversion of natural resources into agricultural land, machinery, structure, processes and systems for the benefit of man (CIGR Handbook of agr. eng.)*

[4] W latach 50-tych i 60-tych ubiegłego (XX) wieku określenie „inżynieria rolnicza" obejmowało raczej zakres melioracji i budownictwa wodnego.

„mechanizację rolnictwa" i „technikę i energetykę rolniczą" [por. Haman 2002]. Czy ta ewolucja nazwy dyscypliny naukowej i kierunku kształcenia zatrzyma się na chwilę, czy też będzie zmierzała w przyszłości do określenia „inżynieria produkcji", „inżynieria biosystemów" „agromechatronika", czy „bioinżynieria" - trudno dziś przewidywać. Dodajmy, że ewolucja tych krajowych nazw zachodzi niejako równolegle do zmian jakie obserwuje się w krajach zachodnich Europy, czy Stanach Zjednoczonych AP. Nasi zachodni sąsiedzi używając przez lata określenia „Landtechnik" (tj. technika rolnicza) coraz częściej – wzorem innych nacji – mówią po prostu *„agricultural engineering"*. Amerykańskie Stowarzyszenie Inżynierów Rolnictwa *ASAE* zmieniło nazwę na *American Society of Agricultural and Biological Engineers ASABE* (Amerykańskie Stowarzyszenie Inżynierów Rolnictwa i Biologii).

Przedstawiane tu zmiany nazwy są konsekwencją zmian zakresu badań i treści nauczania w tej dyscyplinie. Każdy, kto jest aktywnym zawodowo w tej dyscyplinie – na uniwersytecie, czy tzw. praktyce produkcyjnej – jest świadom tych zmian. Od budowy i eksploatacji ciągników i maszyn rolniczych przeszliśmy do projektowania i stosowania systemów produkcji i przetwórstwa surowcowego z uwzględnieniem aspektów ekologicznych, dobrostanu zwierząt (*animal welfare*), czy zrównoważonego użytkowania środowiska i środków produkcji (*sustainable production*). Nie ulega wątpliwości, że współczesny inżynier rolnictwa posiada znacznie szersze kompetencje zawodowe niż jego kolega sprzed 20-30 lat; dotyczy to umiejętności w praktycznych zastosowaniach współczesnej wiedzy biologicznej, technicznej i ekonomicznej.

Zaniedbanie, do którego z trudem się przyznajemy (my: inżynierowie rolnictwa), jest tu następujące: nie doprowadziliśmy – indywidualnie i zbiorowo – do zmiany stereotypowego wyobrażenia o naszej profesji. O ile w naszym środowisku świadomość zmian zakresu wiedzy obejmującej inżynierię rolniczą jest powszechna, o tyle w odbiorze społecznym jest to wciąż tylko „traktor" i „kombajn"[5]. Liczne kontakty autora tego tekstu z uczniami szkół średnich (podczas akcji promocyjnej studiów) i pracownikami innych uczelni (konferencje, seminaria, spotkania naukowe) upoważniają go do sformułowania opinii iż mówiąc o zaniedbaniu nie jest się gołosłownym.

CIGR, CIOSTA

Międzynarodowe Stowarzyszenie Inżynierii Rolnictwa (*CIGR – Commission International du Genie Rural*), a właściwie – od 2008 roku – Międzynarodowe Stowarzyszenie Inżynierii Rolniczej i Biosystemowej (*International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering*) zostało powołane 5 sierpnia 1930 roku (Liege, Belgia). Grupa naukowców, powołująca stowarzyszenie, pochodziła

[5] Dodajmy, że często rozróżnienie znaczenia określeń „agronomia"" „agrotechnika" i „agroinżyniera" budzi niejakie trudności – zwłaszcza dla osób postronnych.

z Belgii, Francji, Niemiec, Holandii, Hiszpanii, Szwajcarii i Wielkiej Brytanii. Ścisła współpraca z ówczesnym Międzynarodowym Instytutem Rolnictwa w Rzymie i Międzynarodową Organizacją Pracy (*ILO*) w Genewie była zadeklarowana już w chwili utworzenia CIGR.

Dziś członkami CIGR są stowarzyszenia regionalne:

1) American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE),
2) The Asian Association for Agricultural Engineering (AAAE),
3) European Society of Agricultural Engineers (EurAgEng),
4) Latin American and Caribbean Association of Agricultural Engineering (ALIA),
5) South & East African Society of Agricultural Engineering (SEASAE),
6) Euro Asian Association of Agricultural Engineers(EAAAE),
7) Association of Agricultural Engineers of South-Eastern Europe AAESEE,

i narodowe:

AUSTRALIA: Australian Society for Engineering in Agriculture (SEAg),
BRAZYLIA: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola (SBEA),
CHINY: Chinese Society of Agricultural Engineering (CSAE),
CHINY: Chinese Society of Agricultural Machinery (CSAM),
CZECHY: Czech Agriculture Society (CZS),
FRANCJA: Société des Ingénieurs du Machinisme Agricole & Association Française du Genie Rural (SITMAFGR),
GHANA: Ghana Society of Agricultural Engineering.
IRAN: Iranian Agricultural Engineering Research Institute (IAERI),
IZRAEL: Israeli Society of Agricultural Engineers (ISAE),
JAPONIA: Science Council of Japan (SC J),National Committee for CIGR,
KANADA: Canadian Society for Bioengineering (CSBE/SCGAB),
KOREA: Korean Society for Agricultural Engineers (KSAE),
KOREA: Korean Society for Agricultural Machinery (KSAM),
MOROKO: Association Nationale des Améliorations Foncičres, de l'Irrigation, du Drainage et de l'Environment (ANAFIDE),
POLSKA: The Committee of Agricultural Engineering of the Polish Academy of Sciences,
POŁUDNIOWA AFRYKA: South African Institute of Agricultural Engineering (SAIAE)
SŁOWACJA: Slovak National Committee (ZSVTS),
TURCJA: Turkish Chamber of Agricultural Engineering,

Indywidualnych przedstawicieli w CIGR ma Egipt i Zjednoczone Emiraty Arabskie. Zarówno w historii i strukturze organizacyjnej CIGR zainteresowany Czytelnik znajdzie wyczerpujące informacje na stronie internetowej: www.cigr.org

Statutowe obowiązki CIGR, sformułowane w 1995 roku, są następujące:
- wspieranie wszystkich działań w zakresie inżynierii rolniczej,
- promocja osiągnięć i aktywności narodowych stowarzyszeń inżynierii rolniczej,
- ułatwienie wymiany osiągnięć pomiędzy specjalistami w tej dyscyplinie,
- promocja osiągnięć naukowych i technologicznych w różnych obszarach inżynierii rolniczej,
- wspieranie i koordynowanie badań w dyscyplinie inżynieria rolnicza,
- rozwój kształcenia i przekaz informacji,
- organizowanie regularnych spotkań przedstawicieli tej dyscypliny,
- prowadzenie dokumentacji i publikowanie osiągnięć przydatnych dla fachowców w dyscyplinie inżynieria rolnicza.

Autor, który uczestniczy w pracach CIGR od 2000 roku może zaświadczyć, że ta organizacja (*non profit organisation*) poprzez spontaniczną i – jakby to określić terminem dziś niepopularnym – społeczną aktywność jej członków na całym świecie, wywiązuje się z tych statutowych obowiązków bez zarzutu. *CIGR-Newsletter*, czasopismo organizacji, informuje na bieżąco, jak szeroka i wszechstronna jest to aktywność.

Aktualnie CIGR prowadzi swą statutową działalność poprzez następujące sekcje techniczne:

I. Inżynieria lądowa i wodna (*Land and Water Engineering*),

II. Budownictwo inwentarskie, wyposażenie techniczne i środowisko (*Farm Buildings, Equipment, Structures and Environment*),

III. Inżynieria produkcji roślinnej (*Equipment Engineering for Plants*),

IV. Energetyka Rolnicza (*Energy in Agriculture*),

V. Zarządzanie, ergonomia i inżynieria systemów (*Management, Ergonomics and Systems Engineering*),

VI. Technologie przetwórstwa surowcowego i inżynieria procesowa (*Post-harvest Technology and Process Engineering*),

VII. Systemy Informacyjne (*Information Systems*)

Grupy robocze CIGR podejmują specyficzne problemy badawcze; nazwy aktualnych grup roboczych są następujące:
1. Obserwacja Ziemi dla potrzeb inżynierii lądowej i wodnej (Earth Observation for Land and Water Engineering Working Group),
2. Produkcja zwierzęca w gorącym mikroklimacie (Animal Housing in Hot Climate Working Group Chair),
3. Rozwój obszarów wiejskich i zachowanie dziedzictwa kulturowego (Rural Development and the Preservation of Cultural Heritages Working Group),
4. Chów bydła (Cattle Housing Working),
5. Gospodarka wodna i systemy informacyjne (Water Management & Information Systems Working Group),

6. Koordynacja programów studiów w zakresie inżynierii rolniczej (Agricultural Engineering University Curricula Harmonization Working Group),
7. Ochrona środowiska rolniczego i odtwarzanie dziedzictwa (Rural Landscape Protection and Valorisation Working Group),
8. Analiza obrazu w procesach produkcji i przetwórstwa rolniczego (Image Analysis for Agricultural Processes and Products Working Group),
9. Bezpieczeństwo żywności (Food Safety Working Group).

Historia CIOSTA (*Commision International de l`Organistaion Scientifique du Travail en Agriculture*) jest krótsza niż CIGR – Międzynarodowa Komisja ds. Naukowej Organizacji Pracy w Rolnictwie powołana została w 1950 r., w Paryżu. Jednego z założycieli stowarzyszenia prof. Gerharta Preuschena autor miał okazję poznać osobiście w 1988 roku, podczas kongresu[6] w Bled (Jugosławia). W owym czasie był to już siwowłosy, starszy pan, ale wciąż pełen wigoru i nowych pomysłów. Pamiętam, jak spokojnie, lecz dobitnie, argumentował wówczas (1998 rok) potrzebę ochrony źródeł i górskich rzek uzasadniając, że czysty górski potok oznacza czystą wodę dla ludzi w terenach nizinnych. Idea ta powtarzana jest teraz jako odkrywcza – sformułowano ją dwadzieścia parę lat temu…

Jedną z głównych przyczyn powołania CIOSTA było wprowadzanie naukowych metod organizacji pracy (*Work study*) w rolnictwie w celu zwiększenia efektywności pracy – dla zaspokojenia żywnościowych potrzeb w wygłodzonych wojną społeczeństwach Europy. Jak wiadomo [por. Badanie pracy, 1961] Nauka o pracy (*Work study*), dzieli się na (1) badanie metod pracy i (2) mierzenie pracy. Celem badania metod pracy jest krytyczna ocena metod dotychczasowych, w kontekście ich modyfikacji lub opracowania nowych metod, dla uzyskania większej wydajności i – na ile to możliwe – obniżanie wysiłku pracowników. Mierzenie pracy zmierza do określenia standardów (norm) czasu pracy na poszczególne czynności i całe technologie. Od początku istnienia CIOSTA te dwa obszary badawcze – badanie metod pracy i mierzenia pracy – były przedmiotem licznych referatów i doniesień naukowych. Tak jest do dziś na konferencjach[7] CIOSTA, gdyż wprowadzenie nowych technik i technologii badania te implikuje. Dodajmy, że coroczne, np. w Niemczech[8], Szwajcarii czy Austrii, normy te są publikowane i mają charakter urzędowo obowiązujących.

[6] Od 2005 roku nazwa „Kongres", zastąpiona została nazwą „konferecja", dla podkreślenia, że najważniejszym międzynarodowym spotkaniem inżynierów rolnictwa są Kongresy CIGR.

[7] Od 1980 roku CIOSTA organizuje wspólne konferencje z V Sekcją CIGR – co dwa lata. W czasie konferencji odbywa się posiedzenie przedstawicieli z wszystkich uczestniczących krajów i wybór nowego Prezydenta.

[8] W Niemczech normy te publikuje corocznie KTBL (*Kuratorim für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft*).

Inżynieria rolnicza w strukturze nauki

Administracyjny podział nauki na dziedziny i dyscypliny tworzy strukturę, jaka jest kontestowana od pewnego czasu. Dyskusje wokół tego podziału wynikają, jak się wydaje, z przyczyn merytorycznych, ale i także osobistych poglądów i doświadczenia zawodowego polemistów. Oczywiście, przystąpienie Polski do Unii Europejskiej spowodowało także potrzebę swego rodzaju „kompatybilności" nazw krajowych dziedzin i dyscyplin naukowych z dziedzinami i dyscyplinami w całej wspólnocie. Być może właśnie konieczność ujednolicenia nazewnictwa (dziedzin, dyscyplin) w wymiarze europejskim będzie tu odgrywało rolę pierwszoplanową, a nie argumentacja krajowych dyskutantów.

W dotychczasowej polemice można wyodrębnić dwa nurty: jeden z nich reprezentuję, m.in. pp. prof. Stanisław Pabis i prof. Małgorzata Jaros – w ich opinii inżynieria rolnicza powinna znajdować się w dziedzinie nauk technicznych (gdzie była do 1984 roku). Drugi nurt reprezentuje p. prof. Bronisław Dawidowski i autor tych słów – w ich opinii inżynieria rolnicza powinna pozostać w dziedzinie nauk rolniczych. Czytelnika zainteresowanego argumentami zwolenników tych poglądów odsyłamy do czasopisma „Forum Akademickie" nr 2/2009, nr 6/2009, 7-8/2009 i 11/2011.

Jeszcze odmienny pogląd wyraża prof. Rudolf Michałek uważając, że dziedziny naukowe powinny zostać zlikwidowane, a pozostawione tylko dyscypliny naukowe.

Pojawiły się także wątpliwości: gdzie zakwalifikować „inżynierię produkcji" (w domyśle: inżynierię produkcji surowców pochodzenia biologicznego o żywnościowym i nieżywnościowym przeznaczeniu) – do dziedziny nauk technicznych (tak jest obecnie), czy może inżynierię produkcji i przetwarzania surowców biologicznych – do nauk rolniczych? Określenia: agroinżynieria i inżynieria produkcji niewątpliwie swym zakresem zachodzą na siebie: semantycznie „inżynieria produkcji" jest pojęciem szerszym niż „agroinżynieria". Wspominamy o tych wątpliwościach, gdyż wiele dawnych wydziałów „techniki rolniczej" nosi dziś nazwy zawierające wyraz „inżynieria produkcji". Nie ulega wątpliwości, że nazwa ta jest bardziej adekwatna do zakresu współczesnych badań naukowych prowadzonych na tych Wydziałach, a także, do zakresu kształcenia zawodowego.

Autor ma przeczucie, że dyskusje na temat przynależności „agroinżynierii" do jednej z dziedzin naukowych (jeśli te pozostaną) mają znaczenie drugorzędne: prawdopodobnie decyzja zapadnie administracyjnie, jak zapadają decyzje w innych obszarach życia gospodarczego i politycznego – implikowane ogólna tendencją standaryzacji wszystkiego co unijne… Może przyniesie to korzyści dla nauki?

Nie przekonuje natomiast autora argument pp. prof. St. Pabisa i prof. M. Jaros, że: „inżynieria rolnicza, jako dyscyplina nauki nie jest potrzebna naukom rolniczym, ponieważ nie jest w stanie samodzielnie tworzyć wiedzy naukowej w tej

dziedzinie". Uważam wprost przeciwnie, to właśnie interdyscyplinarny charakter inżynierii rolniczej – połączenie wiedzy o charakterze biologicznym i technicznym – stwarza właśnie szansę poszerzania wiedzy naukowej. Czy ta wiedza będzie rzeczywiście tworzona, czy nie – zależy od walorów intelektualnych, etycznych i wiedzy tych, którzy tą wiedzę tworzą, a nie od tego – w której z „szuflad" biurokratycznego podziału nauki znajdzie się „inżynieria rolnicza".

Kształcenie inżynierów rolnictwa

Choć zabrzmi to banalnie warto przypomnieć: uniwersyteckie studia obejmują oprócz wiedzy podręcznikowej – uczestnictwo studiujących w aktualnie prowadzonych badaniach naukowych w tej dyscyplinie. Wynikiem tego uczestnictwa (prace dyplomowe, projekty badawcze, działalność kół naukowych itd.) jest uzyskiwanie kompetencji zawodowych adekwatnych do – jak to się eufemistycznie określa – „potrzeb rynku pracy". Mówimy tu o kompetencjach zawodowych w zakresie produkcji i przetwórstwa surowców pochodzenia biologicznego o żywnościowym, nieżywnościowym przeznaczeniu – przede wszystkim. Dobrą ilustracją zakresu wiedzy, jaki uzyskuje współczesny absolwent inżynierii rolniczej – w kraju i na świecie – są tytuły 6 tomów podręcznika, właśnie w tej dyscyplinie, opublikowane pod szyldem CIGR:

Tom I. Inżynieria lądowa i wodna, (*Land & Water Engineering. Tytuły rozdziałów: Balancing Agriculture Between Development and Conservation, Land- and Water- Use Planning, Rural Roads, Land Reclamation and Conservation, Irrigation and Drainage*),

Tom II. Inżynieria produkcji zwierzęcej i z wykorzystaniem środowiska wodnego, (*Animal Production & Aquacultural Engineering*, *Part I Livestock Housing and Environment, Part II Aquacultural Engineering*),

Tom III. Inżynieria produkcji roślinnej, (*Plant Production Engineering*, Tytuły rozdziałów: *Machines for Crop Production, Mechanizations Systems, Trends for the Future*),

Tom IV. Inżynieria przetwórstwa rolniczego (*Agro Processing Engineering*, Tytuły rozdziałów: *Grains and Grain Quality, Root Crops, Fruit and Vegetables, Grapes, Olives, and Coffee, Effluence Treatment in Agro- processing*),

Tom V. Inżynieria produkcji i przetwórstwa biomasy na cele energetyczne (*Energy & Biomass Engineering*, Tytuły rozdziałów: *Natural Energy and Biomass, Energy for Biological System, Biomass Engineering*),

Tom VI. Technologia informacyjna [9](*Information Technology*, Tytuły rozdziałów: *The History of Information Processing, Hardware, Methods, Algorithms, and Software,*

[9] Edytora tego podręcznika, prof. Axela Munacka (Niemcy), gościliśmy na dorocznej konferencji inżynierii rolniczej w Zakopanem, w 2004 roku (organizowanej przez prof. Rudolfa Michałka).

Mechatronics and Applications, Precision Agriculture, Management and Decision Support Systems, Communication Issues and Internet Use, From Production to the User, Low Cost IT for Developing Countries).

Oczywiście lista podstawowych podręczników, krajowych i zagranicznych, do studiów inżynierii rolniczej, to co najmniej kilkadziesiąt i innych książek o kilkudziesięciu czasopismach naukowych nie wspominając.

W rzeczywistości kompendium wiedzy technicznej, biologicznej i ekonomicznej pozwala absolwentom studiów o profilu agroinżynieryjnym znaleźć zatrudnienie w miejscach pracy dalece różnych od rolnictwa. Firmy informatyczne, bankowość, prowadzenie salonow samochowych, produkcja syntetycznych związków chemicznych, usługi transportowe, projektowanie urządzeń technicznych, usługi budowlane itd. to dziedziny, gdzie z powodzeniem znajdują zatrudnienie absolwenci techniki rolniczej i leśnej. Listę tych - pozarolniczych - aktywności zawodowych agroinżynierów można znacznie powiększyć. Interdyscyplinarny charakter studiów z pewnością ułatwia znalezienie miejsca pracy, bądź zmianę profilu zawodowego – jeśli już jest taka potrzeba.

Uczelnie nie były do tej pory zobowiązane do śledzenia kariery zawodowej swych absolwentów – wchodząca od 1 X 2011 r. nowa Ustawa o Szkolnictwie Wyższym obowiązek taki wprowadza. W rzeczywistości jednak (nieformalnie) śledzimy losy naszych absolwentów, a liczne kontakty pracowników Uczelni z tzw. „praktyką" były dobrym źródłem informacji o tym, czy przygotowujemy agroinzynierów do pracy właściwie. Wydaje się, przynajmniej w odniesieniu do tych studentów, którzy rzetelnie wypełnili swoje obowiązki studenta i wiedzieli już na progu studiów, co chcą osiągnąć – że zostali przygotowani do pracy zawodowej rzetelnie. Zmiany programów studiów (tak liczne w minionych latach) nadążały za zmianami w profilu zawodowym agroinżyniera, oczekiwanymi we współczesnych technologiach produkcji i przetwórstwa.

Co jakiś czas pojawiają się opracowania, które prezentują prognozy liczby absolwentów w danym profilu zawodowym. Uważam, że przydatność tych prognoz jest znikoma, bo nigdy nie znalazłem potwierdzenia, że znalazły potwierdzenie w praktyce. Zasadnicze znaczenie – moim zdaniem – ma dla kandydata na studia, na danym kierunku, wiedza o zakresie studiów (programach poszczególnych przedmiotów i uzyskiwanych umiejętnościach), a nie biurokratyczne prognozy o możliwościach zatrudnienia. W istocie to absolwent studiów ma swój los w swoich rękach – i znajduje pracę, bądź jej nie znajduje – a prognoza mu w tym, ani nie pomaga, ani nie przeszkadza. Wadą powyższych prognoz jest jednak niczym nie uzasadnione przeświadczenie, że niektóre uczelnie lub wydziały należy ograniczać w naborze studentów, bo ich nazwa (np. rolnictwo…) wskazuje, że absolwenci zatrudnienia nie znajdą. Absolwenci wszystkich rodzajów studiów wyższych, w kraju i za granicą, mają problemy ze znalezieniem zatrudnienia, bo

oferta zatrudnienia jest niewystarczająca. Nie jest to zresztą jedyna przyczyna: biurokratyczne utrudnienia w zakładaniu własnej firmy, negatywne skutki tzw. globalizacji to także przyczyna trudności w podejmowaniu pracy. Jeśli absolwenci wydziałów agroinżynieryjnych z Polski znajdują zatrudnienie – w wyuczonym zawodzie – w krajach zachodniej Europy, czy za oceanem, to znaczy, że studia przygotowały ich do pracy profesjonalnie. Przyczyna trudności w znalezieniu pracy nie leży zatem po stronie Uczelni, tzn. niewłaściwych programów studiów. Dodam jeszcze, jako osoba prowadząca wykłady i cwiczenia z obcokrajowcami (z USA, Turcji, Hiszpanii), że poziom wykształcenia studentów przyjeżdżających do Polski (np. w ramach wymiany ERASMUS) jest porównywalny z poziomem wykształcenia polskich studentów.

Gdyby autor miał sugerować zmiany w organizacji studiów, to ograniczyłbym się do poddania pod rozwagę wprowadzenia państwowego zawodowego egzaminu dyplomowego, przeprowadzonego przez zewnętrzne komisje egzaminacyjne (spoza macierzystej uczelni) z udziałem przedstawicieli zawodowych stowarzyszeń inżynierskich (NOT) i reprezentantów zakładów produkcyjnych i usługowych. Zmiana taka wymaga, oczywiście, dyskusji i – zapewne – odpowiedniej legislacji. Nie będzie tych zmian trudno wprowadzić, jeśli skorzystamy ze wzorów choćby ościennych krajów, gdzie tak właśnie egzaminy inżynierskie są przeprowadzane.

Współczesne badania naukowe inżynierii rolniczej

W tym miejscu przedstawiam główne kierunki badań naukowych, których wyniki prezentowane podczas Kongresów CIGR (Bonn 2006, Quebec 2010), oraz Kongresów CIOSTA-CIGR V (począwszy od 1986 roku – por. tab. 1). We wszystkich tych kongresach uczestniczyłem bądź osobiście, bądź będąc współautorem przedstawionych tam referatów. Moje spostrzeżenia dotyczą tylko badań jakie referowali zagraniczni uczestnicy tych kongresów, przy – niestety – nielicznym na ogół udziale polskich przedstawicieli agroinżynierii.

Omówienie kilkuset referatów, bądź posterów, z każdego kongresu nie jest możliwe, oczywiście, choćby w ujęciu skrótowym. Zresztą jako uczestnik tych Kongresów mogłem wysłuchać tylko wybranych (przez siebie) referatów. Zatem przedstawiony poniżej przegląd w najbardziej z syntetycznych ujęć tj. w punktach – ma z pewnością wszystkie właściwości subiektywnych zainteresowań autora i naturalnych ograniczeń przeczytania ok. 1000 stron choćby tylko streszczeń (*Abstracts*) prezentacji z każdego kongresu, a co dopiero przeczytania wszystkich artykułów.

Tabela 1. Miejsca kongresów i nazwiska Prezydentów CIOSTA

I	1950	Paris (FR)	Jean Piel-Desruisseaux
II	1951	Bad Kreuznach (DE)	Gerhardt Preuschen
III	1952	Brugg (CH)	Oskar Howald
IV	1953	Oxford (UK)	Roger A. Dudman
V	1954	Wageningen (NL)	Hoite Postuma
VI	1955	Helsinki (Fl)	Martti Sipilä
VII	1956	Paris - Royaumont (F)	Jean Piel Desruisseaux
VIII	1957	Bad Kreuznach (DE)	Gerhardt Preuschen
IX	1958	Wien (AT)	Franz Scheruga
X	1960	Lund (SE)	Alrik Oerborn
XI	1962	Seelisberg (CH)	Oskar Howald
XII	1964	Lafayette (USA)/Lausanne (CH)	Wilson H.M. Morris
XIII	1966	Brüssel (BE)	André Maton
XIV	1968	Helsinki (Fl)	Martti Sipilä
XV	1970	Warszawa (PL)	Ryszard Manteuffel
XVI	1972	Wageningen (NL)	Adriaan Moens
XVII	1974	Pesaro (IT)	Giuseppe Pellizzi
XVIII	1976	Gödöllo (HU)	Laszlo Udvari
XIX	1978	Ermatingen (CH)	Paul Faesser
XX	1980	Nîmes (FR)	André Beauvois
XXI	1982	Reading (UK)	Richard R. Menneer
XXII	1986	Stuttgart/Hohenheim (DE)	Theo Bischoff
XXIII	1988	Bled (SLO)	LoisCetina
XXIV	1990	Helsinki (Fl)	Erkki H. Oksanen
XXV	1993	Wageningen (NL)	Roelof Kars Oving
XXVI	1995	Lillehammer (NO)	Arne Hilmersen
XXVII	1997	Kaposvßr (HU)	GyulaSzéles
XXVIII	1999	Horsens (DE)	Villy Nielsen
XXIX	2001	Krakow (PL)	Tadeusz Juliszewski
XXX	2003	Torino (Italy)	Pietro Piccarolo
XXXI	2005	Stuttgart/Hohenheim (DE)	Siegfried Kleisinger
XXXII	2007	Nitra (SK)	Ladislav Nozdrovicky
XXXIII	2009[10]	Reggio Calabria (I)	Gennaro Giametta

[10] Tegoroczna (2011 r.) XXXIV konferencja CIOSTA – CGR V odbędzie się na przełomie czerwca i lipca w Wiedniu.

Po tych zastrzeżeniach prezentuję te kierunki badań w kolejności nie przypadkowej, lecz – jak mi się wydaje - znaczenia tych badań dla praktycznych zastosowań badań agroinżynieryjnych i ilości wygłaszanych referatów:
Bonn, 2006 r.:

1. Racjonalne (oszczędne) gospodarowanie wodą w produkcji i przetwórstwie surowców pochodzenia biologicznego – w tym techniczne i technologiczne aspekty deszczowania i drenowania,
2. Zastosowania technologii informacyjnych (*precision farming, precision livestock, farming, tracebility, image processing, image analysis, field sensing, crop sensing etc*),
3. Technologie produkcji surowców biopaliwowych i ich przetwórstwo w biopaliwa gazowe, ciekłe i stałe,
4. Automatyzacja procesów technologicznych w tym robotyzacja produkcji (zwłaszcza ogrodniczej i zwierzęcej) oraz przetwórstwa,
5. Technologie rolnictwa zrównoważonego,
6. Inżynieria systemów i zarządzania,
7. Ciągniki i maszyny rolnicze (konstrukcja i eksploatacja).

Quebec, 2010 r.:

1. Gospodarowanie wodą (*water management*),
2. Ekologiczne aspekty produkcji i przetwórstwa surowców pochodzenia biologicznego (*ecological engineering*),
3. Technologie informacyjne,
4. Biopaliwa (energetyka rolnicza),
5. Emisja gazowa i metody ich ograniczania, zwłaszcza z farm wielkostadnych,
6. Technologie produkcji zwierzęcej uwzględniające ich (zwierząt) dobrostanu (*animal welfare)* – w tym specyfika budownictwa inwentarskiego,

Gdybym miał dokonać wyboru trzech głównych nurtów badań z ostatnich dwóch kongresów CIGR to zestawiłbym je w następującej kolejności:

1. Technologie informacyjne w rolnictwie,
2. Gospodarowanie wodą,
3. Biopaliwa.

Nawet jeśli ten wybór nie jest precyzyjny, to jest jednoznacznie wymowny: dawne maszynoznawstwo rolnicze i współczesna agroinżynieria łączą wspólne korzenie, lecz ich zakres badawczy i aplikacyjny jest zasadniczo różny.

W tym miejscu chciałbym podkreślić – jako uczestnik - "od zawsze" – środowiskowych konferencji inżynierii rolniczej, organizowanych przez Profesora Rudolfa Michałka w Rytrze, Zawoi i Zakopanem, że prezentowane tam referaty – mniej lub bardziej – nawiązywały do głównych nurtów badawczych inżynierii rolniczej na świecie. Zatem nawet nie uczestnicząc osobiście w zagranicznych kongresach i konferencjach śledzimy (my: inżynierzy rolnictwa) poprzez czasopisma (teraz także Internet) te badania, jakie są aktualne i podążamy za nimi – choć w mniejszym stopniu je inspirując, jak mi się wydaje.

Zwraca uwagę w zakresie badawczym oryginalnośc badań agrofizycznych, które z takim rozmachem i powodzeniem jak w Polsce, nie są prowadzone nigdzie na świecie. Byłem świadkiem referowania tych prac podczas zagranicznych konferencji Europejskiego Stowarzyszenia Inżynierów Rolnictwa (EurAgEng), np. w Luven (Belgia), 2004 – w tym przypadku przez zespół śp. prof. Ryszarda T. Walczaka z Instytutu Agrofizyki w Lublinie – i uznanie jakie wzbudziły prezentowane tam wyniki badań.

Specyfika kongresów CIOSTA (od 1980 roku konferencji CIOSTA-CIGR V) naznaczona była od początku celem jaki wyznaczyli tym naukowym spotkaniom twórcy organizacji: celem tym była – w szerokim ujęciu – naukowa organizacja pracy w rolnictwie. Główne obszary badawcze, prezentowane podczas kongresów obejmowały:

1. Ekonomiczne aspekty produkcji surowców pochodzenia biologicznego i ich przetwórstwa (nakłady robocizny, nakłady energetyczne, koszty produkcji),
2. Planowanie produkcji w kontekście minimalizacji nakładów i maksymalizacji wydajności pracy (od pewnego czasu zintegrowane systemy produkcyjne – *integrated farming* – zorientowane raczej na zagadnienia optymalizacji produkcji, a nie maksymalizację wydajności),
3. Metody zarządzania produkcją,
4. Zastosowania inżynierii systemów w projektowaniu i krytycznej ocenie technologii produkcji rolniczej,
5. Aspekty ergonomiczne (praca kobiet, osób nieletnich, osób niepełnosprawnych, wypadki w rolnictwie i ich prewencja, zagrożenia środowiskowe, obciążenie pracą),
6. Zastosowania technologii informacyjnych w rolnictwie.

Zarówno w kongresach CIGR jak i CIOSTA uczestniczą przedstawiciele krajów z każdego niemal kontynentu: przysłuchiwanie się referatom daje wyobrażenie, jak bardzo różne są problemy agroinżynierii na świecie. Z jednej strony prezentowane są zastosowania wyszukanych metod rolnictwa precyzyjnego, czy zastosowań technologii informacyjnych – krajach, jak się to określa, rozwiniętych – a z drugiej strony niemal prymitywne (z naszego punktu widzenia) usprawnienia w technologiach uprawy egzotycznych dla Europejczyka roślin w Azji, czy Afryce. Doprawdy, dopiero podczas takich spotkań naukowych, można uświadomić sobie, jak bardzo zróżnicowana jest inżynieria rolnicza na świecie – w zakresie badawczym i aplikacyjnym. My, europejczycy, nie mamy często wyobrażenia, jak banalne problemy przychodzi rozwiązywac inżynierom rolnictwa w krajach, gdzie postęp naukowy, techniczny i organizacyjny dopiero nadchodzi – by nawiązać do nazwy dorocznej konferencji organizowanej od kilkunastu lat przez Profesora R. Michałka[11].

[11] Nazwa tych konferencji niezmiennie od lat brzmi: Postęp naukowo-techniczny i organizacyjny w rolnictwie.

Podsumowanie

Inżynieria rolnicza, we współczesnym rozumieniu tej nazwy, zajmuje się technologiami produkcji i przetwórstwa – jak to ujmują CIGR-owskie podręczniki - 7F: tj. *food, feed, feedstock, fertlizer, fibre, fuels, fine chemistry*. Chodzi zatem nie tylko, jak to wciąż często się rozumie, o produkcję i przetwórstwo surowców żywnościowych, ale także o produkcję i przetwórstwo surowców pochodzenia biologicznego (roślinnych i zwierzęcych) o nieżywnościowym przeznaczeniu. Produkcja biologicznych (odtwarzalnych !) surowców nieżywnościowych nabiera coraz większego znaczenia; chodzi tu o surowce budowlane (drewno), biopaliwowe, farmaceutyczne i kosmetyczne (zioła), odzieżowe, nawozowe itd. Dodatkowo ugruntowuje się przekonanie, że produkcja i przetwórstwo tych surowców powinno odbywac się w sposób zrównoważony i obciążający naturalne środowisko możliwie w najmniejszym stopniu (produkcja w technologiach spełniających zalecenia ekologiczne). W tym kierunku zmierzają zmiany programów kształcenia agroinżynierów w Polsce – które są porównywalne z programami kształcenia w innych krajach europejskich. W tym także kierunku zmierzają krajowe prace badawcze, choć w stopniu, w jakim jest to możliwe przy obecnym finansowaniu tych badań. Z perspektywy CIGR i CIOSTA inżynieria rolnicza Polsce jest na poziomie porównywalnym – jeśli mówimy o kształceniu uniwersyteckim i zainteresowaniach naukowych kadry uniwersyteckiej. Praktyczne zastosowania wiedzy absolwentów studiów agroinżynieryjnych i wiedzy tych, którzy tą wiedzę przekazują nie satysfakcjonuje często jednych i drugich – ale to już inny problem, wykraczający poza zakres tego artykułu.

Bibliografia

Haman J. 2002. W stronę bioinżynierii. Inżynieria rolnicza. Nr (38). Kraków.

Book of Abstracts. Word Congress: Agricultural Engineering for a Better World. 2006. Bonn

Book of Abstracts. AgEng 2004 Conference: Engineering the Future. Leuven.

CIGR Handbook of Agricultural Engineering, Vol. I – VI, Edited by: CIGR, Publihed by: American Society of Agricultural Engineers, 1999 (Vol. VI, 2006).

Forum Akademickie. Nr 2/2009. Nr 6/2009, 7-8/2009 i 11/2011.

Proceedings of the XVIIth World Congress of the International Commission of Agricultural and Biosystems Enginneering: Sustainable Biosystems through Engineering. 2010. Québec.

Proceedings CIOSTA – CIGR V Congresses since 1986 (Stuttgart – Hohenheim, 1986, Bled, 1988, Helsinki, 1999, Wageningen, 1993, Lillehamer, 1995, Kaposvar, 1997, Horsens, 1999, Kraków 2001, Turyn, 2003, Stuttgart – Hohenheim, 2005, Nitra, 2007, Reggio di Calabria 2009).

Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, Zeszyt 122, 1972 r. (XVth International Congress of Scientific Work-Organization in Agriculture). PWN. Warszawa.

NOWOCZESNA METODYKA MODELOWANIA I ANALIZY NUMERYCZNEJ ZJAWISK FIZYCZNYCH PODCZAS NAGNIATANIA TOCZNEGO JAKO OPERACJI WYKOŃCZENIOWEJ W PROCESIE REGENERACJI CZĘŚCI MASZYN ROLNICZYCH

Leon Kukiełka, Krzysztof Kukiełka, Radosław Patyk, Katarzyna Szczepanik

Katedra Mechaniki Technicznej i Wytrzymałości Materiałów
Politechnika Koszalińska
e-mail: leon.kukielka@tu.koszalin.pl

Wprowadzenie

Trwałość i niezawodność części silników i maszyn rolniczych, szczególności silnie obciążonych w procesie eksploatacji, na przykład części silników ciągnikowych takie jak: wały korbowe, wały rozrządu, tłoki i tuleje cylindrowe, istotnie zależą od jakości technologicznej warstwy wierzchniej. Niewłaściwie ukształtowana warstwa wierzchnia jest przyczyną 80% awarii części współczesnych maszyn oraz zużycia 50% energii na tarcie [Kuk 1994, Kuk 2002].

Tradycyjne metody obróbki ubytkowej przygotowania powierzchni (toczenie, szlifowanie, honowanie) nie zapewniają otrzymywania warstwy wierzchniej o wymaganych właściwościach. Zarys powierzchni jest stochastyczny a jej udział nośny liniowy jest niewielki (według parametru G_{20}<0,5).

Jednym z najważniejszych problemów współczesnych technik wytwarzania i regeneracji jest uzyskiwanie odpowiedniej jakości wytwarzanych lub regenerowanych części przy jednoczesnej minimalizacji kosztów, wzroście wydajności procesów oraz malej energochłonności. Taki stan wymusza poszukiwanie nowych metod regeneracji (wytwarzania), wydajnych, energooszczędnych i ekologicznych, które zapewniają uzyskiwanie wymaganej, w danych warunkach eksploatacji, jakości części.

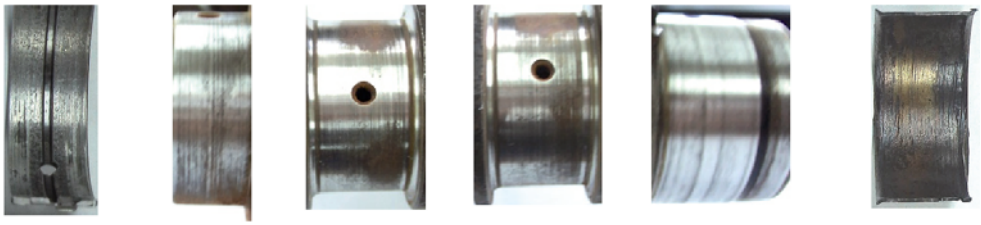
W niniejszej pracy zaproponowano nową technologię kształtowania warstwy wierzchniej w procesie regeneracji części maszyn rolniczych, silnie obciążonych,

pracujących w trudnych warunkach oraz części silników ciągnikowych, takich jak czopy wałów korbowych i rozrządu oraz ich panewek. Polega ona na dwuetapowej obróbce plastycznej powierzchni. W etapie pierwszym wygniata się regularne nierówności (pierścieniowe lub tworzące linię śrubową) a następnie (etap drugi) powierzchnię wygładza się tworząc zarys płasko-wierzchołkowy.

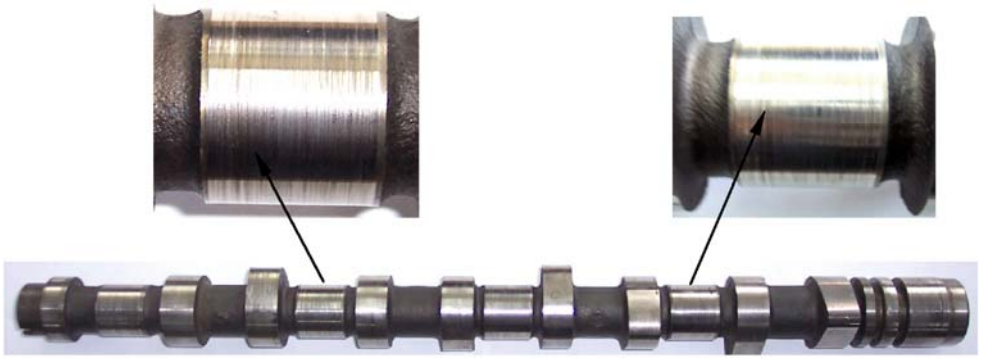
Możliwości regeneracji (wytwarzania) części o dużej odporności na zmęczenie, zacieranie i zużycie przy wykorzystaniu metody nagniatania powinno przyczynić się do szerszego jej zastosowania w krajowym przemyśle rolniczym w produkcji i regeneracji części tworzących skojarzenia ślizgowe takie jak: czop wału – panewka, tłok – cylinder, trzonek zaworu – prowadnica, a także i innych części maszyn rolniczych eksploatowanych w trudnych warunkach.

Przykłady części ulegających przedwczesnemu zużyciu

Na rysunku 1 pokazano zużyte panewki i czopy wału korbowego silnika z widocznymi miejscami zużycia ściernego liniowego, głównie w miejscach podawania oleju, natomiast na rysunku 2 – wał rozrządu ze zużytymi czopami.



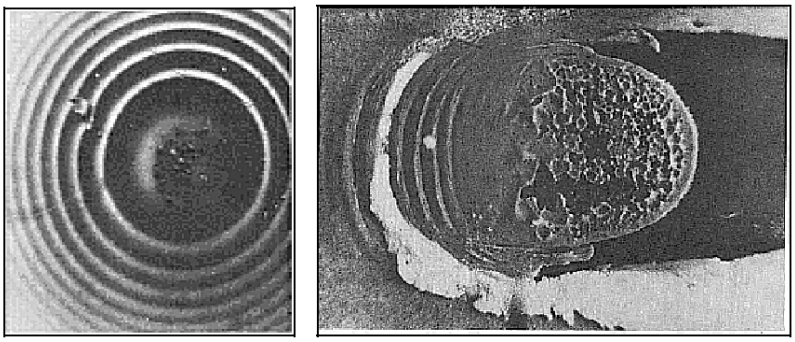
Rys. 1. Czopy wału korbowego z widocznymi śladami zużycia oraz zużyte panewki współpracujące



Rys. 2. Wał rozrządu ze zużytymi czopami

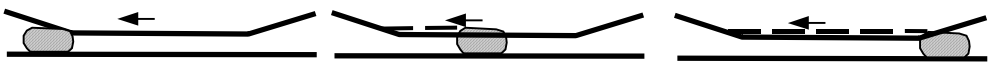
Analiza zużywania się par kinematycznych smarowanych olejem

Dotychczas twierdzono, że trwałość części można zwiększyć, jeżeli zmniejszy się chropowatość powierzchni współpracujących - tworzących pary kinematyczne. Tradycyjne metody obróbki polegające na dokładnym szlifowaniu i polerowaniu (wały) oraz honowaniu (otwory - tuleje, panewki) zapewniają uzyskiwanie bardzo gładkich powierzchni (R_a<0,1 μm). Okazuje się jednak, że rzeczywista trwałość par kinematycznych jest niższa od założonej. Przyczyną tego zużywania się jest skrawanie powierzchni współpracujących przez drobne cząstki stałe wytrącające się w oleju smarnym. Cząsteczki te nie są zatrzymywane przez system filtrów w ciągniku i są transportowane w magistrali olejowej. Jeżeli taka cząstka dostanie się pomiędzy dwie części dociskane do siebie siłą normalną np. czop - panewka, następuje jej deformacja, a więc i umocnienie. Przy dużych naciskach umocnienie cząsteczki (objawiające się wzrostem naprężeń) jest na tyle duże, że jest ona w stanie trwałe odkształcić tę część pary kinematycznej, która ma mniejszą twardość. Ponieważ części tworzące parę kinematyczną są we względnym ruchu – obracają się, odkształcona cząsteczka skrawa powierzchnię (rys. 3). Następuje systematyczne zużywanie się połączenia aż do wystąpienia awarii.



Rys. 3. Odkształcanie części przez cząsteczkę wytrąconą z oleju (a) oraz skrawanie części (b)

Na rysunku 4 przedstawiono schematycznie proces zużywania się części tworzących parę kinematyczną przez trzecie ciało – stałe cząsteczki wytrącone z oleju silnikowego. Mechanizm ten został opracowany w ramach pracy habilitacyjnej [Mat 1978].

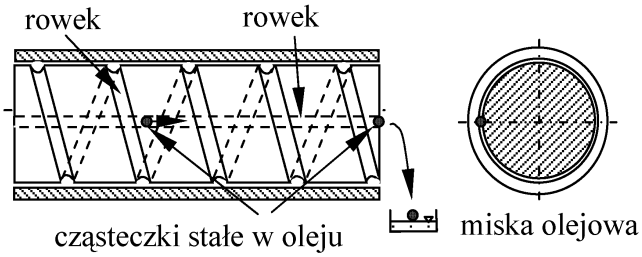


Źródło: [Mat 1978]

Rys. 4. Schemat powstawania zużycia ściernego pary kinematycznej spowodowanego cząsteczkami stałymi w oleju: a – ściskanie cząsteczki, b – początkowa faza skrawania, c – faza końcowa skrawania

Proponowana technologia regeneracji części

Proponuje się, aby powierzchnie współpracujące, tworzące parę kinematyczną, posiadały zarys płasko-wierzchołkowy tzw. plateau. Zarys taki tworzą nierówności o płaskich wierzchołkach rozdzielone szczelinami. W szczelinach tych gromadzą się cząsteczki stałe oleju, natomiast płaskie wierzchołki nierówności przenoszą obciążenia – naciski. Jeżeli wgłębienia na czopie tworzą linię śrubową, a wgłębienia w panewce wykonane są wzdłuż jej tworzącej, wówczas obrót wału powoduje transportowanie cząsteczek poza strefę kontaktu (rys. 5).

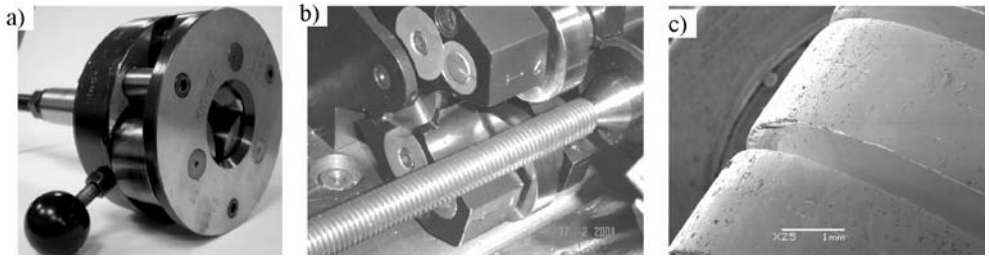


Rys. 5. Proponowany zarys plateau z widoczną linią śrubową

Kształtowanie zarysu plateau metodą nagniatania przebiega w dwóch operacjach. W operacji pierwszej, na powierzchni czopa, głowicami specjalnymi (rys. 6) wygniata się regularne wgłębienia tworzące pierścienie lub linię śrubową o wymaganym skoku.

Rys. 6. Widok głowicy do wygniatania regularnych nierówności (a i b)
oraz zarysy nierówności po pierwszej operacji (c-e)

W operacji drugiej nierówności te nagniata się wygładzająco krążkami walcowymi nadając pożądany kształt wierzchołkom oraz końcowy wymiar części. Widok końcowy zarysu nierówności po nagniataniu przedstawia rysunek 7.



Rys. 7. Widok ogólny głowic nagniatania gładkościowego metodą osiową (a) i styczną (b) oraz widok powierzchni po nagniataniu wygładzającym (c)

Cel pracy

Celem pracy jest propozycja nowej metody regeneracji części silników ciągnikowych i maszyn rolniczych pracujących w trudnych warunkach eksploatacyjnych oraz przedstawienie podstaw teoretycznych procesu nagniatania jako operacji wykończeniowej, pozwalających analizować zjawiska fizyczne tj. pola temperatur oraz stany naprężeń i odkształceń występujących w warstwie wierzchniej części regenerowanych w dowolnej chwili realizacji procesu. Jest to niezbędne do projektowania i sterowania procesem nagniatania.

Zalety nagniatania powierzchni

Powierzchniowa obróbka nagniataniem jest jedną z metod obróbki wykończeniowej metali i ich stopów oraz spieków [Fic 1983; Kuk 1994; Przybylski 1987], polegającą na wykorzystaniu miejscowego odkształcenia, zachodzącego w warstwie wierzchniej przedmiotu, wskutek określonego działania twardego i gładkiego elementu nagniatającego w kształcie kulki, krążka lub rolki na nierówności powierzchni obrabianej. Nagniataniu poddawane są m.in. wałki, tuleje, części płaskie, a także powierzchnie stożkowe, kształtowe, boczne wielowypustów oraz koła zębate. Częściom nagniatanym stawiane są wysokie wymagania co do jakości technologicznej, to jest dokładności wymiarowo-kształtowej, jakości materiału, stanu powierzchni i stanu stref warstwy wierzchniej.

Obróbka powierzchniowa nagniataniem z elektrokontaktowym nagrzewaniem jest jedną z metod obróbki wykańczającej metali, ich stopów oraz spieków. Polega ona na wykorzystywaniu miejscowego odkształcenia i ruchu ciepła, które zachodzą w warstwie wierzchniej przedmiotu, wskutek określonego kinetycznego i cieplnego działania twardego i gładkiego elementu nagniatającego w kształcie kulki, krążka, rolki lub koła zębatego na nierówności powierzchni obrabianej [Przybylski 1978].

Nagniatanie z prądem powoduje podobne wygładzenie powierzchni jak nagniatanie bez prądu, lecz określony stan przemieszczenia materiału nierówności zachodzi przy znacznie mniejszej wartości siły nagniatania. Spowodowane jest to tym, że towarzysząca nagniataniu z prądem wysoka temperatura powoduje obniżenie granicy plastyczności materiału. Zatem odkształcenie materiału zachodzi przy mniejszych naciskach powierzchniowych.

Sposób nagniatania z prądem jest bardzo wygodny do stosowania w praktyce. Nagrzewnie materiału zachodzi głównie na skutek przepływu prądu elektrycznego o niskim i bezpiecznym dla obsługi napięciu (U=1,5÷5V) oraz natężeniu, którego wartość zależy od pożądanych efektów nagniatania i wynosi od 50 do 1000 A. Choć moc prądu elektrycznego jest niewielka (od 75 W do 5 kW), to wynika z silnego skoncentrowania impulsu cieplnego w obszarze kontaktu, następuje znaczny wzrost temperatury nawet do 1200ºC. Ten wzrost temperatury jest krótkotrwały i z chwilą utraty kontaktu gwałtownie znika. Głównie w wyniku odprowadzania ciepła poprzez czynnik chłodząco-smarujący oraz warstwy sąsiednie i rdzeń przedmiotu [Fic 1983, Kukiełka 1994].

Lokalny i chwilowy wzrost temperatury, pozwala osiągnąć zamierzony efekt obróbki i nie powoduje odkształceń cieplnych całego przedmiotu, co jest szczególnie ważne w przypadku regeneracji części oraz obróbki części o małej sztywności plastycznej, takich jak blachy, rury cienkościenne i pręty. Możliwości sterowania strukturą materiału i budową stref WW wyrobu w procesie nagniatania z prądem są większe niż w przypadku nagniatania na zimno, gdyż obok oddziaływań mechanicznych występują dodatkowo oddziaływania cieplne. Występujące w procesie nagniatania z prądem zjawiska cieplne o dużej intensywności powodują przemiany fazowe. Powstający martenzyt drobnoiglasty z wtrąceniami rozdrobnionego cementytu i austenitu szczątkowego powoduje, że mikrotwardość jest bardzo wysoka i wynosi nawet 8 GPa [Fic 1983; Kukiełka 1994].

Dotychczas proces nagniatania opisywany był za pomocą równań regresji [Fic 1983; Kukiełka 1994; Przybylski 1978], najczęściej z pominięciem chropowatości powierzchni pod nagniatanie. Równania te chociaż otrzymane prawidłowo mają ograniczone zastosowanie do identycznych (jak podczas badań) warunków obróbki. Również niemożliwe jest uzyskanie założonych, wysokich wymagań odnośnie kształtowanej warstwy wierzchniej. Niedoskonałości te można wyeliminować zwiększając dokładność modelowania i analizy procesu obróbki. Złożoność zachodzących zjawisk fizycznych oraz potrójna (geometryczna, fizyczna i cieplna) nieliniowość procesu, przy częściowej znajomości warunków brzegowych, wymaga zastosowania adekwatnego opisu przyrostowego. Opisem takim jest uaktualniony opis Lagrange'a, w którym wszystkie poszukiwane wielkości na kroku przyrostowym odnoszone są do konfiguracji znanej, określonej na kroku poprzednim [Kleiber 1981]. W opisie Lagrange'a opracowano przyrostowy, dyna-

miczny model procesu nagniatania oraz określono warunki jednoznaczności, przy założeniu, że przedmiot obrabiany wykonany jest z materiału sprężysto/termolepko-plastycznego z nieliniowym wzmocnieniem mieszanym [Kukiełka i in. 1997]. Zbytnia złożoność modelu powoduje, że niemożliwe jest jego rozwiązanie analityczne. Możliwe jest natomiast rozwiązanie przybliżone na drodze numerycznej. W tym celu w niniejszej pracy do wyprowadzenia przyrostowego równania ruchu zastosowano metody wariacyjne. Równania te są nieliniowe i uwikłane, a ich rozwikłania dokonuje się dyskretyzację za pomocą metody elementów skończonych. Otrzymane układ równań dyskretnych, po aproksymacji jedną ze znanych w mechanice nieliniowej metod, rozwiązuje się iteracyjnie.

Model fizyczny procesu nagniatania z prądem

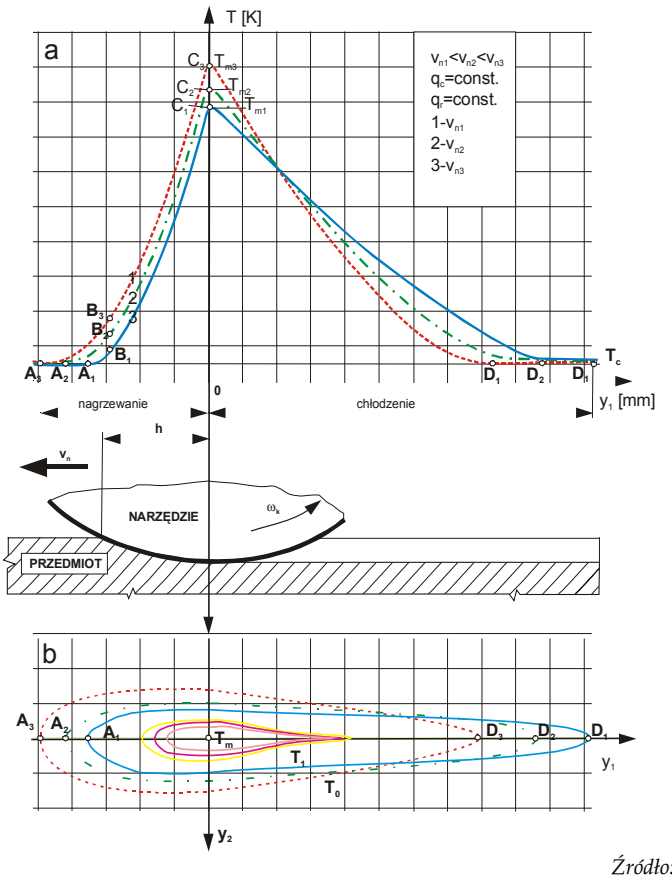
Powierzchniowe nagniatanie toczne z prądem traktuje się jako proces toczenia się z poślizgiem ciała obrotowego o dużej sztywności (narzędzie), po drugim ciele odkształcalnym (przedmiot) (rys. 9).

Najistotniejszymi procesami wpływającymi na konstytuowanie wyrobu o wymaganej jakości technologicznej są odkształcenie i prędkość odkształcenia oraz przebieg zjawisk cieplnych i rozkład pól temperatur w obiekcie (przedmiot-narzędzie).

Model cieplny procesu nagniatania

Zjawiska cieplne

Podczas nagniatania można wyróżnić cztery stadia zmienności pola cieplnego, a mianowicie: jego narastanie, prawie stabilizacja wyrównywanie i obniżanie. Narastanie pola ciepła zachodzi w początkowej fazie nagniatania, z chwilą rozpoczęcia działania źródeł. Natomiast obniżenie pola ciepła następuje w fazie końcowej, z chwilą ustąpienia tych źródeł. W fazach początkowej i końcowej pole cieplne jest nieustabilizowane. Dla celów praktycznych można założyć, że pole temperatury jest quasi-stacjonarne, gdyż okresy niestabilności są krótkie a warunki chłodzenia dobiera się tak, aby uzyskać ustabilizowane pole temperatury. Wówczas w dowolnym położeniu narzędzia, rozkład temperatury w warstwie wierzchniej charakteryzuje się obecnością wydłużonych izoterm (rys. 8). W cyklu cieplnym można wtedy wyróżnić dwa okresy nagrzewania i chłodzenia.



Źródło: [Kukiełka 1994]

Rys. 8. Prawie ustalony cykl cieplny w ciele masywnym zachodzący podczas nagniatania z różnymi prędkościami vn i stałej szybkości chłodzenia: a) rozkład temperatury w warstwie wierzchniej przedmiotu na kierunku wektora prędkości nagniatania, b) rozkład izoterm

Rozkładem pól temperatur w poszczególnych okresach steruje się za pomocą warunków nagniatania. Rozkład temperatury w fazie nagrzewania zależy od rodzaju materiału i jego historii, rodzajów występujących źródeł ciepła i ich mocy oraz prędkości nagniatania, natomiast rozkład temperatury w fazie chłodzenia zależy dodatkowo od szybkości chłodzenia i temperatury czynnika chłodzącego. Wzrost temperatury przed narzędziem (odcinek A_iB_i) jest wynikiem przewodności cieplnej materiału. Na drodze h, równej wysokości obszaru kontaktu, w wyniku występowania lokalnych, szybkobieżnych źródeł ciepła, następuje gwałtowny wzrost temperatury (odcinek B_iC_i). W krótkim okresie czasu, który zależnie od prędkości nagniatania wynosi od 10^{-4} do 10^{-2} s, wzrost temperatury następuje

jedynie w niewielkiej objętości warstwy wierzchniej. Ze względu na czas trwania procesu nagrzewania można go rozpatrywać jako proces adiabatyczny. Zmniejszenie temperatury w nagrzewanej objętości WW w wyniku przewodzenia ciepła przez warstwy sąsiednie jest pomijalnie mały, gdyż czas niezbędny na wyrównanie temperatury jest rzędu sekund. Za narzędziem następuje obniżanie się temperatury (odcinek C_iD_i) w wyniku chłodzenia zewnętrznego (przez powietrze lub ciecz) i wyrównywanie temperatury, tj. przewodzenia ciepła od nagrzanego lokalnie materiału do wnętrza przedmiotu i warstw sąsiednich. Wzrost prędkości nagniatania, przy stałej mocy źródeł ciepła i stałej szybkości chłodzenia, powoduje wydłużenie izoterm wzdłuż osi y_1 (na kierunku prędkości nagniatania), przy tym wyprzedzenie źródła przez pole cieplne (odcinek A_iB_i) maleje. Następuje również zwiększenie izoterm na kierunku prostopadłym (rys. 8).

Opis źródeł ciepła

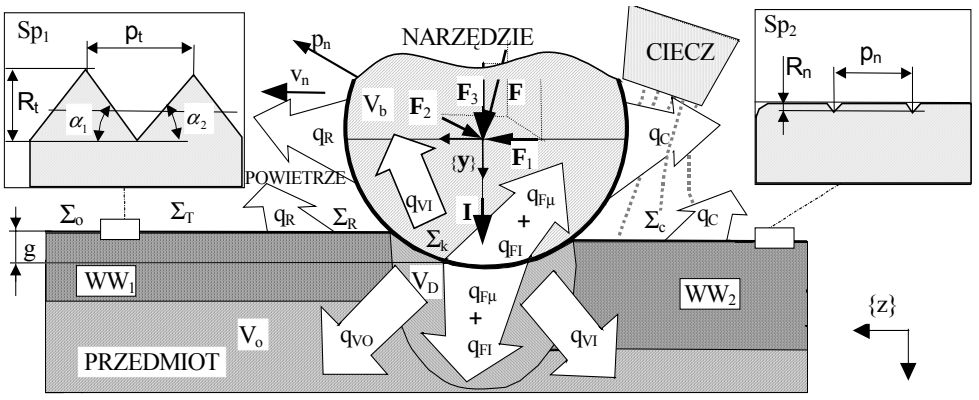
Nagniatanie z elektrokontaktowym nagrzewaniem prowadzi się przy użyciu skupionych, szybkobieżnych źródeł ciepła, które przemieszczają się wraz z narzędziem. Źródła te, w zależności od miejsca ich występowania, dzieli się na płaskie i przestrzenne (rys. 9). Źródła płaskie o wydajnościach $q_{F\mu}$ (w wyniku tarcia narzędzie-przedmiot) i q_{FI} (w wyniku przepływu prądu elektrycznego przez strefę o elektrycznej oporności kontaktowej R_S), występują w obszarze kontaktu Σ_k narzędzia z przedmiotem. Źródło przestrzenne o wydajności q_{VO} występuje w strefie odkształceń plastycznych materiału, natomiast źródła o wydajności q_{VI} występują w objętościach narzędzia i przedmiotu przez które przepływa prąd elektryczny.

Kinematyka procesu zależy od typu części nagniatanej i jej wielkości oraz od konstrukcji układu obróbkowego [Kukiełka1994]. Najczęściej nagniataniu poddawane są części płaskie lub części obrotowe – tuleje lub wałki. Narzędzie obraca się ze stałą prędkością kątową ω_n, dokoła osi y_2, wynikającą z konieczności zapewnienia wymaganej prędkości nagniatania v_n . Ponadto, podczas nagniatania części obrotowych element nagniatający przemieszcza się wzdłuż osi przedmiotu z prędkością posuwową $p_n n_n$. Podczas nagniatania części płaskich narzędzie przemieszcza się na kierunku głównego ruchu posuwowego z prędkością v_n oraz okresowo, na kierunku do niego prostopadłym, z prędkością posuwową $p_{sn} n_{sn}$.

Obrót elementu nagniatającego może być wymuszony momentem $M^{(n)}$ przyłożonym do jego osi (wymuszenie czynne) lub momentem pochodzącym od składowych F_1 i F_3 siły nagniatania (wymuszenie bierne). Obrót tulei lub wałka, ze stałą prędkością ω_p, jest wymuszany momentem $M^{(P)}$ przyłożonym do jednej osi. Obciążenie obiektu powyższymi siłami i momentami powoduje, że na powierzchni kontaktu narzędzia z przedmiotem Σ_k występują jednostkowe siły nacisku i tarcia.

Przyjmuje się, że element nagniatający jest ciałem idealnie sztywnym (moduł Younga $E \rightarrow \infty$), lub ciałem o dużej sztywności, które odkształca się sprężyście.

Kontakt ciał narzędzie–przedmiot może być bezpośredni (nagniatanie bez smarowania) lub poprzez warstwę o innych właściwościach fizycznych (nagniatanie ze smarowaniem).



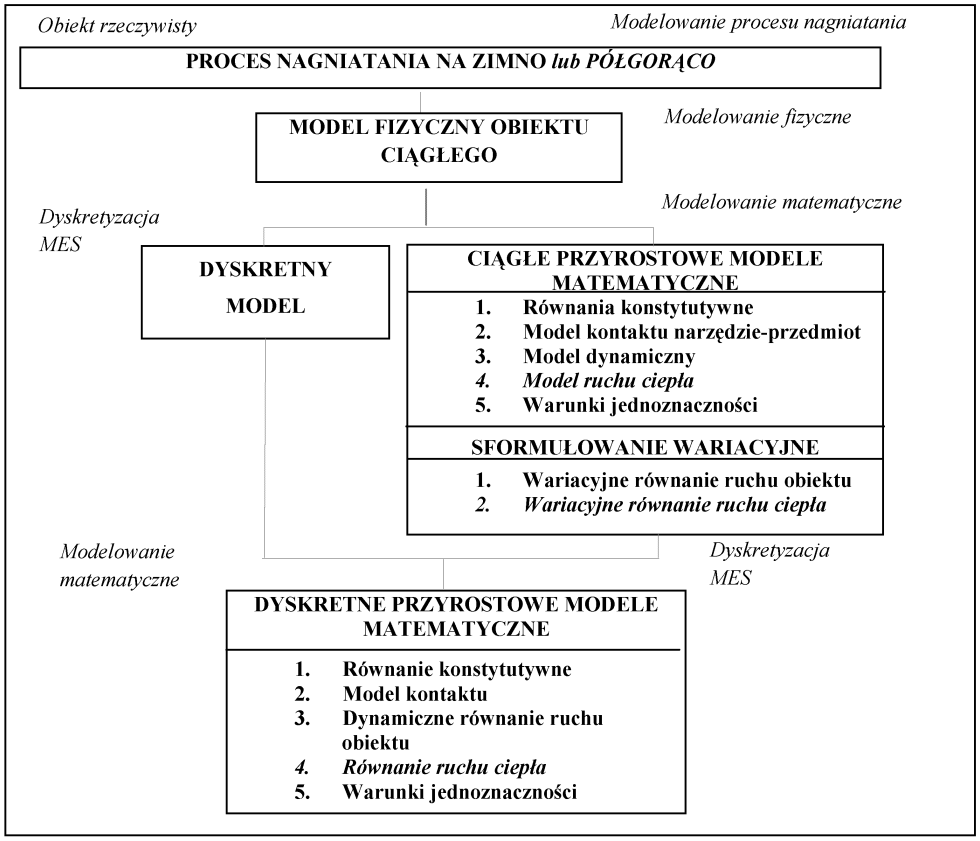
Źródło: [Kukiełka 1994]

Rys. 9. Schemat nagniatania tocznego z elektrokontaktowym nagrzewaniem i układ strumieni cieplnych podczas obróbki: Fi – składowe siły nagniatania F, pn – posuw nagniatania, vn – prędkość nagniatania, I – natężenie prądu elektrycznego, WW1, WW2 – warstwa wierzchnia po obróbce poprzedzającej i po nagniataniu

Algorytm modelowania i analizy procesu nagniatania

Modelowanie nieliniowego obiektu rzeczywistego przy zastosowaniu metod wariacyjnych i elementów skończonych przebiega w czterech następujących etapach (rys. 10):

1. Modelowanie fizyczne obiektu rzeczywistego, w wyniku którego otrzymuje się model fizyczny procesu nagniatania.
2. Modelowanie matematyczne modelu fizycznego, w wyniku którego otrzymuje się ciągłe, przyrostowe modele matematyczne, to jest: równania konstytutywne, model kontaktu narzędzie-przedmiot, model dynamiczny, model przepływu ciepła i warunki jednoznaczności. W wyniku sformułowania wariacyjnego otrzymuje się ponadto dynamiczne równanie ruchu i równanie przepływu ciepła.
3. Dyskretyzacja obiektu elementami skończonymi, w wyniku którego otrzymuje się dyskretny model fizyczny.
4. Dyskretyzacja modelu matematycznego za pomocą metody elementów skończonych lub modelowanie matematyczne dyskretnego modelu fizycznego, w wyniku których otrzymuje się dyskretne, przyrostowe modele matematyczne modelu fizycznego.



Rys. 10. Schemat modelowania procesu nagniatania (kursywą zaznaczono modele dotyczące jedynie nagniatania na półgoràco)

Sformułowanie wariacyjne przyrostowego równania ruchu

Element nagniatający traktowany jest jako ciało sprężyste o dużej sztywności, natomiast przedmiot traktuje się jako ciało, w którym mogą wystąpić odkształcenia sprężyste (E) i termo-lepko-plastyczne (TVP). Ciało to (skrót: E/TVP) charakteryzowane jest izotropowym, kinetycznym lub mieszanym (izotropowo-kinetycznym) modelem wzmocnienia. Rozważany będzie przypadek wzmocnienia mieszanego, gdyż wyprowadzone równania mają ogólną postać i mogą być następnie wykorzystane do otrzymywania rozwiązań szczególnych dla materiałów charakteryzowanych izotropowym lub kinetycznym modelem wzmocnienia. Są to fizycznie, geometrycznie i cieplnie nieliniowe problemy dynamiki ciała E/TVP. Jak już wspomniano, w takich przypadkach konieczne jest zastosowanie

opisu przyrostowego. Rozpatrywane więc będą przyrostowe, przestrzenne problemy brzegowo-początkowe w dynamice kontinuum opisane układem równań i warunków początkowych i brzegowych.

Jak wiadomo [Kleiber 1989] sformułowanie wariacyjne problemu brzegowo-początkowego polega na doborze pewnego funkcjonału. Zależnie od typu przyjętego funkcjonału, tzn. od liczby występujących w nim niezależnych pól, nałożonych warunków ciągłości oraz sposobu uwzględnienia warunków brzegowych można otrzymać różne zasady wariacyjne typu mieszano-hybrydowego. W rozważanym w niniejszej pracy przypadku ograniczono się do funkcjonałów, w których występuje tylko jedno niezależne pole, a mianowicie pole przyrostu przemieszczeń. Analizą objęto stany przestrzenne (3D). Do wyprowadzenia równań, ze względu na przejrzystą postać zapisu, zastosowano notację wskaźnikową.

W sposobie postępowania stosuje się zasadę wariacyjną, która pochodzi ze znanego równania Lagrange'a [Kle1989], zmodyfikowanego tutaj w ten sposób, że wartość stacjonarna jest poszukiwana dla funkcjonału przyrostowego $J[{}_t^{\tau}\Delta u_i]$, określonego całką względem czasu:

$$J[{}_t^{\tau}\Delta u_i] = \int_{t_p}^{t_k} {}_t^{\tau}\Delta E_C \, dt, \tag{1}$$

gdzie

${}_t^{\tau}\Delta u_i$ jest przyrostem wektora przemieszczeń, ${}_t^{\tau}\Delta E_C$ jest przyrostem całkowitej energii obiektu i w przypadku ogólnym ma postać:

$${}_t^{\tau}\Delta E_C = {}_t^{\tau}\Delta U - {}_t^{\tau}\Delta E_k + {}_t^{\tau}\Delta E_d = {}_t^{\tau}\Delta L + {}_t^{\tau}\Delta E_d + {}_t^{\tau}\Delta E_f = {}_t^{\tau}\Delta E_d - {}_t^{\tau}\Delta E_k + {}_t^{\tau}\Delta E_f + {}_t^{\tau}\Delta E_0 + {}_t^{\tau}\Delta E_p, \tag{2}$$

gdzie:

${}_t^{\tau}\Delta E_k$ - przyrost energii kinetycznej poruszającego się obiektu,

${}_t^{\tau}\Delta U = {}_t^{\tau}\Delta E_f + {}_t^{\tau}\Delta E_0 + {}_t^{\tau}\Delta E_p$ - przyrost całkowitej energii potencjalnej obiektu,

${}_t^{\tau}\Delta E_d$ - przyrost energii dysypacji (rozpraszania),

${}_t^{\tau}\Delta E_f$, ${}_t^{\tau}\Delta E_0$, ${}_t^{\tau}\Delta E_p$ - przyrost odpowiednio, energii potencjalnej sił masowych (indeks f), odkształcenia (o) i obciążeń powierzchniowych (p),

${}_t^{\tau}\Delta L = {}_t^{\tau}\Delta E_k + {}_t^{\tau}\Delta E_0 + {}_t^{\tau}\Delta E_p$ - przyrost tzw. funkcji Lagrange'a.

Podstawowym twierdzeniem do wariacyjnego sformułowania równań ruchu w liniowej dynamice jest zasada Hamiltona [Kle 1989], natomiast w fizycznie i geometrycznie nieliniowej dynamice - przyrostowa wersja tej zasady. Według tej wersji twierdzi się, że wśród wszystkich dopuszczalnych pól przyrostu przemieszczeń ${}_t^{\tau}\Delta u_i(z,\tau)$ spełniających dane kinematyczne warunki brzegowe (tj. dla przyrostu przemieszczeń) oraz przyjmujących dane warunki w chwilach $\tau = t_p$

i $\tau = t_k$, rzeczywiste pole przemieszczeń czyni stacjonarnym funkcjonał zdefiniowany wzorem (1). Wówczas:

$$\delta(J[{}_t^{\tau}\Delta u_i]) = \frac{\partial J[{}_t^{\tau}\Delta u_i]}{\partial({}_t^{\tau}\Delta u_i)}\delta({}_t^{\tau}\Delta u_i) = 0, \tag{3}$$

gdzie wariacja δ obliczana jest względem przyrostu przemieszczenia ${}_t^{\tau}\Delta u_i(z,\tau)$. O wariacjach $\delta({}_t^{\tau}\Delta u_i)$ zakłada się, że znikają na części powierzchni granicznej $\Sigma_{\Delta u}$, gdzie zadane są przyrosty przemieszczenia. Stąd też całka powierzchniowa może być rozpostarta na $\Sigma - \Sigma_{\Delta u}$ zamiast na całej Σ.

Warunek (3) jest ogólnym warunkiem koniecznym stacjonarności funkcjonału przyrostowego dla nieliniowych zagadnień dynamicznych i jest słuszny dla dowolnie przyjętego opisu procesu deformacji oraz dla dowolnych ośrodków ciągłych. Postacie szczególne tego warunku otrzymuje się przez zastosowanie:

a) odpowiedniego opisu deformacji,

b) odpowiednich równań konstytutywnych wiążących przyrosty naprężenia i przyrosty odkształcenia,

c) adekwatnych miar opisu stanu przyrostu odkształcenia i przyrostu naprężenia.

Warunek (3) wykorzystano do sformułowania równania ruchu dla omawianych tutaj zagadnień fizycznie i geometrycznie nieliniowej termodynamiki obrotowego ciała E/TVP ze wzmocnieniem mieszanym otrzymując:

$$\begin{aligned}
&\delta(J[{}_t^{\tau}\Delta u_i]) = \delta[\int_{t_p}^{t_k}(-\frac{1}{2}\int_{{}^tV}{}^t\rho\cdot{}_t^{\tau}\Delta\dot{u}_i\cdot{}_t^{\tau}\Delta\dot{u}_i\cdot{}^tdV - \int_{{}^tV}{}^t\rho\cdot{}_t^{t}\Delta\dot{u}_i\cdot{}_t^{t}\Delta\dot{u}_i\cdot{}^tdV - \frac{1}{2}\omega^2\int_{{}^tV}{}^t\rho\cdot{}_t^{\tau}\Delta u_i\cdot\Omega_{ij}\cdot\Omega_{ij}\cdot{}_t^{\tau}\Delta u_i\cdot{}^tdV\\
&-\omega^2\int_{{}^tV}{}^t\rho\cdot{}_t^{\tau}\Delta u_i\cdot\Omega_{ij}\cdot\Omega_{ij}\cdot{}^0r_i\cdot{}^tdV - \omega\int_{{}^tV}{}^t\rho\cdot{}_t^{\tau}\Delta\dot{u}_i\cdot\Omega_{ij}\cdot{}^0r_j\cdot{}^tdV - \omega\int_{{}^tV}{}^t\rho\cdot{}_t^{t}\Delta\dot{u}_i\cdot\Omega_{ij}\cdot{}_t^{\tau}\Delta u_j\cdot{}^tdV +\\
&-\omega^2\int_{{}^tV}{}^t\rho\cdot{}_t^{t}u_i\cdot\Omega_{ij}\cdot\Omega_{ij}\cdot{}_t^{\tau}\Delta u_i\cdot{}^tdV - \omega\int_{{}^tV}{}^t\rho\cdot{}_t^{t}\dot{u}_i\cdot\Omega_{ij}\cdot{}_t^{\tau}\Delta u_j\cdot{}^tdV - \omega\int_{{}^tV}{}^t\rho\cdot{}_t^{\tau}\Delta\dot{u}_i\cdot\Omega_{ij}\cdot{}_t^{t}u_j\cdot{}^tdV\\
&+\alpha_0\int_{{}^tV}{}^t\rho\cdot{}_t^{\tau}\Delta\dot{u}_i\cdot{}_t^{\tau}\Delta u_i\cdot{}^tdV + \alpha_0\int_{{}^tV}{}^t\rho\cdot{}_t^{\tau}\Delta\dot{u}_i\cdot{}_t^{t}u_i\cdot{}^tdV + \alpha_0\int_{{}^tV}{}^t\rho\cdot{}^t\dot{u}_i\cdot{}_t^{\tau}\Delta u_i\cdot{}^tdV +\\
&+\frac{1}{2}\alpha_1\int_{{}^tV}{}_t^{\tau}C_{ijkl}^{(E)}\cdot{}_t^{\tau}\Delta\dot{E}_{ij}\cdot{}_t^{\tau}\Delta E_{kl}\cdot{}^tdV + \frac{1}{2}\alpha_1\int_{{}^tV}{}_t^{\tau}C_{ijkl}^{(E)}\cdot{}_t^{\tau}\Delta\dot{E}_{ij}\cdot{}_t^{t}E_{kl}\cdot{}^tdV + \frac{1}{2}\alpha_1\int_{{}^tV}{}_t^{\tau}C_{ijkl}^{(E)}\cdot{}_t^{t}\dot{E}_{ij}\cdot{}_t^{\tau}\Delta E_{kl}\cdot{}^tdV\\
&+\frac{1}{2}\int_{{}^tV}{}_t^{\tau}C_{ijkl}^{(E)*}\cdot{}_t^{\tau}\Delta\dot{E}_{ij}\cdot{}_t^{\tau}\Delta E_{kl}\cdot{}^tdV + \frac{1}{2}\int_{{}^tV}({}_t^{t}T_{ij}+{}_t^{\tau}\Delta\sigma_{ij}^{**})\,{}_t^{\tau}\Delta E_{ij}\cdot{}^tdV + \frac{1}{2}\int_{{}^tV}{}_t^{\tau}\Delta\sigma_{ij}^{*}\cdot{}_t^{t}E_{ij}\cdot{}^tdV +\\
&-\int_{{}^tV}{}^t\rho\cdot{}_t^{t}f_i\cdot{}_t^{\tau}\Delta u_i\cdot{}^tdV - \int_{{}^tV}{}^t\rho\cdot{}_t^{t}\Delta f_i\cdot{}_t^{t}u_i\cdot{}^tdV - \int_{{}^tV}{}^t\rho\cdot{}_t^{\tau}\Delta f_i\cdot{}_t^{\tau}\Delta u_i\cdot{}^tdV - \int_{{}^t\Sigma_k}{}_t^{t}\hat{p}_i\cdot{}_t^{\tau}\Delta u_i\cdot{}^tdV_k - \int_{{}^t\Sigma_k}{}_t^{\tau}\Delta\hat{p}_i\cdot{}_t^{t}u_i\cdot{}^tdV_k\\
&-\int_{{}^t\Sigma_k}{}_t^{\tau}\Delta\hat{p}_i\cdot{}_t^{\tau}\Delta u_i\cdot{}^tdV_k - \int_{{}^t\Sigma_\sigma}{}_t^{t}\underline{t}_i\cdot{}_t^{\tau}\Delta u_i\cdot{}^tdV_\sigma - \int_{{}^t\Sigma_\sigma}{}_t^{\tau}\Delta\underline{t}_i\cdot{}_t^{t}u_i\cdot{}^tdV_\sigma - \int_{{}^t\Sigma_\sigma}{}_t^{\tau}\Delta\underline{t}_i\cdot{}_t^{\tau}\Delta u_i\cdot{}^tdV_\sigma)dt] = 0,
\end{aligned} \tag{4}$$

gdzie oznaczono:

$${}_t^{\tau}\Delta\sigma_{ij}^{**} = {}_t^{\tau}\Delta\sigma_{ij}^{*} + (1-{}_t^{t}\widetilde{S}^{**})\,{}_t^{\tau}C_{ijkl}^{(E)}\cdot{}_t^{t}E_{kl} = {}_t^{\tau}\Delta\sigma_{ij}^{*} + {}_t^{\tau}C_{ijkl}^{(E)*}\cdot{}_t^{t}E_{kl}^{(E)} \tag{5}$$

przy czym ${}_t^t u_i$, ${}_t^t \dot{u}_i$ są odpowiednio składowymi wektora przemieszczenia i prędkości w chwili t, ${}_t^\tau \Delta u_i$, ${}_t^\tau \Delta \dot{u}_i$ są odpowiednio składowymi wektorów przyrostu przemieszczeń i prędkości na kroku, ${}_t^t f$, ${}_t^\tau \Delta f_i$ są odpowiednio składowymi wektora obciążeń objętościowych i jego przyrostu, ${}_t^t \hat{p}_i$, ${}_t^\tau \Delta \hat{p}_i$ są odpowiednio składowymi wektora wypadkowych obciążeń powierzchniowych w obszarze kontaktu ciał Σ_k i jego przyrostu, ${}_t^t \underline{t}_i$, ${}_t^\tau \Delta \underline{t}_i$ są składowymi wektora znanych obciążeń powierzchniowych w obszarze Σ_σ, ${}_t^\tau \Delta \sigma_{ij}^*$ są składowymi II symetrycznego tensora przyrostu naprężenia Pioli-Kirchhoffa, ${}_t^t T_{ij}$ są składowymi tensora naprężenia Cauchy'ego, ${}_t^t \widetilde{S}^{**}$ jest skalarem, ${}_t^\tau C_{ijkl}^{(E)}$ są składowymi tensora Hooke'a ${}_t^\tau \mathbf{C}^{(E)}$, charakteryzującymi chwilowe właściwości sprężyste materiału, ${}_t^t E_{kl}^{(E)}$ jest skumulowaną składową tensora odkształceń sprężystych, ${}_t^t E_{ij}$, ${}_t^\tau \Delta E_{ij}$ jest odpowiednio składową tensora odkształceń Greena-Lagrange'a i jego przyrostu, ${}_t^t \dot{E}_{ij}$, ${}_t^\tau \Delta \dot{E}_{ij}$ jest odpowiednio składową tensora prędkości odkształceń Greena-Lagrange'a i jego przyrostu, α_0, α_1 są współczynnikami tłumienia, Ω_{ij} są składowymi tensora antysymetrycznego Π_ω zawierającego składowe ω_i (i=1,2,3) wektora prędkości kątowej $\boldsymbol{\omega}$, zaś ω jest długością tego wektora. W równaniu (4) całki powierzchniowe dotyczą jedynie odpowiednich części brzegu Σ ciała, natomiast całki objętościowe jego wnętrza.

Wykonując operację wariacji w równaniu (4) względem niewiadomych przyrostów przemieszczeń ${}_t^\tau \Delta u_i$, zgodnie z regułą:

$$\int_{t_p}^{t_k} \delta\{{}_t^\tau \Delta E_c[{}_t^\tau \Delta \dot{E}_{ij}({}_t^\tau \Delta \dot{u}_i, {}_t^\tau \Delta u_i), {}_t^\tau \Delta E_{ij}({}_t^\tau \Delta u_i), {}_t^\tau \Delta \dot{u}_i, {}_t^\tau \Delta u_i]\}dt = \int_{t_p}^{t_k} [\frac{\partial({}_t^\tau \Delta E_c)}{\partial({}_t^\tau \Delta \dot{E}_{ij})} \delta({}_t^\tau \Delta \dot{E}_{ij}) + \frac{\partial({}_t^\tau \Delta E_c)}{\partial({}_t^\tau \Delta E_{ij})} \delta({}_t^\tau \Delta E_{ij}) +$$
$$+ \frac{\partial({}_t^\tau \Delta E_c)}{\partial({}_t^\tau \Delta \dot{u}_i)} \delta({}_t^\tau \Delta \dot{u}_i) + \frac{\partial({}_t^\tau \Delta E_c)}{\partial({}_t^\tau \Delta u_i)} \delta({}_t^\tau \Delta u_i), \tag{6}$$

gdzie:

$$\delta({}_t^\tau \Delta \dot{E}_{ij}) = \frac{\partial({}_t^\tau \Delta \dot{E}_{ij})}{\partial({}_t^\tau \Delta \dot{u}_i)} \delta({}_t^\tau \Delta \dot{u}_i) + \frac{\partial({}_t^\tau \Delta \dot{E}_{ij})}{\partial({}_t^\tau \Delta u_i)} \delta({}_t^\tau \Delta u_i) = [\frac{\partial({}_t^\tau \Delta \dot{E}_{ij})}{\partial({}_t^\tau \Delta \dot{u}_i)} \frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial({}_t^\tau \Delta \dot{E}_{ij})}{\partial({}_t^\tau \Delta u_i)}] \delta({}_t^\tau \Delta u_i), \tag{7}$$

$$\delta({}_t^\tau \Delta E_{ij}) = \frac{\partial({}_t^\tau \Delta E_{ij})}{\partial({}_t^\tau \Delta u_i)} \delta({}_t^\tau \Delta u_i) \tag{8}$$

oraz wykorzystując symetrię tensora Hooke'a $\mathbf{C}^{(E)}$, całkowanie przez części względem zmiennej t pierwszego, drugiego, piątego, siódmego, dziesiątego, trzynastego i szesnastego składnika w równaniu (4), a także rozkładając odkształcenia

i prędkości odkształceń na części liniową ${}_t^t\overline{E}_{ij}$, ${}_t^t\dot{\overline{E}}_{ij}$ i nieliniową ${}_t^t\widetilde{E}_{ij}$, ${}_t^t\dot{\widetilde{E}}_{ij}$, przyrostowe równanie wariacyjne przyjmuje ostateczną postać:

$$
\begin{aligned}
&\int_{{}_tV}{}^t\rho\cdot({}_t^t\ddot{u}_i+{}_t^\tau\Delta\ddot{u}_i)\cdot\delta({}_t^\tau\Delta u_i)\cdot{}^tdV+\alpha_0\int_{{}_tV}{}^t\rho\cdot{}_t^\tau\Delta\dot{u}_i\cdot\delta({}_t^\tau\Delta u_i)\cdot{}^tdV+\omega\int_{{}_tV}{}^t\rho\cdot{}_t^\tau\Delta\dot{u}_i\cdot\Omega_{ij}\cdot\delta({}_t^\tau\Delta u_j)\cdot{}^tdV\\
&+\frac{1}{2}\alpha_1\int_{{}_tV}{}_t^\tau C_{ijkl}^{(TE)}\cdot{}_t\Delta\dot{\widetilde{E}}_{ij}\cdot\delta({}_t\Delta\widetilde{E}_{kl})\cdot{}^tdV+\frac{1}{2}\alpha_1\int_{{}_tV}{}_t^\tau C_{ijkl}^{(E)}\cdot{}_t^\tau\Delta\dot{\widetilde{E}}_{ij}\cdot\delta({}_t^\tau\Delta\overline{E}_{kl})\cdot{}^tdV+\frac{1}{2}\alpha_1\int_{{}_tV}{}_t^\tau C_{ijkl}^{E}\cdot{}_t^\tau\Delta\dot{\overline{E}}_{ij}\cdot\delta({}_t^\tau\Delta\widetilde{E}_{kl})\cdot{}^tdV\\
&+\frac{1}{2}\alpha_1\int_{{}_tV}{}_t^\tau C_{ijkl}^{E}\cdot{}_t^\tau\Delta\dot{\widetilde{E}}_{ij}\cdot\delta({}_t^\tau\Delta\overline{E}_{kl})\cdot{}^tdV+\frac{1}{2}\alpha_1\int_{{}_tV}{}_t^\tau C_{ijkl}^{E}\cdot\delta({}_t^\tau\Delta\dot{\widetilde{E}}_{ij})\cdot{}_t^\tau\Delta\widetilde{E}_{kl}\cdot{}^tdV+\frac{1}{2}\alpha_1\int_{{}_tV}{}_t^\tau C_{ijkl}^{(E)}\cdot\delta({}_t^\tau\Delta\dot{\widetilde{E}}_{ij})\cdot{}_t^\tau\Delta\widetilde{E}_{kl}\cdot{}^tdV\\
&+\frac{1}{2}\alpha_1\int_{{}_tV}{}_t^\tau C_{ijkl}^{(E)}\cdot\delta({}_t^\tau\Delta\dot{\widetilde{E}}_{ij})\cdot{}_t^\tau\Delta\widetilde{E}_{kl}\cdot{}^tdV+\frac{1}{2}\alpha_1\int_{{}_tV}{}_t^\tau C_{ijkl}^{(E)}\cdot\delta({}_t^\tau\Delta\dot{\widetilde{E}}_{ij})\cdot{}_t^\tau\Delta\overline{E}_{kl}\cdot{}^tdV+\int_{{}_tV}{}_t^\tau C_{ijkl}^{(E)*}\cdot{}_t^\tau\Delta\widetilde{E}_{ij}\cdot\delta({}_t^\tau\Delta\widetilde{E}_{kl})\cdot{}^tdV\\
&+\int_{{}_tV}{}_t^\tau C_{ijkl}^{(E)*}\cdot{}_t^\tau\Delta\overline{E}_{ij}\cdot\delta({}_t^\tau\Delta\widetilde{E}_{kl})\cdot{}^tdV+\int_{{}_tV}{}_t^\tau C_{ijkl}^{(E)*}\cdot{}_t^\tau\Delta\widetilde{E}_{ij}\cdot\delta({}_t^\tau\Delta\overline{E}_{kl})\cdot{}^tdV+\int_{{}_tV}{}_t^\tau C_{ijkl}^{(E)*}\cdot{}_t^\tau\Delta\overline{E}_{ij}\cdot\delta({}_t^\tau\Delta\overline{E}_{kl})\cdot{}^tdV\\
&+\frac{1}{2}\int_{{}_tV}({}_t^tT_{ij}+{}_t^\tau\Delta\sigma_{ij}^{**})\cdot\delta({}_t^\tau\Delta\widetilde{E}_{ij})\cdot{}^tdV+\frac{1}{2}\int_{{}_tV}({}_t^tT_{ij}+{}_t^\tau\Delta\sigma_{ij}^{**})\cdot\delta({}_t^\tau\Delta\overline{E}_{ij})\cdot{}^tdV-\omega^2\int_{{}_tV}{}^t\rho\cdot{}_t^\tau\Delta u_i\cdot\Omega_{ij}\cdot\Omega_{ij}\cdot\delta({}_t^\tau\Delta u_i)\cdot{}^tdV\\
&-\omega^2\int_{{}_tV}{}^t\rho\cdot\delta({}_t^\tau\Delta u_i)\cdot\Omega_{ij}\cdot\Omega_{ij}\cdot{}^0r_i\cdot{}^tdV-\omega^2\int_{{}_tV}{}^t\rho\cdot{}_t^tu_i\cdot\Omega_{ij}\cdot\Omega_{ij}\cdot\delta({}_t^\tau\Delta u_i)\cdot{}^tdV-\int_{{}_tV}{}^t\rho\cdot({}_t^tf+{}_t^\tau\Delta f_i)\cdot\delta({}_t^\tau\Delta u_i)\cdot{}^tdV\\
&-\int_{{}_t\Sigma_k}({}_t^t\hat{p}_i+{}_t^\tau\Delta\hat{p}_i)\cdot\delta({}_t^\tau\Delta u_i)\,{}^td\Sigma_k-\int_{{}_t\Sigma_\sigma}({}_t^t\underline{t}_i+{}_t^\tau\Delta\underline{t}_i)\cdot\delta({}_t^\tau\Delta u_i)\cdot{}^td\Sigma_\sigma=0.
\end{aligned}
\tag{9}
$$

Równanie przyrostowe (9) jest poszukiwanym, wariacyjnym równaniem ruchu na typowym kroku czasowym, w uaktualnionym opisie Lagrange'a, fizycznie i geometrycznie nieliniowego, obrotowego ciała E/TVP, charakteryzowanego mieszanym modelem wzmocnienia, przy uwzględnieniu przy uwzględnieniu efektów cieplnych.

Dyskretne równanie ruchu

Wyprowadzone wariacyjne równanie ruchu (9) stanowi punkt wyjścia do dyskretyzacji rozważanego problemu za pomocą metody elementów skończonych. Pisząc szczególne, dyskretne równania ruchu dla wszystkich elementów skończonych wydzielonych z narzędzia i przedmiotu, po ich zsumowaniu otrzymuje się dyskretne równanie ruchu procesu nagniatania. Przyjmując, że opisywany jest proces nagniatania tocznego części wirującej, równanie to ma postać:

$$
\begin{aligned}
&[{}_t^t\mathbf{M}]\{{}_t^\tau\Delta\ddot{\mathbf{r}}\}+\left\langle[{}_t^t\mathbf{C}(\alpha,\beta,\{{}_t^t\mathbf{r}\},\{{}_t^\tau\Delta\mathbf{r}\},\{{}_t^\tau\Delta\mathbf{r}^2\})]+[{}_t^t\mathbf{C}_G(\omega)]\right\rangle\{{}_t^\tau\Delta\dot{\mathbf{r}}\}+\left\langle(1-{}_t^tS^{**})[[{}_t^t\mathbf{K}_1^k]+[{}_t^t\mathbf{K}_1^u(\{{}_t^t\mathbf{r}\},\{\mathbf{r}^2\})]\right.\\
&+[{}_t^\tau\Delta\mathbf{K}_4(\{{}_t^t\mathbf{r}\},\{{}_t^\tau\Delta\mathbf{r}\})]+[{}_t^t\mathbf{K}_5(\{{}_t^\tau\Delta\mathbf{r}^2\})]\Big]+[{}_t^t\mathbf{K}_2(\beta,\{{}_t^t\mathbf{r}\},\{\dot{\mathbf{r}}\})]+[{}_t^t\mathbf{K}_C(\omega^2)]+[{}_t^t\mathbf{K}_1^\sigma(\{\sigma\})]+[{}_t^t\Delta\mathbf{K}_1^\sigma(\{{}_t^\tau\Delta\sigma^{**}\})]\\
&\left.+[{}_t^\tau\Delta\mathbf{K}_3(\beta,\{{}_t^t\mathbf{r}\},\{\dot{\mathbf{r}}\},\{{}_t^\tau\Delta\mathbf{r}\},\{{}_t^\tau\Delta\dot{\mathbf{r}}\})\right\rangle\{{}_t^\tau\Delta\mathbf{r}\}=\{{}_t^t\mathbf{F}(\{{}_t^t\mathbf{f}\},\{\sigma\},\{\ddot{\mathbf{r}}\})\}+\{{}_t^t\mathbf{F}(\{\omega^2\})\}\\
&+\{{}_t^t\mathbf{R}(\{{}_t^t\hat{\mathbf{p}}\})\}+\{{}_t^\tau\Delta\mathbf{F}(\{{}_t^\tau\Delta\mathbf{f}\},\{{}_t^\tau\Delta\sigma^{**}\})\}+\{{}_t^\tau\Delta\mathbf{R}(\{{}_t^\tau\Delta\hat{\mathbf{p}}\})\},
\end{aligned}
\tag{10}
$$

gdzie:

$[{}^{\tau}_{\tau}\mathbf{M}]$ – chwilowa macierz mas układu,

$[{}^{t}_{t}\mathbf{C}\ ]$ – chwilowa macierz tłumienia,

$[{}^{t}_{t}\mathbf{C}_{G}]$ – chwilowa macierz giroskopowa,

$[{}^{t}_{t}\mathbf{K}_{T}]$ – chwilowa macierz sztywności,

$\{{}^{t}_{t}\mathbf{F}_{T}\}, \{{}^{\tau}_{t}\Delta\mathbf{F}_{T}\}$ – odpowiednio chwilowy wektor obciążeń wewnętrznych węzłów oraz jego przyrost,

$\{{}^{t}_{t}\mathbf{R}\}, \{{}^{\tau}_{t}\Delta\mathbf{R}\}$ – odpowiednio wektor obciążeń powierzchniowych oraz jego przyrost,

$\{{}^{t}_{t}\mathbf{r}\}, \{{}^{\tau}_{t}\Delta\mathbf{r}\}$ – odpowiednio wektor przemieszczeń węzłów oraz jego przyrost,

$\{{}^{t}_{t}\dot{\mathbf{r}}\}, \{{}^{\tau}_{t}\Delta\dot{\mathbf{r}}\}$ – odpowiednio wektor prędkości węzłów oraz jego przyrost,

$\{{}^{t}_{t}\ddot{\mathbf{r}}\}, \{{}^{\tau}_{t}\Delta\ddot{\mathbf{r}}\}$ – odpowiednio wektor przyspieszeń węzłów oraz jego przyrost.

Znajomość równania (10) jest punktem wyjścia do uzyskania efektywnych rozwiązań numerycznych przez zastosowanie metod aproksymacji.

Opracowany model matematyczny procesu oraz algorytm obliczeń wykorzystano do numerycznej analizy procesu odkształcania powierzchni.

Wariacyjne sformułowanie równania przepływu ciepła

W celu wariacyjnego sformułowania równań ruchu ciepła w procesie nagniatania z prądem, na typowym kroku przyrostowym, wprowadza się funkcjonał przyrostowy ${}^{\tau}_{t}\Delta\mathbf{F}({}^{\tau}_{t}\Delta\dot{T}, {}^{\tau}_{t}\Delta T', {}^{\tau}_{t}\Delta T, ...)$, w którym występuje tylko jedno niezależne pole, a mianowicie pole temperatury oraz jego pochodne: ${}^{\tau}_{t}\Delta\dot{T} = \dfrac{d\left({}^{\tau}_{t}\Delta T\right)}{dt}$ i ${}^{\tau}_{t}\Delta T' = \dfrac{d\left({}^{\tau}_{t}\Delta T\right)}{dy_3}$. Funkcjonał przyrostowy ruchu ciepła w globalnym układzie odniesienia{**z**} (ruch nieustalony) ma postać [Kukiełka i in. 1999]:

$$
\begin{aligned}
{}^{\tau}_{t}\Delta\mathbf{F}[{}^{\tau}_{t}\Delta\dot{T}, {}^{\tau}_{t}\Delta T', {}^{\tau}_{t}\Delta T] = {} & \frac{1}{2}\int_{{}^{t}V}\left(\sum_{i=1}^{3}\lambda_i({}^{t}T)L^2_{zi}\left({}^{\tau}_{t}\Delta T\right)\right)d^{t}V + \int_{{}^{t}V}{}^{\tau}_{t}\Delta\dot{T}\,{}^{t}c({}^{t}T)\,{}^{t}\rho({}^{t}T)\,{}^{\tau}_{t}\Delta T\,dV - \int_{{}^{t}V}{}^{\tau}_{t}\Delta q_{Vt}[\cdot]\,{}^{\tau}_{t}\Delta T\,dV \\
& - \int_{{}^{t}V}{}^{\tau}_{t}\Delta q_{VD}[\cdot]\,{}^{\tau}_{t}\Delta T\,dV - \int_{{}^{t}\Sigma_k}{}^{t}b_t\,{}^{\tau}_{t}\Delta q_{st}[\cdot]\,{}^{\tau}_{t}\Delta T\,d\Sigma_k - \int_{{}^{t}\Sigma_k}{}^{t}b_t\,{}^{\tau}_{t}\Delta q_{st}[\cdot]\,{}^{\tau}_{t}\Delta T\,d\Sigma_k + \int_{{}^{t}\Sigma_k}\frac{{}^{\tau}_{t}\Delta T_o - {}^{\tau}_{t}\Delta T_b}{2\,{}^{t}R_s}[\cdot]\,{}^{\tau}_{t}\Delta T\,d\Sigma_k \\
& + \frac{1}{2}\int_{{}^{t}\Sigma_C}{}^{t}\alpha_C({}^{t}T)\,{}^{\tau}_{t}\Delta T^2\,d^{t}\Sigma_C + \frac{1}{2}\int_{{}^{t}\Sigma_R}{}^{t}\alpha_R({}^{t}T)\,{}^{\tau}_{t}\Delta T^2\,d^{t}\Sigma_k - \int_{{}^{t}\Sigma_T}{}^{\tau}_{t}\Delta T_b\,{}^{\tau}_{t}\Delta T\,d\Sigma_t,
\end{aligned}
\tag{11}
$$

gdzie całkowanie odbywa się po całej objętości V i całej powierzchni Σ tego ciała, natomiast:

$L^2_{zi}({}^{\tau}_{t}\Delta T) = \dfrac{\partial^2({}^{\tau}_{t}\Delta T)}{\partial z_i^2}$, jest operatorem różniczkowania.

W lokalnym układzie współrzędnych {y} związanym z narzędziem zakłada się, że źródła ciepła przemieszczają się wzdłuż osi z_3 ze stałą prędkością v_{pn} (równanie ruchu ciepła quasi-ustalonego):

$$
\begin{aligned}
&{}^{\tau}_{t}\Delta\mathbf{F}[{}^{\tau}_{t}\Delta\dot{T},{}^{\tau}_{t}\Delta T',{}^{\tau}_{t}\Delta T] = \frac{1}{2}\int_{{}^{t}V}\left(\sum_{i=1}^{3}\lambda_i({}^{t}T)\frac{\partial^2({}^{\tau}_{t}\Delta T)}{\partial y_i^2}\right)d^{t}V - \int_{{}^{t}V}{}^{t}C({}^{t}T)^{t}\rho({}^{t}T)^{\tau}_{t}\Delta T v_{pn}d^{t}V + \\
&-\int_{{}^{t}V}{}^{\tau}_{t}\Delta q_{VI}[\cdot]^{\tau}_{t}\Delta T d^{t}V - \int_{{}^{t}V}{}^{\tau}_{t}\Delta q_{VO}[\cdot]^{\tau}_{t}\Delta T d^{t}V - \int_{{}^{t}\Sigma_k}{}^{t}b^{\tau}_{t}\Delta q_{FI}[\cdot]^{\tau}_{t}\Delta T d^{t}\Sigma_k - \int_{{}^{t}\Sigma_k}{}^{t}b^{\tau}_{t}\Delta q_{F\mu}[\cdot]^{\tau}_{t}\Delta T d^{t}\Sigma_k + \\
&+\int_{{}^{t}\Sigma_k}\frac{{}^{\tau}_{t}\Delta T_o - {}^{\tau}_{t}\Delta T_b}{2{}^{t}R_s}[\cdot]^{\tau}_{t}\Delta T d^{t}\Sigma_k + \frac{1}{2}\int_{{}^{t}\Sigma_C}{}^{t}\alpha_C({}^{t}T)^{\tau}_{t}\Delta T^2 d^{t}\Sigma_C + \frac{1}{2}\int_{{}^{t}\Sigma_R}{}^{t}\alpha_R({}^{t}T)^{\tau}_{t}\Delta T^2 d^{t}\Sigma_R - \int_{{}^{t}\Sigma_T}{}^{\tau}_{t}\Delta T_b{}^{\tau}_{t}\Delta T d^{t}\Sigma_T,
\end{aligned}
\tag{12}
$$

Wykorzystując warunek stacjonarności funkcjonału zakłada się stacjonarność funkcjonału przyrostowego ${}^{\tau}_{t}\Delta\mathbf{F}(\cdot)$, czyli że dowolna, mała jego wariacja δ jest równa zero:

$$
\delta[{}^{\tau}_{t}\Delta\mathbf{F}({}^{\tau}_{t}\Delta\dot{T},{}^{\tau}_{t}\Delta T',{}^{\tau}_{t}\Delta T)] = \frac{\partial[{}^{\tau}_{t}\Delta\mathbf{F}({}^{\tau}_{t}\Delta\dot{T},\ {}^{\tau}_{t}\Delta T',\ {}^{\tau}_{t}\Delta T)]}{\partial({}^{\tau}_{t}\Delta T)\}}\delta({}^{\tau}_{t}\Delta T) = \frac{\partial[{}^{\tau}_{t}\Delta\mathbf{F}(\cdot)]}{\partial({}^{\tau}_{t}\Delta T)}\delta({}^{\tau}_{t}\Delta T) = 0, \tag{13}
$$

przy czym wariacja liczona jest względem przyrostu temperatury ${}^{\tau}_{t}\Delta T$ na kroku.

Z warunku (13), po obliczeniu wariacji, z równań (11) i (12) otrzymuje się wariacyjne równania ruchu ciepła na typowym kroku przyrostowym:

a) w układzie globalnym {**z**}:

$$
\begin{aligned}
&\delta[{}^{\tau}_{t}\Delta\dot{T},{}^{\tau}_{t}\Delta\dot{T},{}^{\tau}_{t}\Delta T] = \int_{{}^{t}V}\left[\sum_{i=1}^{3}\lambda_i({}^{t}T)\frac{\partial({}^{\tau}_{t}\Delta T)}{\partial z_i}\delta\left(\frac{\partial({}^{\tau}_{t}\Delta T)}{\partial z_i}\right)\right]d^{t}V + \int_{{}^{t}V}\frac{\partial({}^{\tau}_{t}\Delta T)}{\partial t}{}^{t}C({}^{t}T)^{t}\rho({}^{t}T)\delta({}^{\tau}_{t}\Delta T)d^{t}V + \\
&+\int_{{}^{t}V}\delta\left(\frac{\partial({}^{\tau}_{t}\Delta T)}{\partial t}\right)^{t}C({}^{t}T)^{t}\rho({}^{t}T)^{\tau}_{t}\Delta T d^{t}V - \int_{{}^{t}V}{}^{\tau}_{t}\Delta q_{VI}[\cdot]\delta({}^{\tau}_{t}\Delta T)d^{t}V - \int_{{}^{t}V}{}^{\tau}_{t}\Delta q_{VO}[\cdot]\delta({}^{\tau}_{t}\Delta T)d^{t}V + \\
&-\int_{{}^{t}\Sigma_k}{}^{t}b^{\tau}_{t}\Delta q_{FI}[\cdot]\delta({}^{\tau}_{t}\Delta T)d^{t}\Sigma_k - \int_{{}^{t}\Sigma_k}{}^{t}b^{\tau}_{t}\Delta q_{F\mu}[\cdot]\delta({}^{\tau}_{t}\Delta T)d^{t}\Sigma_k + \int_{{}^{t}\Sigma_k}\frac{{}^{\tau}_{t}\Delta T_o - {}^{\tau}_{t}\Delta T_b}{2{}^{t}R_s}[\cdot]\delta({}^{\tau}_{t}\Delta T)d^{t}\Sigma_k + \\
&+\int_{{}^{t}\Sigma_C}{}^{t}\alpha_C({}^{t}T)\delta({}^{\tau}_{t}\Delta T)d^{t}\Sigma_C + \int_{{}^{t}\Sigma_R}{}^{t}\alpha_R({}^{t}T)\delta({}^{\tau}_{t}\Delta T)d^{t}\Sigma_R - \int_{{}^{t}\Sigma_T}{}^{\tau}_{t}\Delta T\delta({}^{\tau}_{t}\Delta T)d^{t}\Sigma_T = 0,
\end{aligned}
\tag{14}
$$

b) w układzie $\{\mathbf{y}\}$:

$$\begin{aligned}
&\delta[{}_t^{\tau}\Delta\dot{T}, {}_t^{\tau}\Delta T', {}_t^{\tau}\Delta T] = \int_{{}^tV}\left[\sum_{i=1}^{3}{}^t\lambda_i({}^tT)\frac{\partial({}_t^{\tau}\Delta T)}{\partial y_i}\delta\left(\frac{\partial({}_t^{\tau}\Delta T)}{\partial y_i}\right)\right]d^tV - \int_{{}^tV}{}^tC({}^t\Theta)\,{}^t\rho({}^t\Theta)\delta({}_t^{\tau}\Delta\Theta)v_{pn}d^tV \\
&- \int_{{}^tV}{}_t^{\tau}\Delta q_{Vl}[\cdot]\delta({}_t^{\tau}\Delta T)d^tV - \int_{{}^tV}{}_t^{\tau}\Delta q_{VO}[\cdot]\delta({}_t^{\tau}\Delta T)d^tV - \int_{{}^t\Sigma_k}{}^tb_t{}^{\tau}\Delta q_{Fl}[\cdot]\delta({}_t^{\tau}\Delta T)d^t\Sigma_k - \int_{{}^t\Sigma_k}{}^tb_t{}^{\tau}\Delta q_{F\mu}[\cdot]\delta({}_t^{\tau}\Delta T)d^t\Sigma_k \\
&+ \int_{{}^t\Sigma_k}\frac{{}_t^{\tau}\Delta T_o - {}_t^{\tau}\Delta T_b}{2\,{}^tR_s}[\cdot]\delta({}_t^{\tau}\Delta T)d^t\Sigma_k + \int_{{}^t\Sigma_C}{}^t\alpha_C({}^tT)\delta({}_t^{\tau}\Delta T)d^t\Sigma_C + \int_{{}^t\Sigma_R}{}^t\alpha_R({}^tT)\delta({}_t^{\tau}\Delta T)d^t\Sigma_R - \int_{{}^t\Sigma_T}{}^{\tau}\Delta T\delta({}_t^{\tau}\Delta T)d^t\Sigma_T = 0.
\end{aligned} \tag{15}$$

gdzie:

$$\{{}_t^{\tau}\Delta\mathbf{T}'\}^T = \left[\frac{\partial({}_t^{\tau}\Delta T)}{\partial z_1},\ \frac{\partial({}_t^{\tau}\Delta T)}{\partial z_2},\ \frac{\partial({}_t^{\tau}\Delta T)}{\partial z_3}\right], \tag{16a}$$

$$[{}^t\lambda({}^tT)] = \begin{bmatrix} {}^t\lambda_1({}^tT) & 0 & 0 \\ 0 & {}^t\lambda_2({}^tT) & 0 \\ 0 & 0 & {}^t\lambda_3({}^tT) \end{bmatrix}, \tag{16b}$$

są odpowiednio wektorem kolumnowym gradientu przyrostów temperatury i macierzą przewodności cieplnej.

Równania (14) i (15) są poszukiwanymi równaniami wariacyjnymi ruchu ciepła na typowym kroku czasowym, w uaktualnionym opisie Lagrange'a. Analityczne ich rozwiązanie, polegające na określeniu pól przyrostu temperatury nie jest możliwe ze względu na ich uwikłaną, złożoną postać wzorów na przyrosty strumienia ciepła dla wewnętrznych i zewnętrznych źródeł ciepła oraz zależności stałych termofizycznych od temperatury. Możliwe jest natomiast rozwiązanie przybliżone na drodze numerycznej. W tym równania wariacyjne dyskretyzuje się metodą elementów skończonych. Pod względem matematycznym równania wariacyjne są równoważne rozwiązaniu odpowiednich równań różniczkowych, z uwzględnieniem warunku początkowego i warunków brzegowych.

Dyskretne równania ruchu ciepła

Obiekt dzieli się elementami skończonymi o liczbie E oraz dokonuje się przestrzennej dyskretyzacji równań wariacyjnych za pomocą następujących zależności:

$$\begin{aligned}
&{}_t^{\tau}\Delta T^{(e)}(\cdot) = [{}^t\mathbf{H}^{(e)}(\cdot)]\{{}_t^{\tau}\Delta\Theta^{(e)}\},\quad {}_t^{\tau}\Delta T^{(m)}(\cdot) = [{}^t\mathbf{H}^{S(m)}(\cdot)]\{{}_t^{\tau}\Delta\Theta^{(m)}\},\quad {}_t^{\tau}\Delta T'^{(e)}(\cdot) = [{}^tB^{(e)}(\cdot)]\{{}_t^{\tau}\Delta\Theta^{(e)}\}, \\
&{}_t^{\tau}\Delta\dot{T}^{(e)}(\cdot) = [{}^tB^{(e)}(\cdot)]\{{}_t^{\tau}\Delta\dot{\Theta}^{(e)}\},\quad {}_t^{\tau}\Delta T''^{(e)}(\cdot) = [{}^t\mathbf{B}_3{}^{(e)}]\{(\cdot)\Delta\Theta^{(e)}\},
\end{aligned} \tag{17}$$

gdzie: ${}_t^{\tau}\Delta T^{(e)}$ jest przyrostem temperatury elementu skończonego e, $\{{}_t^{\tau}\Delta\Theta^{(e)}\}$ i $\{{}_t^{\tau}\Delta\dot{\Theta}^{(e)}\}$ są wektorami kolumnowymi odpowiednio przyrostu temperatur i przyrostu prędkości temperatur w węzłach elementu. Postać jawną wektorów przedstawiają wzory:

$$\{{}_t^{\tau}\Delta\Theta^{(e)}\}^T=[{}_t^{\tau}\Delta\Theta_1^{(e)},\ {}_t^{\tau}\Delta\Theta_2^{(e)},...,\ {}_t^{\tau}\Delta\Theta_n^{(e)}]=[...\ {}_t^{\tau}\Delta\Theta_i^{(e)},\ i=1,2,...,n,...], \quad (18a)$$

$$\{{}_t^{\tau}\Delta\dot{\Theta}^{(e)}\}^T=[{}_t^{\tau}\Delta\dot{\Theta}_1{}^{(e)},\ {}_t^{\tau}\Delta\dot{\Theta}_2{}^{(e)},...,\ {}_t^{\tau}\Delta\dot{\Theta}_n{}^{(e)}]=[...\ {}_t^{\tau}\Delta\dot{\Theta}_i{}^{(e)}, i=1,2,...,n,...]. \quad (18b)$$

Macierze $[{}^t\mathbf{H}^{(e)}(\cdot)]$ i $[{}^t\mathbf{B}^{(e)}(\cdot)]$, $[{}^t\mathbf{B}_3'^{(e)}(\cdot)]$ definiują przyrost temperatury i przyrost gradientu temperatury w obrębie elementu e w funkcji przyrostu temperatury w węzłach elementu, a macierz $[{}^t\mathbf{H}^{S(m)}(\cdot)]$ jest interpolowaną macierzą przyrostu temperatury na powierzchni elementu nagniatanego.

Wykorzystując relacje (18) w równaniach wariacyjnych ruchu ciepła (14) i (15) otrzymuje się:

a) ogólne, dyskretne równanie przepływu ciepła obiektu w układzie globalnym {**z**} (nieustalony ruch ciepła):

$$[{}^t\mathbf{C}]\{{}_t^{\tau}\Delta\dot{\Theta}\}+([{}^t\mathbf{K}^k]+[{}^t\mathbf{K}^c]+[{}^t\mathbf{K}^r]+[{}^t\mathbf{K}^{IV}])\{{}_t^{\tau}\Delta\Theta\}=\{{}_t^{\tau}\Delta\mathbf{Q}\}+\{{}_t^{\tau}\Delta\mathbf{Q}^I\}, \quad (19)$$

b) lokalne, dyskretne równanie przepływu ciepła obiektu w układzie {y} (quasi-ustalony ruch ciepła):

$$([{}^t\mathbf{C}_1]+[{}^t\mathbf{K}^k]+[{}^t\mathbf{K}^c]+[{}^t\mathbf{K}^r]+[{}^t\mathbf{K}^{IV}])\{{}_t^{\tau}\Delta\Theta\}=\{{}_t^{\tau}\Delta\mathbf{Q}\}+\{{}_t^{\tau}\Delta\mathbf{Q}^I\}, \quad (20)$$

gdzie: $[{}^t\mathbf{C}]$, $[{}^t\mathbf{C}_1]$ $[{}^t\mathbf{K}^k]$, $[{}^t\mathbf{K}^c]$, $[{}^t\mathbf{K}^r]$, $[{}^t\mathbf{K}^{IV}]$ są globalnymi macierzami (na początku kroku) odpowiednio: pojemności cieplnej, przewodności cieplnej, warunków brzegowych III (konwekcyjny i radiacyjny) i IV rodzaju, $\{{}_t^{\tau}\Delta\mathbf{Q}\}$ i $\{{}_t^{\tau}\Delta\mathbf{Q}^I\}$ są globalnymi wektorami na kroku odpowiednio przyrostu obciążenia cieplnego oraz warunków brzegowych I rodzaju.

Macierze mają następujące postacie:

$$\begin{aligned}
&[{}^t\mathbf{C}]=\sum_e^E\int_{{}^tV^{(e)}}{}^tc^{(e)}\,{}^t\rho^{(e)}[{}^t\mathbf{H}^{(e)}]^T[{}^t\mathbf{H}^{(e)}]d^tV^{(e)},\quad [{}^t\mathbf{C}_1]=-2\sum_e^E\int_{{}^tV^{(e)}}{}^tc^{(e)}\,{}^t\rho^{(e)}[{}^t\mathbf{H}^{(e)}]^T[{}^t\mathbf{B}_3{}^{(e)}]v_{pn}d^tV^{(e)},\\
&[{}^t\mathbf{K}^k]=\sum_e^E\int_{{}^tV^{(e)}}[{}^t\mathbf{B}^{(e)}]^T[{}^t\Theta^{(e)}][{}^t\mathbf{B}^{(e)}]d^tV^{(e)},\quad [{}^t\mathbf{K}^c]=\sum_{m=1}^{S_C}\Big(\int_{{}^t\Sigma_C^{(m)}}{}^t\alpha_C[{}^t\mathbf{H}^{S(m)}]^T[{}^t\mathbf{H}^{S(m)}]d^t\Sigma_C^{(m)}\Big),\\
&[{}^t\mathbf{K}^r]=\sum_{m=1}^{S_R}\Big(\int_{{}^t\Sigma_R^{(m)}}{}^t\alpha_R[{}^t\mathbf{H}^{S(m)}]^T[{}^t\mathbf{H}^{S(m)}]d^t\Sigma_R^{(m)}\Big),\quad [{}^t\mathbf{K}^{IV}]=\sum_{m=1}^{S_k}\Big\{\int_{{}^t\Sigma_k^{(m)}}\frac{[{}^t\mathbf{H}^{S(m)}]^T[{}^t\mathbf{H}^{S(m)}]}{{}^tR_s^{(m)}}d^t\Sigma_k^{(m)}\Big\},
\end{aligned} \quad (21)$$

gdzie ${}^{t}c^{(e)}$ jest ciepłem właściwym w temperaturze ${}^{t}T$, ${}^{t}\Theta^{(e)}$ jest temperaturą w węzłach elementu na początku kroku, E jest liczbą elementów skończonych w układzie, S_R, S_R, S_R, są ilościami elementów skończonych w strefach Σ_R, Σ_C, Σ_k.

Wektor przyrostu obciążenia elementu w punktach węzłowych $\{{}_{t}^{\tau}\Delta\mathbf{Q}^{(e)}\}$ podany jest wzorem:

$$\{{}_{t}^{\tau}\Delta\mathbf{Q}\} = \{{}_{t}^{\tau}\Delta\mathbf{Q}_{VD}\} + \{{}_{t}^{\tau}\Delta\mathbf{Q}_{VI}\} + \{{}_{t}^{\tau}\Delta\mathbf{Q}_{SI}\} + \{{}_{t}^{\tau}\Delta\mathbf{Q}_{S\mu}\}, \tag{22}$$

gdzie:

$$\begin{aligned}
&\{{}_{t}^{\tau}\Delta\mathbf{Q}_{VI}\} = \sum_{e=1}^{E}\Big(\int_{{}^{t}V^{(e)}}[{}^{t}\mathbf{H}^{(e)}]^{T}\,{}_{t}^{\tau}\Delta q_{VI}^{(e)}\,d{}^{t}V^{(e)}\Big), \quad \{{}_{t}^{\tau}\Delta\mathbf{Q}_{VD}\} = \sum_{e=1}^{E}\Big(\int_{{}^{t}V^{(e)}}[{}^{t}\mathbf{H}^{(e)}]^{T}\,{}_{t}^{\tau}\Delta q_{VD}^{(e)}\,d{}^{t}V^{(e)}\Big),\\
&\{{}_{t}^{\tau}\Delta\mathbf{Q}_{SI}\} = \sum_{m=1}^{S_k}\Big(\int_{{}^{t}\Sigma_k^{(m)}}[{}^{t}\mathbf{H}^{S(m)}]^{T}\,{}_{t}^{\tau}\Delta q_{SI}^{(m)}[\cdot]\,d{}^{t}\Sigma_k^{(m)}\Big), \quad \{{}_{t}^{\tau}\Delta\mathbf{Q}_{S\mu}\} = \sum_{m=1}^{S_k}\Big(\int_{{}^{t}\Sigma_k^{(m)}}[{}^{t}\mathbf{H}^{S(m)}]^{T}\,{}_{t}^{\tau}\Delta q_{S\mu}^{(m)}[\cdot]\,d{}^{t}\Sigma_k^{(m)}\Big)
\end{aligned} \tag{23}$$

Wektor $\{{}_{t}^{\tau}\Delta\mathbf{Q}^{I}\} = \{{}_{t}^{\tau}\Delta\mathbf{Q}_{S}^{I}\} + \{{}_{t}^{\tau}\Delta\mathbf{Q}_{V}^{I}\}$ warunków brzegowych I rodzaju podany jest wzorem:

$$\{{}_{t}^{\tau}\Delta\mathbf{Q}_{S}^{I}\} = \sum_{m=1}^{S_T}\Big(\int_{{}^{t}\Sigma_T^{(m)}}[{}^{t}\mathbf{H}^{S(m)}]^{T}[{}^{t}\mathbf{H}^{S(m)}]\,\{{}_{t}^{\tau}\Delta\Theta_b^{(m)}\}\,d{}^{t}\Sigma_T^{(m)}\Big), \quad \{{}_{t}^{\tau}\Delta\mathbf{Q}_{V}^{I}\} = \sum_{e=1}^{E_T}\Big(\int_{{}^{t}V_T^{(e)}}[{}^{t}\mathbf{H}^{(e)}]^{T}[{}^{t}\mathbf{H}^{(e)}]\,\{{}_{t}^{\tau}\Delta\Theta_b^{(m)}\}\,d{}^{t}V_T^{(e)}\Big), \tag{24}$$

gdzie S_T i E_T są ilościami elementów skończonych w strefie Σ_T i objętości V_T.

Rozwiązywanie dyskretyzowanych równań ruchu

Metody aproksymacji dyskretyzowanych równań ruchu

Układ równań (10) zawiera N równań, w których występuje 3N niewiadomych tj. składowych wektorów: przyrostu przemieszczeń węzłów $\{{}_{t}^{\tau}\Delta\mathbf{r}\}$, przyrostu prędkości węzłów $\{{}_{t}^{\tau}\Delta\dot{\mathbf{r}}\}$ i przyrostu przyspieszeń węzłów $\{{}_{t}^{\tau}\Delta\ddot{\mathbf{r}}\}$.

W celu redukcji liczby zmiennych stosuje się znane w literaturze np. [Kle 1989] następujące metody aproksymacji: różnic centralnych, Houbolta, Wilsona i Newmarka. Metody te polegają na wyrażeniu wektorów $\{{}_{t}^{\tau}\Delta\dot{\mathbf{r}}\}$ i $\{{}_{t}^{\tau}\Delta\ddot{\mathbf{r}}\}$ za pomocą wektora $\{{}_{t}^{\tau}\Delta\mathbf{r}\}$. Przykładowo, w niniejszej pracy pokazano przykład zastosowania metody Newmarka. W celu zapewnienia zbieżności przyjęto δ=0,5; α=0,25.

Zastosowano następujące równania aproksymacyjne:

$$\begin{aligned}\{{}_t^{\tau}\dot{\mathbf{r}}\} &= [\{{}_t^{\tau}\Delta\mathbf{r}\} - \{{}_t^{t}\dot{\mathbf{r}}\}\Delta t - \Delta t^2(0{,}5-\alpha)\{{}_t^{t}\dot{\mathbf{r}}\}]/(\alpha\Delta t^2),\\ \{{}_t^{\tau}\ddot{\mathbf{r}}\} &= \delta\{{}_t^{\tau}\Delta\mathbf{r}\}/(\alpha\Delta t) + (1-\delta/\alpha)\{{}_t^{t}\dot{\mathbf{r}}\} + \Delta t(1-0{,}5\delta/\alpha)\{{}_t^{t}\ddot{\mathbf{r}}\}.\end{aligned} \tag{25}$$

otrzymując:

$$([{}^{t}\widetilde{\mathbf{K}}_T] + [{}_t^{\tau}\Delta\mathbf{K}_T])\{{}_t^{\tau}\Delta\mathbf{r}\} = \{{}_t^{\tau}\Delta\mathbf{R}\} + \{{}_t^{\tau}\Delta\mathbf{F}\} + \{{}^{t}\widetilde{\mathbf{F}}_T\}, \tag{26}$$

gdzie:

$$[{}^{t}\widetilde{\mathbf{K}}_T] = [{}^{t}\mathbf{K}_T] + a_0[{}^{t}\mathbf{M}] + a_1[{}^{t}\mathbf{C}_T], \tag{27}$$

$$\{{}^{t}\widetilde{\mathbf{F}}_T\} = \{{}^{t}\mathbf{F}_T\} + a_2[{}^{t}\mathbf{M}]\{{}_t^{\tau}\Delta\dot{\mathbf{r}}\} + a_3\{{}_t^{\tau}\Delta\ddot{\mathbf{r}}\} + [{}^{t}\mathbf{C}_T](a_4\{{}_t^{\tau}\Delta\dot{\mathbf{r}}\} + a_5\{{}_t^{\tau}\Delta\ddot{\mathbf{r}}\}). \tag{28}$$

Analogicznie przeprowadza się aproksymację dyskretyzowanego równania ruchu (10) stosując pozostałe metody aproksymacji.

Metody rozwiązywania dyskretyzowanych równań ruchu

W celu rozwiązania otrzymanych dyskretyzowanych równań ruchu po ich aproksymacji, najpierw wprowadza się przemieszczeniowe warunki brzegowe według znanych metod, a następnie rozwiązuje się otrzymane równania stosując następujące metody znane w literaturze np. [Kle1989] metody iteracyjne: metoda zmiennej sztywności i sił korekcyjnych, metoda początkowych obciążeń, metoda Newtona-Raphsona i jej modyfikacja.

Rozwiązanie „krok po kroku" metodą Newmarka przedstawia algorytm:

A. Obliczenia wstępne:

1. Utworzenie macierzy sztywności $[{}_t^{t}\mathbf{K}_T]$, $[{}_t^{\tau}\Delta\mathbf{K}_T]$, macierzy mas układu $[{}_t^{t}\mathbf{M}]$ oraz macierzy tłumienia $[{}_t^{t}\mathbf{C}]$.
2. Inicjalizacja wektorów $\{{}_0^{0}\mathbf{r}\}$, $\{{}_0^{0}\dot{\mathbf{r}}\}$ i $\{{}_0^{0}\ddot{\mathbf{r}}\}$.
3. Wybór długości kroku czasowego □t oraz obliczenie stałych całkowania: a_0-a_5.
4. Utworzenie efektywnej macierzy sztywności $[{}_t^{t}\widetilde{\mathbf{K}}_T]$:

   $[{}_t^{t}\widetilde{\mathbf{K}}_T] = [{}_t^{t}\mathbf{K}_T] + a_0[{}_t^{t}\mathbf{M}] + a_1[{}_t^{t}\mathbf{C}_T]$.
5. Triangularyzacja $[{}_t^{t}\widetilde{\mathbf{K}}_T]$ i $[{}_t^{\tau}\Delta\mathbf{K}_T]$:

   $[{}_t^{t}\widetilde{\mathbf{K}}_T] = [{}_t^{t}\mathbf{L}_1][{}_t^{t}\mathbf{D}_1][{}_t^{t}\mathbf{L}_1]^T, [{}_t^{\tau}\Delta\mathbf{K}_T] = [{}_t^{t}\mathbf{L}_2][{}_t^{t}\mathbf{D}_2][{}_t^{t}\mathbf{L}_2]^T$.

B. Obliczenia dla każdego kroku czasowego

1. Obliczenie efektywnego wektora obciążenia w czasie t: $\{{}^{t}_{t}\widetilde{\mathbf{F}}_{T}\}$.
2. Obliczenie przyrostu efektywnego wektora obciążenia na kroku czasowym $t\rightarrow\tau$: $\{{}^{\tau}_{t}\Delta\mathbf{F}\}$.
3. Wyznaczenie wektora przyrostu przemieszczeń węzłów $\{{}^{\tau}_{t}\Delta\mathbf{r}\}$ na kroku czasowym metodą iteracji Newtona-Raphsona:

$$\left\langle [{}^{t}_{t}\mathbf{L}_1][{}^{t}_{t}\mathbf{D}_1][{}^{t}_{t}\mathbf{L}_1]^{T})^{[i-1]}_{nxn} + ([{}^{t}_{t}\mathbf{L}_2][{}^{t}_{t}\mathbf{D}_2][{}^{t}_{t}\mathbf{L}_2]^{T})^{[i-1]}_{nxn} \right\rangle \{{}^{\tau}_{t}\Delta\mathbf{r}\}^{[i]}_{nx1} = \{{}^{\tau}_{t}\Delta\mathbf{R}\}^{[i-1]}_{nx1} + \{{}^{\tau}_{t}\Delta\mathbf{F}\}^{[i-1]}_{nx1} + \{{}^{t}_{t}\widetilde{\mathbf{F}}_{\mathbf{T}}\}^{[i]}_{nx1}.$$

4. Obliczenie wektora przemieszczeń na końcu iteracji i: $\{{}^{\tau}_{t}\mathbf{r}\}^{[i]} = \{{}^{\tau}_{t}\mathbf{r}\}^{[i-1]} + \{{}^{\tau}_{t}\Delta\mathbf{r}\}^{[i]}$.
5. Obliczenie wektorów $\{{}^{\tau}_{t}\dot{\mathbf{r}}\}$ i $\{{}^{\tau}_{t}\ddot{\mathbf{r}}\}$ na końcu kroku czasowego.
6. Obliczenie wektora przyrostu przemieszczeń wewnątrz elementu: $\{{}^{\tau}_{t}\Delta\mathbf{u}\} = [{}^{t}_{t}\mathbf{N}]\{{}^{\tau}_{t}\Delta\mathbf{r}\}$.
7. Obliczenie wektora przyrostu odkształceń liniowych oraz nieliniowych: $\{{}^{\tau}_{t}\Delta\overline{\mathbf{E}}\} = [{}^{t}_{t}\overline{\mathbf{B}}]\{{}^{\tau}_{t}\Delta\mathbf{r}\}$, $\{{}^{\tau}_{t}\Delta\widetilde{\mathbf{E}}\} = [{}^{\tau}_{t}\Delta\mathbf{r}][{}^{t}_{t}\widetilde{\mathbf{B}}]\{{}^{\tau}_{t}\Delta\mathbf{r}\}$.

W wyniku rozwiązania przyrostowego problemu otrzymuje się rozwiązanie w postaci przyrostów uogólnionych przemieszczeń $\{{}^{\tau}_{t}\Delta\mathbf{r}\}$, a następnie w postaci odkształceń całkowitych obliczanych z przyjętej procedury całkowania numerycznego. Dokładność obliczenia naprężeń można poprawić stosując na danym kroku poprawiający dokładność proces iteracyjny. Algorytm postępowania jest następujący:

1. Obliczenie odkształceń całkowitych na końcu kroku ${}^{\tau}_{\tau}\varepsilon_{ij}$ - akumulacja,
2. Obliczenie intensywności odkształceń całkowitych ${}^{\tau}_{\tau}\varepsilon_{i}$,
3. Obliczenie przyrostu prędkości odkształceń ${}^{\tau}_{t}\Delta\dot{\varepsilon}_{ij}$,
4. Obliczenie prędkości odkształceń na końcu kroku ${}^{\tau}_{\tau}\dot{\varepsilon}_{ij}$,
5. Obliczenie intensywności prędkości odkształceń ${}^{\tau}_{\tau}\dot{\varepsilon}_{i}$,
6. Obliczenie dynamicznych naprężeń uplastyczniających ${}^{\tau}_{\tau}\sigma_{p}({}^{\tau}_{\tau}\varepsilon_{i}, {}^{\tau}_{\tau}\dot{\varepsilon}_{i})$,
7. Obliczenie przyrostu naprężeń na kroku ${}^{\tau}_{t}\Delta\sigma_{ij}$,
8. Obliczenie całkowitych naprężeń na końcu rozpatrywanego kroku ${}^{\tau}_{\tau}\sigma_{ij}$ - zastosowanie odpowiedniej procedury akumulacji przyrostów naprężeń,
9. Obliczenie wartości funkcji F w warunku plastyczności, wykorzystując obliczone naprężenia całkowite i dynamiczne naprężenia uplastyczniające,

10. Jeżeli F($^{\tau}_{\tau}\sigma_{ij}$)<0, wówczas zachodzi tylko odkształcenie sprężyste (obciążenie w zakresie odkształceń liniowych (E)). Wówczas stan naprężenia na końcu kroku wynosi:
    NAPRĘŻENIE=$^{\tau}_{\tau}\sigma_{ij}$,
    i przechodzi się do następnego kroku obliczeń. Natomiast, jeżeli F($^{\tau}_{\tau}\sigma_{ij}$)>0, prowadzi się następujące dalsze obliczenia.
11. Obliczenie parametru poprawkowego γ przyrostu naprężenia tak, aby koniec wektora naprężenia spoczywał na aktualnej powierzchni płynięcia. Przy wykorzystaniu warunku plastyczności, prowadzi to do następującej równości:

$$F[\tilde{D}_{\sigma}(^{t}_{t}\sigma_{ij}+\gamma^{\tau}_{t}\Delta\sigma_{ij}),^{\tau}_{\tau}\varepsilon_{i},^{\tau}_{\tau}\dot{\varepsilon}_{i}]=\frac{1}{2}\tilde{D}_{\sigma}(^{t}_{t}\sigma_{ij}+\gamma^{\tau}_{t}\Delta\sigma_{ij})\tilde{D}_{\sigma}(^{t}_{t}\sigma_{ij}+\gamma^{\tau}_{t}\Delta\sigma_{ij})-\frac{1}{3}{}^{t}_{t}\sigma^{2}_{p}(^{\tau}_{\tau}\varepsilon_{i},^{\tau}_{\tau}\dot{\varepsilon}_{i})=0,$$

gdzie $^{t}_{t}\sigma_{ij}$ jest naprężeniem na początku rozpatrywanego kroku, $^{\tau}_{t}\Delta\sigma_{ij}$ jest przyrostem naprężenia na kroku, wówczas:

$$\gamma=\frac{-a_1+\sqrt{a_1^2-4a_o a_2}}{2a_2},$$

gdzie:

$$a_0=\frac{3}{2}\tilde{D}_{\sigma}(^{t}_{t}\sigma_{ij})\tilde{D}_{\sigma}(^{t}_{t}\sigma_{ij})-{}^{t}_{t}\sigma^{2}_{p}(^{\tau}_{\tau}\varepsilon_{i},^{\tau}_{\tau}\dot{\varepsilon}_{i}),\quad a_1=3\tilde{D}_{\sigma}(^{t}_{t}\sigma_{ij})\tilde{D}_{\sigma}(^{\tau}_{t}\Delta\sigma_{ij}),$$

$$a_2=\frac{3}{2}\tilde{D}_{\sigma}(^{\tau}_{t}\Delta\sigma_{ij})\tilde{D}_{\sigma}(^{\tau}_{t}\Delta\sigma_{ij})$$

1. Po obliczeniu wartości parametru γ stan naprężenia jest uaktualniany według wzoru:
   $^{\tau}_{t}\sigma_{ij}={}^{t}_{t}\sigma_{ij}+\gamma^{\tau}_{t}\Delta\sigma_{ij}$.
   Uaktualnione naprężenie na końcu kroku może być określone z zależności:
   $^{\tau}_{t}\sigma_{ij}={}^{t}_{t}\sigma_{ij}+\gamma^{t}_{t}C^{(E)}_{ijkl}{}^{\tau}_{t}\Delta\varepsilon_{ij}+(1-\gamma){}^{t}_{t}C^{(E-P)}_{ijkl}{}^{\tau}_{t}\Delta\varepsilon_{ij}$.
   W ten sposób otrzymuje się wartość poszukiwanego naprężenia na końcu kroku.

Rozwiązywanie dyskretyzowanych równań ruchu ciepła

Równanie (19) jest układem N równań różniczkowych zwyczajnych o stałych (na kroku przyrostowym) współczynnikach, natomiast równanie (20) jest układem N równań algebraicznych o stałych (na kroku przyrostowym) współczynnikach. Równania te stanowią podstawę przybliżonego rozwiązania omawianego problemu.

Rozwiązanie układu równań (19) i (20) przy warunku początkowym polega na obliczeniu przyrostu temperatury w węzłach obiektu. Równanie (20) zawiera dwa razy więcej niewiadomych niż jest równań. W celu sprowadzenia liczby niewiadomych do liczby równań stosuje się następujące metody aproksymacji: Wilsona, Newmarka, Houbolta lub Newmarka- Wilsona. W metodach tych następuje wyrażenie wektora przyrostu prędkości temperatury w węzłach $\{{}_t^{\tau}\Delta\dot{\Theta}\}$ za pomocą przyrostu temperatury w węzłach ${}_t^{\tau}\Delta\Theta$. Powoduje to przekształcenie układu równań różniczkowych w układ równań algebraicznych.

Agorytm obliczeń numerycznych – krok po kroku

Obliczenia startowe

Nadanie wartości: $\{{}^0\boldsymbol{\Theta}\}$

Wybranie kroku czasowego Δt

Obliczenia dla każdego kroku

Formowanie macierzy: $[{}^t\mathbf{C}_1], [{}^t\mathbf{K}^k], [{}^t\mathbf{K}^c], [{}^t\mathbf{K}^r]$ i $[{}^t\mathbf{K}^{IV}]$.

Obliczenie efektywnej macierzy $[{}^t\widetilde{\mathbf{K}}]$:

$$[{}^t\widetilde{\mathbf{K}}]=[{}^t\mathbf{C}_1]+[{}^t\mathbf{K}^k]+[{}^t\mathbf{K}^c]+[{}^t\mathbf{K}^r]+[{}^t\mathbf{K}^{IV}]$$

Triangularyzacja: $[{}^t\widetilde{\mathbf{K}}]$

$$[{}^t\widetilde{\mathbf{K}}]=[{}^t\mathbf{L}][{}^t\mathbf{D}][{}^t\mathbf{L}]^T=\left\{{}_t^{\tau}\Delta Q\right\}+\left\{{}_t^{\tau}\Delta Q^I\right\} \tag{29}$$

W dyskretyzowanym układzie równań (31) macierz efektywna $[{}^t\widetilde{\mathbf{K}}]$ i wektor kolumnowy $\left\{{}_t^{\tau}\Delta Q^I\right\}$warunków brzegowych I rodzaju są znane z założenia. Natomiast wektor $\left\{{}_t^{\tau}\Delta Q\right\}$ jest nieznany, gdyż zależy on od nieznanego przyrostu temperatury na rozpatrywanym kroku. Stosując procedurę iteracyjną zakłada się, że część składowych wektora $\left\{{}_t^{\tau}\Delta Q\right\}$ jest znana z poprzedniej iteracji. Wówczas węzły modelu dyskretnego dzieli się na takie w których:

a) dany jest przyrost obciążenia cieplnego, a nieznany jest przyrost temperatury - n węzłów,

b) dany jest przyrost temperatury, a nieznany jest przyrost obciążenia cieplnego - w węzłów.

Prowadzi to do podziału układu równań ruchu ciepła (31) na dwa bloki:

$$\begin{bmatrix}[{}^t\widetilde{\mathbf{K}}_{11}^{nxn}] & [{}^t\widetilde{\mathbf{K}}_{12}^{nxw}]\\ [{}^t\widetilde{\mathbf{K}}_{21}^{wxn}] & [{}^t\widetilde{\mathbf{K}}_{22}^{wxw}]\end{bmatrix}\begin{Bmatrix}\{{}_t^{\tau}\Delta\Theta_1^{nx1}\}\\ \{{}_t^{\tau}\Delta\Theta_2^{wx1}\}\end{Bmatrix}=\begin{Bmatrix}\{{}_t^{\tau}\Delta\widetilde{\mathbf{Q}}_1^{nx1}\}\\ \{{}_t^{\tau}\Delta\widetilde{\mathbf{Q}}_2^{wx1}\}\end{Bmatrix}+\begin{Bmatrix}\{{}_t^{\tau}\Delta\mathbf{Q}_1^{Inx1}\}\\ \{{}_t^{\tau}\Delta\mathbf{Q}_2^{Iwx1}\}\end{Bmatrix}, \tag{30}$$

gdzie wektory kolumnowe $\{{}_t^{\tau}\Delta\boldsymbol{\Theta}_2^{wx1}\}$ i $\{{}_t^{\tau}\Delta\widetilde{\mathbf{Q}}_1^{nx1}\}$ są znane, natomiast wektory kolumnowe $\{{}_t^{\tau}\Delta\boldsymbol{\Theta}_1^{nx1}\}$ i $\{{}_t^{\tau}\Delta\widetilde{\mathbf{Q}}_2^{wx1}\}$ nie są znane.

Rozwiązanie następującego układu równań dyskretnych

$$[{}^t\widetilde{\mathbf{K}}_{11}]_{nxn}\{{}_t^{\tau}\Delta\Theta_1\}_{nxl}^{[i]}=\{{}_t^{\tau}\Delta\widetilde{\mathbf{Q}}_1\}_{nxl}^{[i-1]}+\{{}^t\Delta\mathbf{Q}_1^{\mathbf{I}}\}_{nxl}-[{}^t\widetilde{\mathbf{K}}_{12}]_{nxw}\{{}_t^{\tau}\Delta\Theta_2\}_{wxl}, \tag{31}$$

ze względu na wektora przyrostu temperatury $\{{}_t^{\tau}\Delta\boldsymbol{\Theta}_1^{nx1}\}$ na kroku czasowym przy użyciu zmodyfikowanej metody iteracyjnej Newtona-Raphsona.

Podstawienie wektora $\{{}_t^{\tau}\Delta\boldsymbol{\Theta}_1^{nx1}\}$ do układu równań dyskretnych:

$$\{{}^t\Delta\mathbf{Q}_2^{\mathbf{I}}\}_{wxl}^{[i]}=[{}^t\widetilde{\mathbf{K}}_{21}]_{wxn}\{{}_t^{\tau}\Delta\Theta_1\}_{nxl}^{[i]}+[{}^t\widetilde{\mathbf{K}}_{22}]_{wxw}\{{}_t^{\tau}\Delta\Theta_2\}_{wxl}-\{{}^t\Delta\mathbf{Q}_2^{\mathbf{I}}\}_{wxl}, \tag{32}$$

i obliczenie nieznanego wektora przyrostu obciążenia $\{{}^t\Delta\mathbf{Q}_2^{\mathbf{I}}\}_{wx1}^{[i]}$ w i-tej iteracji.

Obliczenie temperatury na końcu iteracji i:

$$\{{}^{\tau}\boldsymbol{\Theta}\}^{[i]}=\{{}^t\boldsymbol{\Theta}\}^{[i-1]}+\{{}_t^{\tau}\Delta\boldsymbol{\Theta}\}^{[i]}. \tag{33}$$

Podsumowanie

Stosowane obecnie metody obróbki ubytkowej przygotowania powierzchni (toczenie, szlifowanie, honowanie) nie zapewniają otrzymywania warstwy wierzchniej o wymaganych właściwościach. Zarys powierzchni jest stochastyczny a jej udział nośny liniowy jest zbyt mały. Części współpracujące, tworzące pary kinematyczne, obrobione tymi metodami zużywają się zbyt szybko.

Zwiększenie wymagań co do jakości części maszyn rolniczych i silników rolniczych powoduje konieczność wprowadzania nowych metod regeneracji oraz zwiększenia dokładności modelowania i analizy zjawisk fizycznych towarzyszących procesom regeneracji (wytwarzania). W pracy przedstawiono nowy sposób regeneracji części maszyn rolniczych metodami obróbki plastycznej. Ukształtowanie regularnych nierówności o spłaszczonych wierzchołkach pozwala wyeliminować niekorzystne zjawisko zużywania się części. Ponadto nagniatanie wprowadza naprężenia ściskające w warstwie wierzchniej co dodatkowo korzystnie wpływa na trwałość i niezawodność części.

Złożony charakter zjawisk zachodzących podczas kontaktu ciał oraz trudności w ich badaniu zmuszają do poszukiwania rozwiązań na drodze teoretycznej. Występujące nieliniowości oraz tylko częściowa znajomość warunków brzegowych, powodują że konieczne jest zastosowanie opisu przyrostowego. Otrzymane wyniki mają istotne znaczenie dla sterowania właściwościami części regenerowanych i dostosowanie ich jakości do odpowiednich warunków eksploatacji.

Bibliografia

Fic S. 1983. Doświadczalne i teoretyczne podstawy obróbki elektromechanicznej. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej Mechanika z. 77, Warszawa.

Kleiber M. 1989. Wprowadzenie do metody elementów skończonych. PWN, Warszawa-Poznań.

Kukielka L. 1998. Dynamic incremental nonlinear analysis of the burnishing rolling operation with electrical current. Zeszyt Naukowy Wydziału Mechanicznego Nr 22 Koszalin.

Kukiełka L. 1994. Teoretyczne i doświadczalne podstawy powierzchniowego nagniatania tocznego z elektrokontaktowym nagrzewaniem. Monografia WM nr 47, WSI, Koszalin.

Kukiełka L. Cienkowski W. Dudek P. 1997. Incremental model of yield stress of metals in the conditions of burnishing rolling operation with electrical current. 3-th International Conference on Computer Methods and Experimental Measurement for SURFACE TREATEMENT EFFECTS `97 Ed. M.H. Aliabadi, C.A. Brebbia Southampton-Boston.

Kukiełka L. Cienkowski W. Dudek P. 1998. Dynamiczna analiza stanów przemieszczenia i odkształcenia materiału przedmiotu podczas powierzchniowego nagniatania tocznego z elektrokontaktowym nagrzewaniem. XI Konferencja Naukowa Problemy Rozwoju Maszyn Roboczych Gliwice-Zakopane.

Kukiełka L. Przybylski M. Łukojko M. 1999. Zastosowanie metod optymalizacji do wyprowadzenia równania transportu ciepła w procesie nagniatania z elektrokontaktowym nagrzewaniem. Materiały Konferencji Polioptymalizacja i CAD, Koszalin-Mielno.

Mathia T. G. 1978. Etude d'une interface de glissement en lubrification monomoleculaire. Praca habilitacyjna, Uniwersytet Claude Bernard, Lyon, Francja.

Przybylski W. 1987. Obróbka nagniataniem. Technologia i oprzyrządowanie. WNT Warszawa.

ZNACZENIE WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNYCH SUROWCÓW ROŚLINNYCH W PROCESIE GRANULOWANIA

Janusz Laskowski, Stanisław Skonecki

Katedra Eksploatacji Maszyn Przemysłu Spożywczego
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
e-mail: janusz.laskowski@up.lublin.pl

Wstęp

Proces ciśnieniowego aglomerowania stosowany jest w wielu przemysłach (rolno-spożywczym, farmaceutycznym, metalurgicznym i innych) i stanowi przedmiot różnorodnych badań w wielu dziedzinach nauki. Badania własne aglomerowania obejmują zagęszczanie w komorze zamkniętej, wytłaczanie i granulowanie surowców i mieszanek paszowych oraz brykietowanie biomasy roślinnej – biopaliwa stałego [Kulig i Laskowski 2006; Laskowski 1989; Laskowski i in. 2005; Laskowski i Skonecki 1997, 2001; Skonecki i Laskowski 2010; Skonecki i Potręć 2008, 2010]. Badania własne wskazują, że proces zagęszczania występujący w każdej metodzie aglomerowania jest skomplikowany i zależy od wielu czynników (nie zawsze mierzalnych), które można podzielić na:

– właściwości fizyczne i skład chemiczny zagęszczanego materiału,
– procesowe związane z przygotowaniem materiału do procesu granulowania (skład granulometryczny, wilgotność, temperatura materiału) i brykietowania (naciski zagęszczające, prędkość zagęszczania),
– aparaturowo – konstrukcyjne (parametry matrycy czy też komory).

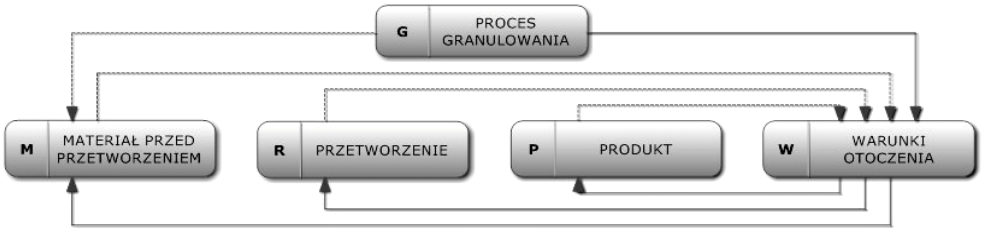
Charakterystyka i ocena procesu aglomerowania materiałów biologicznych wymaga kompleksowej analizy surowca pod względem właściwości fizycznych, chemicznych oraz cech biologicznych [Adapa i in. 2009; Hejft 2002; Kaliyan i Morey 2009; Laskowski 1989, Laskowski i in. 2005; Laskowski i Skonecki 1997; Mani i in. 2006; Obernberger i Thek 2004, Thomas i in. 1996, 1997, 1998]. Konieczne jest stosowanie jednorodnej metodyki badawczej [Jha i in. 2008, Laskowski 1989, Mani i in. 2006]. Ważnym zagadnieniem jest wyjaśnienie zmian zachodzących w materiale podczas jego obróbki przed i w trakcie zagęszczania. Wyznaczenie parametrów procesu pozwala na ilościową ocenę podatności surowca na

aglomerowanie oraz analizę jakości uzyskiwanego produktu – aglomeratu [Kulig i in. 2001; Jha i in. 2008; Laskowski i Skonecki 1997, 2001]. Należy przy tym zaznaczyć, że w praktyce występuje bardzo duża różnorodność właściwości wynikająca z natury surowca biologicznego i jego struktury. Powoduje to, że należy wybrać kryterialne właściwości stanowiące podstawę oceny surowca, półproduktu i produktu. Istotnym jest także wyznaczenie wpływu właściwości fizycznych na przebieg operacji jednostkowych i procesu technologicznego oraz ocena poprawności procesu technologicznego w oparciu o pomiar w linii wybranych właściwości przetwarzanego materiału.

Mając na uwadze powyższe, za cel pracy przyjęto przedstawienie w sposób metodyczny badania aglomerowania ze szczególnym uwzględnieniem znaczenia właściwości przetwarzanego materiału na przebieg procesu i jakość produktu.

Powiązanie właściwości fizycznych surowców z procesem granulowania – struktura badania procesu

Badania empiryczne i teoretyczne umożliwiły opracowanie struktury przetwarzania surowców biologicznych w procesie granulowania ujmującej wpływ ich właściwości na przebieg procesu i jakość uzyskanego produktu (rys. 1) [Laskowski 1989].

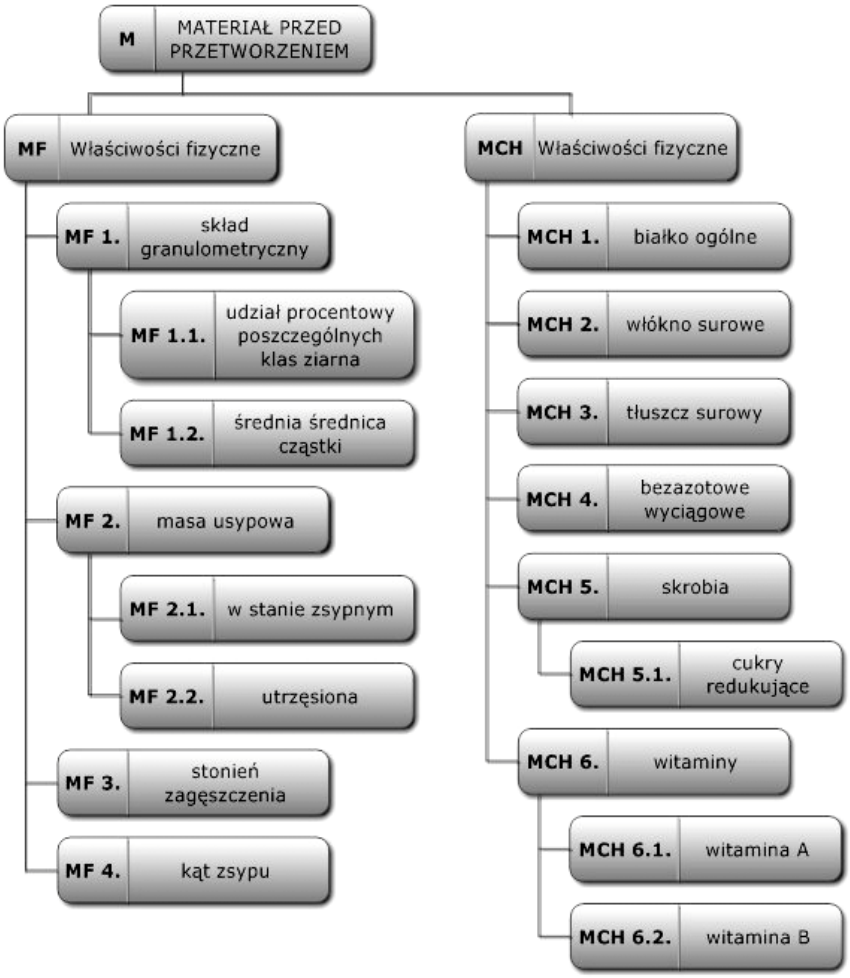


Źródło: [Laskowski 1989]

Rys. 1. Ogólna struktura procesu granulowania

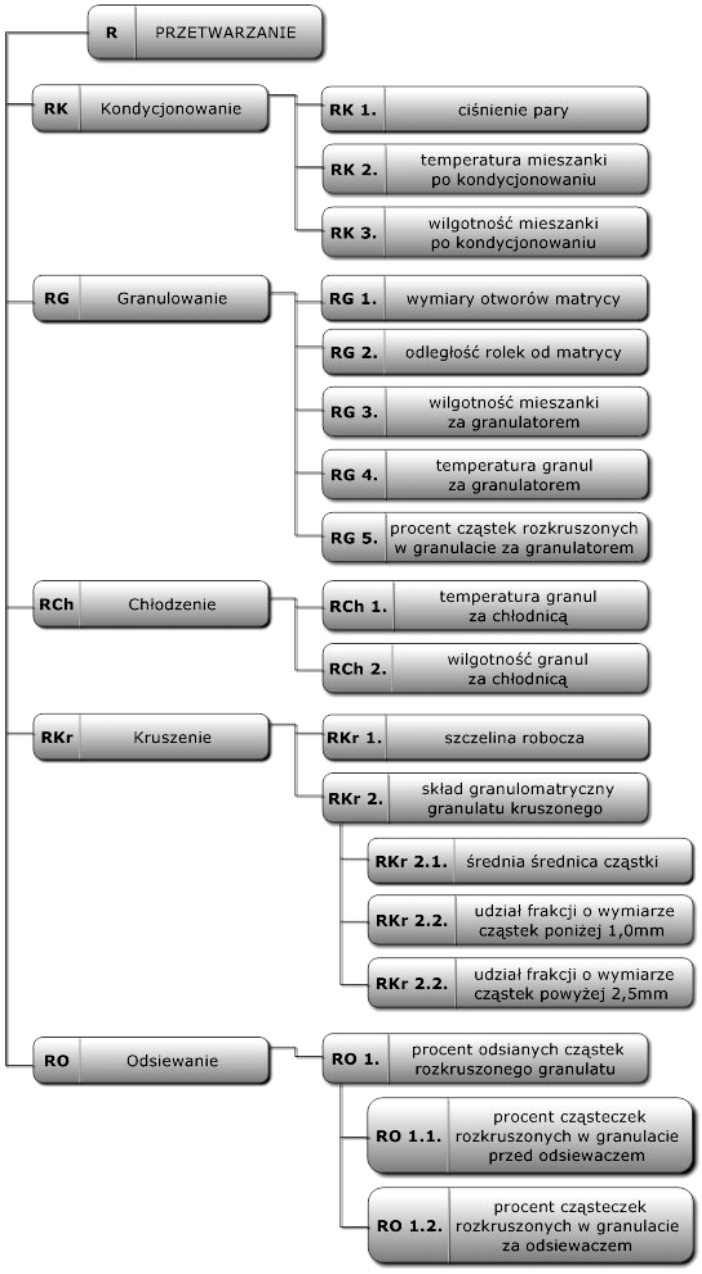
W procesie badawczym wyodrębniono cztery moduły: M – materiał przed przetworzeniem, R – przetwarzanie, P – produkt i W – warunki otoczenia. Linie ciągłe między modułami odzwierciedlają te połączenia, z których przynajmniej jedno musi zostać zrealizowane. Linie przerywane natomiast przedstawiają te powiązania, które mogą, ale nie muszą występować. Ważnym elementem jest wyznaczenie interakcji w module i pomiędzy nimi. Moduły „materiał przed zagęszczeniem", „przetworzenie", „produkt" zawierają informacje dotyczące rodzaju i zakresu danych potrzebnych do analizy procesu. Przedstawiają interakcje pomiędzy właściwościami fizykochemicznymi badanego materiału a jakością

uzyskanego aglomeratu z uwzględnieniem parametrów granulowania. Moduł „materiał przed przetworzeniem" (rys. 2) przedstawia podstawowe właściwości fizyczne i chemiczne danego materiału. Moduł „przetworzenie" (rys. 3) opisuje parametry procesu, a moduł „produkt" (rys. 4) uzyskany produkt (aglomerat). Moduł „warunki otoczenia" charakteryzuje otoczenie procesu, zawiera informacje o jego przeprowadzaniu. „Warunki otoczenia" są łącznikiem dla przyjętego zakresu badań, który umożliwia wymianę informacji pomiędzy poszczególnymi modułami.



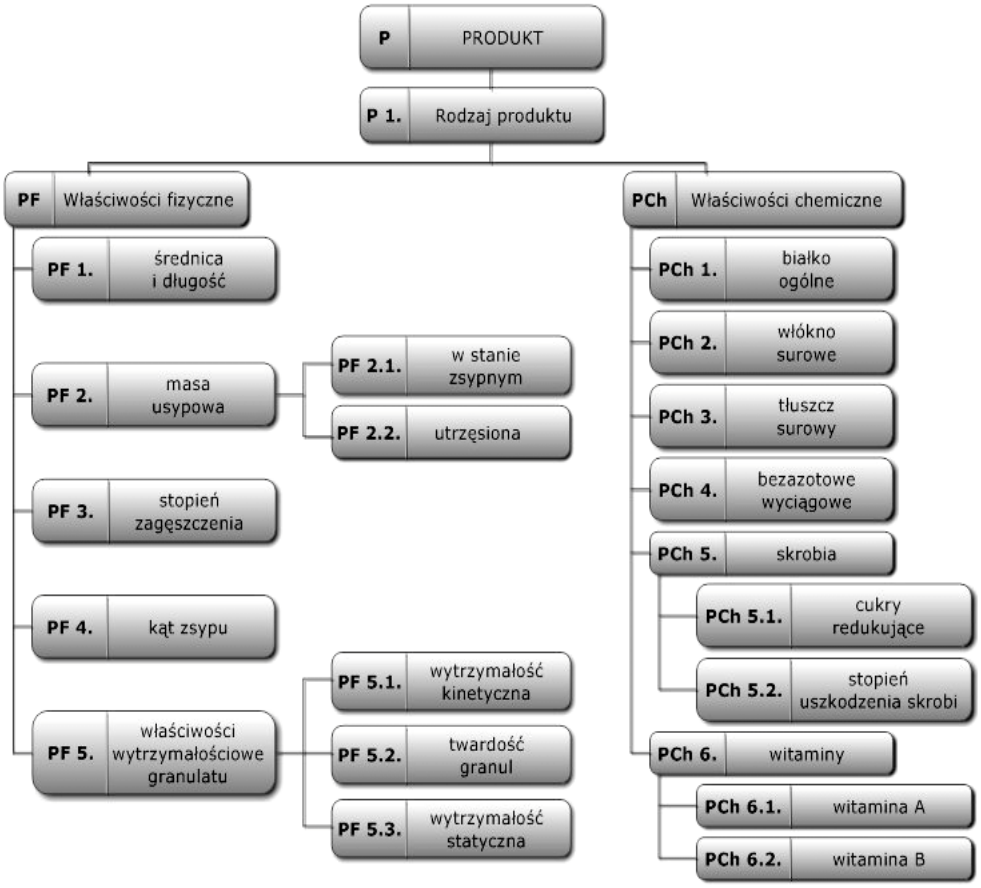
Źródło: [Laskowski 1989]

Rys. 2. Struktura modułu „M" opisującego materiał przed przetworzeniem w procesie granulowania



Źródło: [Laskowski 1989]

Rys. 3. Struktura modułu „R" opisującego sposób przetwarzania materiału w procesie granulowania



Źródło: [Laskowski 1989]

Rys. 4. Struktura modułu „P" opisującego produkt procesu granulowania

Każdy z wydzielonych elementów struktury ma swoją odrębną budowę oraz znaczenie w analizowanej metodzie produkcji pasz. Takie uporządkowanie umożliwia prowadzenie analizy wyników w danym ale uporządkowanym zakresie np.:

- przetwarzanie – produkt,
- parametry charakteryzujące przetwarzanie a właściwości fizyczne produktu,
- materiał przed przetwarzaniem – przetwarzanie – produkt.

Ta ostatnia grupa powiązań jest najliczniejsza [Laskowski 1989].

Wykorzystanie badań właściwości fizycznych surowców i ocena technologiczna surowców paszowych

Wykorzystanie badań właściwości fizycznych surowców powinno uwzględniać:

1. Ustalenie celowości wykonywania oznaczeń wybranych cech fizycznych dla:
– charakteryzowania surowców,
  - opisu poprawności procesów jednostkowych,
  - oceny jakości gotowego wyrobu.
2. Ustalenie metody oceny oddziaływania wybranej cechy na przebieg procesu i jakość gotowego wyrobu:
– ustalenie zakresu zmienności rozpatrywanej cechy,
– ustalenie sposobu oceny wpływu właściwości surowca na parametry procesu i jakość gotowego wyrobu.
3. Ustalenie parametrów technicznych i technologicznych przy zachowaniu których analizowany będzie wpływ wybranych właściwości na uzyskiwane wyniki badań:
– ustalenie parametrów technicznych np.: wymiary kanałów w matrycy, obroty matrycy, obciążenie silnika i.t.d.,
– ustalenie parametrów technologicznych np.:
  - ciśnienie i temperatura pary,
  - temperatura kondycjonowania,
  - zawartość tłuszczu w mieszance,
  - i inne zgodnie z celem i zakresem.

W analizie w pierwszej kolejności ważnym jest ustalenie właściwości fizycznych wpływających na proces granulowania. Wymienić można: właściwości wytrzymałościowe ziarna, skład granulometryczny, średni wymiar cząstek, wilgotność, gęstość w stanie zsypnym i utrzęsionym i inne – zgodnie z celem i zakresem. Należy przy tym uwzględnić, że większość właściwości jest ściśle związana z właściwościami chemicznymi (głównie zawartością tłuszczu, włókna, białka, węglowodanów).

Jednym z podstawowych wymagań stawianych surowcom w procesie aglomerowania jest ich właściwe rozdrobnienie i wilgotność. Stopień rozdrobnienia surowców (średni wymiar cząstek) ma istotny wpływ zarówno na sam proces technologiczny (aglomerację), jak i na jakość granulatu. Zalecenia można przedstawić następująco:

– ogólny wymóg – wymiar cząstek powinien być poniżej ″ średnicy otworów w matrycy (inny – 100% przesiewu przez sito o wymiarach ustalonych dla danej mieszanki),
– wzrost stopnia rozdrobnienia zwiększa gęstość, a to z kolei poprawia wydajność linii granulowania,

– ograniczenie udziału frakcji pylistej i cząstek dużych (większa powierzchnia właściwa szybciej absorbuje ciepło i wilgoć podczas kondycjonowania i zwiększa się liczba punktów styczności – łatwiej powstają wiązania między cząstkami i zmniejszają się opory przetłaczania),
– według firmy Holmen zalecany jest następujący skład mieszanki kierowanej do granulatora: 3,35 mm – do 1%, 2 mm – do 5%, 1 mm – ok. 20%, 0,5 mm ok. – 30%, 0,25 mm – ok. 24%, poniżej 0,25 mm – nie mniej niż 20%,
  - gęstość – ogólnie przyjmuje się, że gdy wymiar cząstek i ich rozkład zapewniają wysoką gęstość to mieszanka wymaga niższego ciśnienia prasowania,
  - wilgotność – wpływa korzystnie w zakresie nie powodującym wystąpienia poślizgów pomiędzy rolkami wytłaczającymi i matrycą – dla większości przypadków jako wartość graniczną przyjmuje się 17% (po kondycjonowaniu).

Wytrzymałość aglomeratów zależy od kształtu cząstek i składu granulometrycznego. Im bardziej rozdrobniony jest materiał tym większe siły spójności powstają między ziarnami ośrodka w stanie skonsolidowanym. W konsekwencji ułatwia to powstawanie wiązań między cząstkami materiału oraz redukuje wartość nakładów energetycznych ponoszonych w procesie. Udział frakcji bardzo drobnych nie sprzyja brykietowaniu materiałów paszowych pochodzenia roślinnego.

Zarówno właściwości fizyczne jak i chemiczne decydują o podatności surowca na granulowanie. Dla oceny technologicznej surowców paszowych należy uwzględnić, że podatność na granulowanie ujmuje wpływ zespołu właściwości fizyko-chemicznych na przebieg procesu granulowania oceniany uzyskiwaną wydajnością, energochłonnością i wytrzymałością granulatu. Dobra podatność oznacza wytłaczanie materiału przy mniejszych naciskach i oporach przetłaczania oraz uzyskiwanie spójnych wytrzymałych granul. Są różne metody wyrażania podatności surowców do granulowania:
– firma Holmen dla surowców paszowych przyjmuje następujące wyróżniki i skalę ocen:
  - jakość granul – 0÷10 (jęczmień 5; owies 2; susz z traw 7; mleko w proszku 9),
  - wydajność prasy – 0÷10 (jęczmień 6; susz 2; mleko w proszku 2),
  - efekt tarcia – 0÷10 (jęczmień 5; susz 8; mleko w proszku 5),
  - gęstość – $kg \cdot m^{-3}$ (jęczmień – 480; susz – 320; mleko w proszku – 640),
– jakość granul – określa wpływ surowca na uzyskiwany granulat (wyższy wskaźnik – lepsza jakość),
– wydajność prasy – określa wpływ surowca na uzyskiwaną wydajność (wyższy wskaźnik – wyższa wydajność),
– efekt tarcia – decyduje o długości użytkowania matrycy (im wyższy wskaźnik tym wyższa ścieralność matrycy przez surowiec),

– białko – duża zawartość białka oznacza dobrą podatność na granulowanie (zmniejsza się zapotrzebowanie na energię, wynikiem zabiegów cieplnych jest uplastycznienie się białka tworzącego strukturę (szkielet) w której rozmieszczona jest skleikowana skrobia),
– tłuszcz – poprawia wydajność i zmniejsza nakład energii na granulowanie, pogarsza spójność granul (nanoszenie tłuszczu na granulat lub dodawanie substancji lepiszczowej). Według badań własnych przy 80°C i stopniu sprężania 12-18, nawet 9% tłuszczu pozwala uzyskać granulat o dobrych właściwościach [Laskowski 1984],
– włókno – znaczna zawartość utrudnia przejście przez otwory matrycy zwiększając współczynnik tarcia. Im więcej włókna tym trudniej dodać do mieszanki parę. Włókno zwiększa spoistość powstających granul (rozpuszczone i rozluźnione związki ligninowe obecne we włóknie zwiększają oddziaływanie sił spójności podczas aglomeracji).

Podsumowując należy powiedzieć, że w analizie procesu granulowania zgodnie z przedstawionym schematem (rys. 1-4) zakres badań może obejmować między innymi określenie wpływu parametrów matrycy, ciśnienia i temperatury pary, wilgotności surowca, składu chemicznego surowca, stopnia rozdrobnienia i innych na:
– parametry granulowania i produktu,
– nakłady energii cieplnej i elektrycznej,
– wydajność,
– zużycie jednostkowe energii,
– temperaturę i wilgotność granulatu,
– wytrzymałość granulatu,
– cechy wymiarowe i inne fizyczne granulatu.

Należy przy tym zaznaczyć, że w praktyce badawczej często spotykanym zjawiskiem jest:
– brak powiązania wykonanych oznaczeń właściwości fizycznych z parametrami opisującymi badany proces,
– przyjmowanie zakresu zmienności badanych właściwości fizycznych bez próby uzasadnienia ich dotychczasowymi wynikami badań,
– przyjmowanie błędnych parametrów procesu (np.: podawanie temperatury kondycjonowania o zakresie zmienności $\pm 10^{o}$C, lub też przyjmowanie temperatury kondycjonowania o wartości odbiegającej od wymaganej temperatury dla danego typu mieszanki).

Inną uwagą jest podawanie ciśnienia pary przy całkowitym pominięciu informacji o temperaturze do której jest doprowadzana mieszanka podczas kondycjonowania.

Wnioski

1. Proces granulowania związany jest ściśle z wzajemnym oddziaływaniem właściwości – przetwarzania – produktu.
2. Właściwości surowców decydują zarówno o doborze parametrów przetwarzania (wymiary otworów matrycy, temperatury kondycjonowania itd.) jak i jakości uzyskiwanego granulatu.
3. Analiza właściwości surowców poddawanych przetwarzaniu w powiązaniu z parametrami techniczno-technologicznymi pozwala na optymalizację procesu granulowania.

Bibliografia

Adapa P., Tabil L., Schoenau G. 2009. Compaction characteristics of barley, canola, oat and wheat straw. Biosystems Engineering. 104.

Hejft R. 2002. Ciśnieniowa aglomeracja materiałów roślinnych. Politechnika Białostocka, Wyd. i Zakład Poligrafii Instytutu Technologii Eksploatacji w Radomiu.

Jha S.K., Singh A., Kumar A. 2008. Physical characteristics of compressed cotton stalks. Biosystems Engineering. 99(2).

Kaliyan N., Morey R.V. 2009. Densification characteristics of corn stover and switchgrass. Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers. 52(3).

Kulig R., Laskowski J. 2006. Wpływ wybranych właściwości surowców na cechy wytrzymałościowe granulatu. Inżynieria Rolnicza. Nr 13(88). Kraków.

Kulig R., Laskowski J., Skonecki S. 2001. Wpływ stopnia rozdrobnienia na parametry zagęszczania śruty zbożowej. Inżynieria Rolnicza. Nr 2(22). Kraków.

Laskowski J. 1984. Utilisation de graines entiers de colza en alimentation animal – Etude technologique. Institut National de la Recherche Agronomique, Centre de Recherche de Nantes; Nantes, Juin.

Laskowski J. 1989. Studia nad procesem granulowania mieszanek paszowych. Wydawnictwo Akademii Rolniczej, Seria Wyd. Rozp. Nauk., 113, Lublin.

Laskowski J., Łysiak G., Skonecki S. 2005. Mechanical properties of granular agromaterials and food powders for industrial practice. Part II. Material properties in grinding and agglomeration. Centre of Excellence for Applied Physics in Sustainable Agriculture AGROPHYSICS, Institute of Agrophysics PAS, Lublin.

Laskowski J., Skonecki S. 1997. Influence of moisture on the physical properties and parameters of the compression process of legumes'seeds. Int. Agrophysics. 11.

Laskowski J., Skonecki S. 2001. Badania procesów aglomerowania surowców paszowych – aspekt metodyczny. Inżynieria Rolnicza. Nr 2(22). Warszawa

Mani S., Tabil L.G., Sokhansanj S. 2006. Effects of compressive force, particle size and moisture content on mechanical properties of biomass pellets from grasses. Biomass and Bioenergy. 30(7).

Obernberger I., Thek G. 2004. Physical characterization and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behavior. Biomass and Bioenergy. 27(6).

Skonecki S., Laskowski J. 2010. Wpływ wilgotności śruty zbożowej na proces wytłaczania. Acta Agrophysica. 15(1).

Skonecki S., Potręć M. 2008. Wpływ wilgotności łusek kolb kukurydzy na parametry zagęszczania. Acta Agrophysica. 11 (3).

Skonecki S., Potręć M. 2010. Wpływ wilgotności na ciśnieniowe zagęszczanie biomasy roślinnej. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. Z. 546.

Thomas M, van der Poel A.F.B. 1996. Physical quality of pelleted animal feed. 1. Criteria for pellet quality. Animal Feed Science Technology. 61.

Thomas M, van Vliet T, van der Poel A.F.B. 1998. Physical quality of pelleted animal feed 3. Contribution of feedstuff components. Animal Feed Science Technology. 70.

Thomas M., van Zuilichem D.J., van der Poel A.F.B. 1997. Physical quality of pelleted animal feed. 2. Contribution of processes and its conditions. Animal Feed Science Technology. 64. s.

BIOMASA JAKO ŹRÓDŁO ENERGII ODNAWIALNEJ

Aleksander Lisowski

Katedra Maszyn Rolniczych i Leśnych
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
e-mail: aleksander_lisowski@sggw.pl

Wstęp

Według najnowszych prognoz [World Energy Outlook… 2010] światowy udział wykorzystania nowoczesnych źródeł energii – obejmujących energię potencjału wodnego, wiatru, promieniowania słonecznego, geotermalną, pływów i fal morskich oraz nowoczesnej biomasy – zwiększy się z 7% w 2008 do 14% w 2035 roku. Zużycie tradycyjnej biomasy zwiększy się nieznacznie do 2020 roku, a następnie spadnie poniżej obecnego poziomu w 2035 roku wraz ze wzrostem wykorzystania nowoczesnych paliw w gospodarstwach domowych w krajach rozwijających się. Prognozy przygotowywane przez światowe gremia są doraźnie korygowane, w zależności od stanu gospodarki, zmieniającej się pod wpływem czynników klimatycznych oraz działań spekulacyjnych, których konsekwencją są kryzysy globalne. Ostatni kryzys finansowy, zapoczątkowany w 2007 roku przeradza się obecnie (2011 r.) w kryzys żywnościowy, którego skutki, zwłaszcza w odniesieniu do akceptacji wykorzystania biomasy roślinnej na cele energetyczne, mogą być głębokie. Światowe wykorzystanie biomasy dla potrzeb energetycznych w 2006 roku wynosiło 1 186 Mt_{oe} (milion ton ekwiwalentu ropy naftowej), a według New Policies Scenario do 2030 roku ma osiągnąć 1 660 Mt_{oe} [World Energy Outlook… 2008]. Przy szybko rosnącym światowym zapotrzebowaniu na energię pierwotną 10% udział w niej biomasy będzie się do roku 2030 utrzymywał. W 2006 roku w globalnym zużyciu biomasy tylko niecałe 40% wykorzystano w technologiach nowoczesnych, w tym do produkcji biopaliw 5%, ciepła 63% i w kogeneracji (energii elektrycznej i ciepła) 18%. Do produkcji energii elektrycznej wykorzystano około 7% (239 TWh) całkowitej biomasy, z tego około 35,5 Mt_{oe} w elektrowniach o sprawności 18-22%, a pozostałą ilość w elektrociepłowniach [Rakowski 2010].

Z przytoczonych danych i prognoz wynika, że największy udział w produkcji energii elektrycznej przez OZE w 2030 roku będzie miała biomasa – wykorzystywana zarówno w kogeneracji, jak i współspalaniu w konwencjonalnych jednostkach energetycznych.

Biomasa, jako odnawialne źródło energii, w porównaniu z konwencjonalnymi źródłami energii oraz z niektórymi innymi OZE, ma wiele zalet, ale też i wad [Dreszer i in. 2003; Wandrasz, Wandrasz 2006; Żmuda 2009; Golec i in. 2010a; Lisowski i in. 2010].

Do zalet biomasy można zaliczyć następujące cechy:

- zerowy bilans emisji CO_2 uwalnianego podczas spalania,
- mniejsza emisyjność innych produktów spalania (SO_2, NO_x, CO) oraz mniejsza ilość popiołu (oprócz spalania pomiotu kurzego) niż z paliw kopalnych,
- wykorzystanie lokalnych zasobów energetycznych i zmniejszenie marnotrawstwa nadwyżek żywności oraz wykorzystania odpadów z produkcji przemysłu rolnego i leśnego,
- relatywnie niskie nakłady finansowe na jej wytworzenie,
- wyprodukowanie jednostki energii z biomasy wymaga kilkakrotnie mniejszych nakładów inwestycyjnych niż z innych rodzajów energii odnawialnej,
- dywersyfikacja produktowa paliwa, gdyż w zależności od składu chemicznego biomasa może być przeznaczana do bezpośredniego spalania, wykorzystywana do produkcji biogazu lub przetwarzana na ciekłe paliwa silnikowe (biodiesel lub bioetanol),
- mniejsza zależność od krótkookresowych zmian pogody (tylko niektóre rodzaje biomasy),
- pewniejsze dostawy surowca w kraju, w porównaniu do importu ropy i gazu,
- zmniejszenie szkód w środowisku związanych z wydobyciem paliw kopalnych,
- stworzenie możliwości wsparcia regionalnym strukturom gospodarczym i pozyskiwania przychodów dla gospodarstw rolnych oraz wspomagania zrównoważonego rozwój rolnictwa,
- stworzenie nowych miejsc pracy i zwiększenie aktywności lokalnych społeczności, głównie na wsi,
- decentralizacja produkcji energii i zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego.

Do wad biomasy można zaliczyć:

- stosunkowo małą gęstość nasypową o dużym zakresie (40-800 $kg \cdot m^3$) i właściwą (600-1100 $kg \cdot m^3$), generującą zwiększenie kosztów transportu i przestrzeni magazynującej oraz utrudniającą dozowanie (dla węgla wartości te wynoszą odpowiednio 650-925 $kg \cdot m^3$ i 1300-1400 $kg \cdot m^3$),
- szeroki przedział wilgotności (15-60%), utrudniający jej przygotowanie do wykorzystania w celach energetycznych,
- mniejszą o 20-50% wartość energetyczną niż paliwa kopalne, co wpływa na zwiększenie zapotrzebowania ilościowego biomasy dla osiągnięcia takiej samej ilości energii,
- wysoką zawartość części lotnych (2,5-krotnie większą niż w węglu kamiennym) istotnie zmieniającą warunki dynamiczno-termiczne procesu spalania,

- większą zawartość tlenku wapnia, alkaliów, zwłaszcza potasu i fosforu, zmienną i czasem dużą zawartość chloru, która może prowadzić do intensywniejszej korozji oraz narastania agresywnych osadów w kotle podczas jej bezpośredniego spalania,
- spalanie biomasy zawierającej pestycydy, tworzywa sztuczne czy związki chloropochodne powoduje powstawanie związków o toksycznym i rakotwórczym działaniu,
- dostępność sezonowa niektórych rodzajów biomasy,
- w odniesieniu do biomasy roślinnej ryzyko wprowadzania monokultury w uprawie roślin.

Opisane prognozy wykorzystania OZE, w tym biomasy oraz jednocześnie gwałtowny wzrost populacji świata (obecnie jest już ponad 7 miliardów ludzi), nadzwyczajny rozwój średniej klasy dochodowej i intensyfikujący się efekt cieplarniany stawia wyzwania dla sfery nauki i biznesu w celu wyeliminowania marnotrawstwa i nieefektywnego gospodarowania zasobami energetycznymi. Konwergencja tych wysoce dynamicznych sił prowadzi ludzkość do nowej ery, która Thomas L. Friedman [2008] określił jako erę klimatu energetycznego (Energy-Climate Era). Konieczne jest zatem poszukiwanie strategii rozwoju i implementacji technologii czystej energii, poprawy technicznej sprawności systemów wytwarzania i przesyłu energii oraz racjonalnego wykorzystania energii [Krawiec 2010]. Otwarte jest pytanie co do kierunku rozwoju OZE oraz ich sposobów wykorzystania, zwłaszcza biomasy, która ma różne źródła pochodzenia i charakteryzuje się dynamicznymi cechami fizykochemicznymi, wpływającymi na procesy jej konwersji do paliw stałych, ciekłych lub gazowych. Produkcja biomasy, zwłaszcza roślinna, wymaga wielokierunkowych działań i interdyscyplinarnych badań, począwszy od biotechnologii, agrotechniki, zbioru, poprzez konwersję, a skończywszy na zagospodarowaniu produktów spalania, w tym popiołu ze spalania biomasy. Każde z tych działań stwarza szansę i możliwości rozwiązywania problemów, do których będą potrzebne nowe narzędzia, nowa infrastruktura, nowe sposoby myślenia i formy współpracy z innymi.

Potencjał biomasy i prognoza jej wykorzystania

Biomasa, jako materia organiczna zawarta w organizmach zwierzęcych lub roślinnych ulega biodegradacji w obecności organizmów aerobowych i anaerobowych. Jest to proces rozkładu substancji charakteryzującej się hydrofilowością, która zmniejsza jednak właściwości wytrzymałościowe materii [Wandrasz, Wandrasz 2006] i w konsekwencji paliw formowanych. Specyficzną cechą biomasy jest jej różnorodność, jako materiału wyjściowego oraz końcowy rodzaj energii, jaką można uzyskać z danej biomasy.

Biomasę mogą stanowić produkty roślinne wytwarzane na polach i użytkach zielonych (słoma (5-8 Mt, a potencjał teoretyczny 25 Mt) i inne pozostałości roślinne, trawa z nieużytków, surowiec z roślin energetycznych (drzewa, trawy, byliny), rośliny oleiste); surowce wytwarzane w gospodarstwie rolnym (obornik,

gnojowica 35-38 Mm^3, inne produkty dodatkowe i odpady organiczne); drewno najgorszej jakości i odpady pochodzące z lasów (8,8 Mt_{oe}) lub sadów (drewno kawałkowe, tarcica, chrust, trociny, wióry, zrębki, kora); odpady pochodzące z przemysłu celulozowo-papierniczego, tekstylnego, rolno-spożywczego (wytłoki, melasa, wysłodki, odpady olejarskie, winiarskie, z mleczarni i serowni, zepsuty i przeterminowany materiał siewny, odpady poubojowe 0,661 Mt_{oe}); z gospodarki komunalnej (makulatura) lub wysypiska lub osady ściekowe (2,5 Mt) przetwarzane na biogaz (odpady organiczne razem stanowią około 6 Mt_{oe}) [Dreszer i in. 2003, Arseniak 2007; Jastrzębska 2007; Szyszak-Bargłowicz, Piekarski 2009; Żmuda 2009].

Biomasa jest zasobem ograniczonym, o określonym potencjale na danym obszarze, wyznaczonym przez dostępną powierzchnię ziemi, gleby i klimatu, ale także przez ekonomicznie uzasadnione inwestycje. Gdybyśmy chcieli pozyskać energię z biomasy zużywaną obecnie w skali globalnej, to potrzebna byłaby powierzchnia równoważna trzem powierzchniom Ziemi. Dlatego też nie jest możliwe spełnić jednocześnie wszystkich potrzeb energetycznych (energia elektryczna, ciepło, paliwa transportowe) przy użyciu tego samego zasobu, tym bardziej, że potrzebujemy także biomasy do produkcji żywności i pasz lub do celów przemysłowych. Nie wszystkie dostępne obszary rolne mogą być wykorzystane do uprawy roślin przeznaczanych na cele energetyczne i konieczne jest zachowanie bioróżnorodności. Obecnie przyjmuje się, że w celu zachowania bezpieczeństwa żywnościowego i ekonomicznego można przeznaczyć 4% użytków rolnych na cele energetyczne.

Analizując zasoby biomasy należy uwzględnić jej zróżnicowany energetyczny potencjał [Hoogwijk, Graus 2008; Krewitt 2008; Rakowski 2010]: teoretyczny (wszystkie zasoby jedynie z ograniczeniami naturalnymi i klimatycznymi), techniczny (ograniczenia w przerobie), ekonomiczny (potencjał techniczny akceptowany ekonomicznie), rynkowy (rzeczywiste koszty, subsydia, ograniczenia), wdrożeniowy (zależny od struktury systemu dystrybucji, lokalnego zapotrzebowania na czystą energię, polityki energetycznej i środowiskowej).

Przeprowadzone szacunki potencjału teoretycznego, technicznego i ekonomicznego produkcji wierzby, miskanta i ślazowca, z uwzględnieniem istotnych uwarunkowań rolniczych i przyrodniczo-środkowiskowych doprowadziły do wniosku, że powierzchnia gruntów realnie możliwa do wykorzystania pod produkcję biomasy wynosi 340 tys. ha, zaś ekonomiczny potencjał 3,66 Mt biomasy w stanie suchym [Faber 2010]. Taka ilość biomasy mogłaby pokryć 33% zapotrzebowania na biomasę 20 największych elektrowni systemowych w Polsce.

Obecny udział biomasy w zaspokajaniu światowych potrzeb energetycznych wynosi 15% (a energii elektrycznej tylko 2%) i bazuje głównie na odpadach z rolnictwa i leśnictwa oraz bezpośredniego wykorzystania lasów [Rakowski 2010]. Europejski (25 krajów UE) potencjał techniczny biomasy w całkowitej energii pierwotnej taką wartość osiągnie dopiero w 2030 roku (295 Mt_{oe}) [How much can … 2006], a obecnie stanowi 13% [Renewables 2010]. Potencjał biomasy możliwy do zagospodarowania w Polsce wynosi około 8 GW, co stanowi prawie 20% krajowego zużycia energii [Jankowski 2002]. Długofalowe wyznaczenie potencjału biomasy w skali globalnej (tab. 1) może bazować tylko na bardzo przybliżonych szacunkach [Rakowski 2010].

Tabela 1. Przewidywany światowy potencjał techniczny biomasy dla energetyki w 2050 roku

Rodzaj biomasy	Uwagi	Potencjał techniczny biomasy w 2050 roku
Biomasa z obecnych użytków rolnych	Szacowane nadwyżki użytków rolnych wynoszą obecnie 1-2 Gha, a przy lepszych odmianach roślin, właściwym nawożeniu[1)] i stosowaniu pestycydów[1)] nadwyżki te można byłoby zwiększyć do 4 Gha. Ich wykorzystanie do produkcji roślin energetycznych mogłoby pozwolić na osiągnięcie plonów biomasy 8-12 ts.m.[2)]/ha/rok.	100-300 EJ·rok^{-1} (2500-7500 Mt_{oe}·rok^{-1}) max. 700 EJ·rok^{-1} (max. ~17000 Mt_{oe}·rok^{-1})
Biomasa z marginalnych użytków rolnych	Użytki rokujące plony 2-5 ts.m./ha/rok uznano za marginalne. Oszacowano, że w skali globalnej ich powierzchnia może osiągnąć 1,7 Gha.	60-110 EJ·rok^{-1} (<1500-2500 Mt_{oe}·rok^{-1})
Odpady rolnicze	Zgodnie z zasadami racjonalnej gospodarki odpady rolnicze powinny ponownie trafiać do gleby w celu jej użyźnienia. Ich konwersja na biopaliwo mogłaby dać korzyść 15-70 EJ. Wymagałoby to ekwiwalentnego nawożenia gleby.	15-70 EJ·rok^{-1} (350-1700 Mt_{oe}·rok^{-1})
Odpady leśne	Dolna granica potencjału lasu jest zależna od polityki eksploatacyjnej (standardy, ograniczenia, logistyka). Górną granicą jest potencjał techniczny. Istotne są odpady, w tym z przemysłu drzewnego.	30-150 EJ·rok^{-1} (700-3500 Mt_{oe}·rok^{-1})
Obornik	Dolna granica potencjału obornika jest podyktowana jego aktualnym zużyciem , a górna – potencjałem technicznym. Długofalowe oszacowanie potencjału jest niepewne.	5-55 EJ·rok^{-1} (120-1300 Mt_{oe}·rok^{-1})
Odpady organiczne	Potencjał zależy od stopy życiowej na rozpatrywanym obszarze i obejmuje odpady komunalne oraz zużyte drewno odpadowe.	5-50 EJ·rok^{-1} (120-1200 Mtoe·rok^{-1})
Potencjał sumaryczny	Dolna granica – scenariusz pesymistyczny: bioenergia tylko z odpadów. Górna granica – scenariusz optymistyczny: bioenergia z intensywnego rolnictwa na jakościowo lepszych glebach. W nawiasach: wartości średnie.	40-1100 EJ·rok^{-1} (200-400 EJ·rok^{-1}) 1000-25000 Mt_{oe}·rok^{-1} (5000-10000 Mt_{oe}·rok^{-1})

Źródło: [Rakowski 2010]

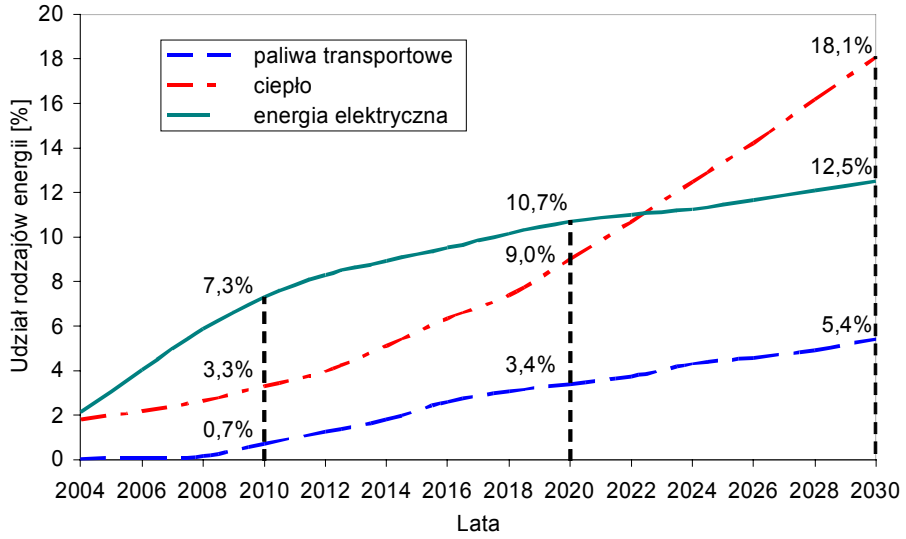
Uwagi:
[1)] nadmierne ich stosowanie może ujemnie wpływać na środowisko naturalne
[2)] ton suchej substancji o wartości opałowej 19 GJ·t^{-1}

Wiele krajach europejskich zwiększa udział biomasy w produkcji energii elektrycznej (do 16 GW) i w 2009 roku całkowity jej udział w OZE wynosił w Austrii 7%, Finlandii 20% i Niemczech 5% [Renewables 2010]. W globalnej produkcji

energii elektrycznej z biomasy 54 GW ranking krajów o największym jej wykorzystaniu otwierają USA, Brazylia, Niemcy, Chiny i Szwecja. Na początku 2010 roku w Europie 800 elektrowni wykorzystywało biomasę do spalania, generując z niej moc 7 GW. W 2009 roku w wyprodukowanym cieple o wartości 500 GWth biomasa stanowiła ponad połowę (270 GWth).

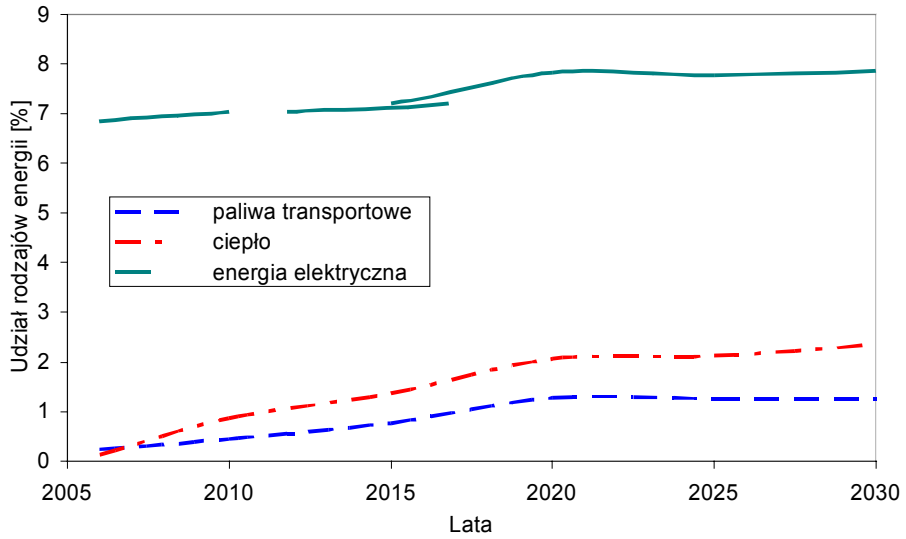
Do 2030 roku w krajach EU-25 [Maximizing the environmetal… 2008] wykorzystanie biomasy do produkcji ciepła będzie się zwiększać progresywnie, a do produkcji energii elektrycznej i paliw transportowych degresywnie (rys. 1). Scenariusz udziału biomasy w zapotrzebowaniu na energię finalną brutto w Polsce [Prognoza zapotrzebowania… 2009] jest nieco inny, gdyż przewiduje jej dość intensywne zwiększenie do 2020 roku, a następnie do 2030 roku stabilizację w poszczególnych sektorach zastosowań (rys. 2).

Większość nowocześniejszych rozwiązań technicznych wykorzystuje technologie kogeneracyjne – skojarzoną produkcję energii elektrycznej i ciepła. Najszybciej może być pozyskiwana bioenergia z odpadów oraz bioenergia leśna. Bioenergia rolnicza wydaje się bardziej obiecująca ale osiągnięcie jej znaczącego przyrostu wymaga dłuższego czasu. Wiąże się to z dalszym wzrostem produktywności, dalszą liberalizacją rynków rolno-spożywczych oraz dalszym wprowadzaniem wysokoplennych odmian roślin energetycznych. Ze względów rolniczych, odporności na wyleganie i pewności plonowania najmniej zawodne w pozyskaniu surowca są gatunki dające biomasę w postaci drewna, czyli wierzby krzewiastej, topoli i robinii akacjowej [Tworkowski i in. 2010].



Źródło: opracowanie własne na podstawie [Maximizing the environmetal… 2008]

Rys. 1. Prognozowany podział bioenergii według sektorów zastosowań w krajach EU-25



Źródło: opracowanie własne na podstawie [Prognoza zapotrzebowania… 2009]

Rys. 2. Prognozowany podział bioenergii według sektorów zastosowań w Polsce

Drzewa, krzewy, trawy i byliny mogą być zbierane przy zastosowaniu różnych technologii, które ewolucyjnie rozwijały się, stosowanie do postępu technicznego.

Technologie zbioru roślin energetycznych

Dobór technologii zbioru roślin energetycznych zależy od ich gatunków. Krzewy i drzewa szybo rosnące, do których można zaliczyć wierzbę krzewiastą (konopiankę), różę wielokwiatową, topolę i robinię akacjową, można zbierać jedno- lub dwuetapowo w cyklach jednorocznych lub częściej w wieloletnich [Lisowski i in. 2010]. Krzewy takie jak róża wielokwiatowa i robinia akacjowa oraz byliny (ślazowiec pensylwański, słonecznik bulwiasty) i trawy wieloletnie o szlaku fotosyntezy C_4 (miskant, proso rózgowate, spartina preriowa, palczatka Gerarda) i C_3 (mozga trzcinowata) można również zbierać jedno- lub dwuetapowo, ale wyłącznie w cyklu jednorocznym.

Do zbioru jednoetapowego najczęściej stosuje się sieczkarnie polowe, zarówno ciągnikowe, jak i samojezdne, które w przypadku zbioru 3-letniej wierzby są wyposażone w przystawkę z piłą tarczową (HS2, CRL, Woodcut 750, Woodcut 1500, 130FB SRC Woody Crop Header) lub łańcuchową (Bender 6WG). W tym zakresie innowacyjne rozwiązania zaproponowały zespoły naukowców z PIMR (sieczkarnia zawieszana) oraz z Katedry Maszyn Rolniczych i Leśnych SGGW w Warszawie

we współpracy z konstruktorami SIPMA SA w Lublinie (sieczkarnia półzawieszana).

Zbiór całych pędów w cyklach jednorocznych wykonujemy z użyciem takich maszyn jak: żniwiarki (projekt PIMR), wiązałki (Bundler firmy Salix Maskiner) oraz specjalnie do tego celu skonstruowane maszyny zagregatowane z ciągnikiem, np. prototyp przyczepianej kosiarki KWE-7 firmy Metaltech Sp. z o.o. (projekt PIMR), maszyna ścinająco-prasująca Biobaler WB 55 lub samojezdnych: HE ALL – ROUNDER, Mantis, Stemster TR.

Technologie bezpośredniego zbioru wierzby na zrębki, przy zastosowaniu obecnych maszyn na odpowiednio dużych plantacjach, są tańsze niż techniki dwuetapowe w postaci całych łodyg [Styles i in. 2008]. Do wad jednoetapowej technologii zbioru wierzby można zaliczyć wysokie koszty początkowe zakupu maszyn i przechowywania wilgotnych zrębków [Pasyniuk 2007]. Technologie zbioru całych łodyg są bardziej elastyczne, ze względu na mniejsze ograniczenia warunków zbioru i mogą przynieść korzyści, które wynikają z mniejszych kosztów, możliwości naturalnego suszenia, pozwalając na pozyskanie lepszego paliwa [Harders 2002]. Rośliny przechowywane w takich warunkach w ciągu siedmiu miesięcy zmniejszyły wilgotność z 53-55% do 19% [Hilton 2000].

Na podstawie dotychczasowych wyników badań [Lechasseur, Savoie 2005] można stwierdzić, że zastosowanie maszyn do zbioru całych pędów wierzby pozwala na znaczne zmniejszenie jednostkowego zużycia paliwa w przeliczeniu na tonę świeżych roślin. Stwierdzono, że podczas pracy maszyn Empire 2000, Frobbesta i Hyd-Mech zbierających wierzbę w całości jednostkowe zużycie paliwa wynosiło 0,50-1,00 $l \cdot t^{-1}$, a maszyn Claas Jaguar 695, Bender i Austoft 7700, które jednocześnie ścinają i rozdrabniają łodygi – 0,95-1,20 $l \cdot t^{-1}$. Mniejsze wartości tego wskaźnika dla maszyn zbierających całe pędy roślin wynikają z faktu, iż podczas tego zabiegu rośliny są tylko ścinane i transportowane w całości do przestrzeni ładunkowej maszyny lub przyczepy. Dopiero po okresie przechowywania następuje rozdrabnianie łodyg na zrębki. Dlatego bezpośrednie porównanie zapotrzebowania na moc lub innych wskaźników energetycznych maszyn zbierających wykonujących różne funkcje jest uproszczeniem.

Doświadczenia krajów, w których uprawia się wierzbę energetyczną (Australia, Brazylia, Dania, Finlandia, Irlandia, Kanada, Niemcy, Norwegia, Szwecja, USA, Wielka Brytania, Włochy) są zróżnicowane a zalecenia w odniesieniu do sposobu zbioru roślin energetycznych są wypadkową wielu czynników, które powinny być uwzględnione również w polskich warunkach klimatycznych.

Do zbioru roślin trawiastych i bylin mogą być zastosowane dotychczasowe techniki zbioru roślin zielonych nisko- i wysokołodygowych z pnia lub materiałów słomiastych z pokosów [Lisowski i in. 2010].

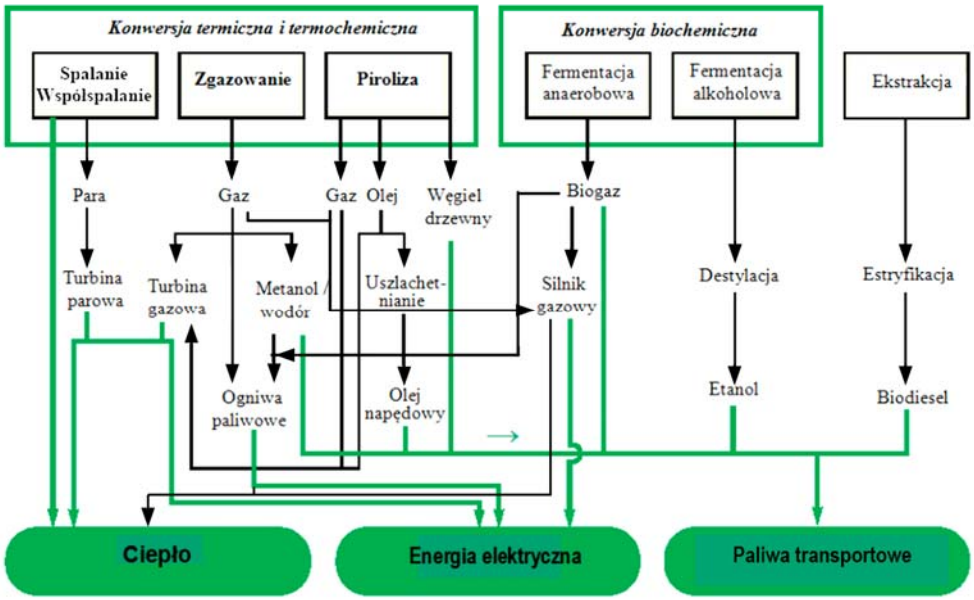
Pozyskany surowiec z roślin energetycznych lub inny rodzaj biomasy wymaga odpowiedniego przetworzenia na różne rodzaje paliw, w zależności od ich dalszego przeznaczenia.

Konwersja biomasy

Spośród metod konwersji biomasy [Potential contribution… 2007] na energię elektryczną, ciepło oraz paliwa transportowe (rys. 3) wykorzystanie biomasy do produkcji ciepła w procesach bezpośredniego spalania lub współspalania jest ekonomicznie najmniej opłacalnym sposobem konwersji energii chemicznej w użyteczną [Lewandowski i in. 2010]. W przypadku łącznej produkcji energii elektrycznej i ciepła w elektrociepłowniach opalanych biomasą (drewnem, słomą, surowcem z plantacji energetycznych, RDF – *Refuse Derived Fuel*) nakłady inwestycyjne są nieznacznie większe, ale dzięki spalaniu fluidyzacyjnemu, kogeneracyjnym układom skojarzonym, trigeneracji, układom ORC – *Organic Rankine Cycle* [Obernberger i in. 2002] sprawność konwersji zwiększa się oraz poprawia się efekt ekonomiczny i ekologiczny. Najkorzystniejszą, zarówno ze względów ekonomicznych, jak i technicznych, metodą przetworzenia biomasy jest jej częściowe utlenienie, zgazowanie i piroliza oraz produkcja paliw płynnych, z ewentualnym wykorzystaniem syntezy Fischer-Tropscha, uwodornienia i hydrokrakingu w odniesieniu do produktów termicznego rozkładu biomasy [Faaij 2006; Ballard-Tremeer 2007; Lewandowski i in. 2010].

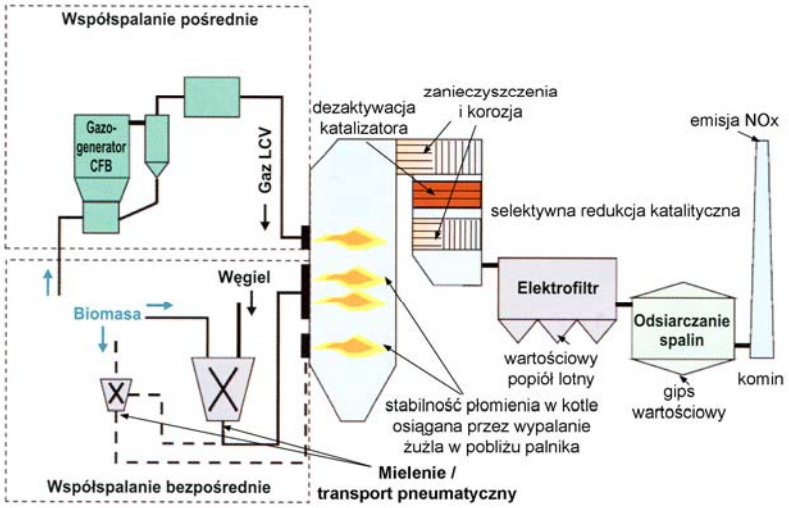
Mimo pewnych wad obecnie stosuje się najczęściej współspalanie biomasy z węglem. W istniejących kotłach energetycznych biomasa może być współspalana bezpośrednio lub pośrednio (rys. 4). Współspalanie bezpośrednie może być realizowane przez mieszanie biomasy z węglem przed układem dozowania węgla do kotła (młynami) i podawanie do komory paleniskowej kotła przez istniejący układ nawęglania i palniki pyłowe lub alternatywnie po niezależnym przygotowaniu biomasy (rozdrobnieniu) jej spalaniu na ruszcie pod kotłem lub jej dozowanie do palników biomasowych. Współspalanie pośrednie może się odbywać przedpalenisko – do komory paleniskowej kotła wnoszone jest ciepło spalin ze spalania biomasy lub w wyniku wstępnego zgazowanie biomasy – do komory paleniskowej wprowadzany jest wilgotny gaz palny.

Współspalanie bezpośrednie uważane jest obecnie za najprostszy i najtańszy sposób zwiększenia produkcji energii elektrycznej z paliw odnawialnych [Golec i in. 2010a]. Do zalet współspalania bezpośredniego zalicza się wysoką sprawność spalania, mały nadmiar powietrza (1,1-1,3), skuteczne stopniowanie powietrza, które zmniejsza emisję NO_x, wysoką niezawodność funkcjonowania system, o dyspozycyjności powyżej 98%, szeroki zakres obciążeń, dobrą kontrolę obciążenia i możliwość wprowadzania szybkich zmian.



Źródło: opracowanie własne na podstawie [Potential contribution … 2007, Rakowski 2010]

Rys. 3. Sposoby konwersji biomasy na energię użyteczną



Źródło: opracowanie własne na podstawie Koppejan 2010; Rakowski 2010]

Rys. 4. Współspalanie biomasy z węglem w dużych kotłach energetycznych

Wadami współspalania bezpośredniego jest konieczność rozdrobnienia biomasy do wymiaru poniżej 10 mm (dla palników strumieniowych), a w przypadku palników wirowych nawet do 2 mm, pogorszenie sprawność kotła, możliwość wystąpienia problemów eksploatacyjnych związanych z żużlowaniem i zanoszeniem popiołem powierzchni ogrzewalnych oraz ich korozją, możliwość wybuchu pyłu w instalacjach przygotowania i podawania paliwa oraz konieczność stosowania dodatkowych palników rozpałkowych.

Efektywność współspalania biomasy o większej reaktywności niż węgiel można poprawić przez podawanie biomasy z wykorzystaniem osobnych palników w obrębie pasa palnikowego lub powyżej, tak jak ma to miejsce w jednej z technik redukcji emisji NO_x, wg metody reburningu. Metoda reburningu polega na stopniowaniu paliwa i cechuje ją wytworzenie silnej strefy spalania podstechiometrycznego, powyżej pasa palnikowego [Golec i in. 2010b].

Biomasa, w tym ta pochodząca z uprawy roślin energetycznych, musi być dostarczana do elektrowni w postaci przetworzonej, po wstępnym suszeniu, rozdrobnieniu lub brykietowaniu czy peletyzacji. Zwłaszcza te dwie ostatnie postacie formowanego paliwa stałego dają szanse na stosowanie biomasy o powtarzalnych własnościach, tj. o zawartości wilgoci do 10% i wartości opałowej około 15 $MJ \cdot kg^{-1}$. O wyborze do współspalania biomasy z odpowiednich upraw energetycznych będą decydowały inne parametry: topliwość popiołu (zależna od sposobu nawożenia), zawartość azotu w paliwie, właściwości transportowe pyłów i cena zakupu. Na podstawie wyników badań, spośród siedmiu gatunków roślin energetycznych (wierzba krzewiasta, miskant olbrzymi, spartina preriowa, ślazowiec pensylwański, róża wielokwiatowa, słonecznik bulwiasty, rdestowiec) do współspalania z węglem najlepiej spełniała biomasa z pierwszych trzech [Golec i in. 2010b].

Podsumowanie

Reasumując, optymalne energetycznie, ekologicznie i ekonomicznie wykorzystanie biomasy warunkowane jest zarówno zastosowaną technologią i techniką przetwarzania biomasy, jej potencjalną podażą, jak i jakością i stabilizacją jakości biomasy. Polska dysponuje dużym potencjałem rynkowym biomasy, która może być przeznaczona na cele energetyczne. Dysponuje również bardzo znaczącym potencjałem dla rozwoju agroenergetyki, zwłaszcza w zakresie produkcji wieloletnich roślin energetycznych, ale konieczne jest stworzenie dogodnych warunków dla uprawy roślin, produkcji biomasy i jej rynków zbytu. W analizie techniczno-ekonomicznej wytwarzania biomasy rolniczej na cele energetyczne oraz jej pozyskiwania przez elektrownie, zakłady ciepłownicze oraz inne podmioty gospodarcze funkcjonujące w sektorze energetycznym konieczne jest rozpoznanie grup uczestników i stockholderów systemu oraz ponoszonych na poszczególnych

etapach pozyskiwania biomasy nakładów oraz ich kosztów, a także uzyskiwanych efektów.

Dla zwiększenia udziału biomasy w bilansie energetycznym jest uzasadniony rozwój naukowych podstaw agrotechniki roślin energetycznych i technologii energetycznych charakteryzujących się wysoką efektywnością konwersji biomasy oraz rozwój holistycznego podejścia w analizie jakości i wymagań surowca, jak również systemowego rozwiązania problemów w całym łańcuchu logistycznym dostaw tak, aby energetyczne wykorzystanie biomasy było opłacalne dla wszystkich stron, zarówno plantatorów, producentów, jak i końcowych użytkowników energii elektrycznej lub ciepła.

Bibliografia

Arseniuk E. 2007. Rośliny uprawne przydatne do produkcji biopaliw ciekłych. Materiały konferencyjne: „Biomasa dla elektroenergetyki i ciepłownictwa – szanse i problemy". Wyd. Wieś jutra. Sp. z o.o. Warszawa.

Ballard-Tremeer G. 2007: Opportunities for biomass energy programmes - experiences and lessons learned by UNDP in EU and the CIS. Final Report 2007.

Dreszer K., Michałek R., Roszkowski A. 2003. Energia odnawialna – możliwości jej pozyskiwania i wykorzystania w rolnictwie. Wyd. PTiR, Kraków - Lublin - Warszawa.

Faaij A.P.C. 2006. Bio-energy in Europe: changing technology choices. Energy Policy. (34).

Faber A. 2010. Dobór roślin energetycznych dostosowanych do uprawy w wybranych rejonach kraju [W:] Bocian P., Golec T., Rakowski J. (red.) Nowoczesne technologie pozyskiwania i energetycznego wykorzystania biomasy, Wyd. Instytut Energetyki. Warszawa.

Friedman T.L. 2008. Hot, Flat, and Crowded. Why we need a green revolution - and how it can renew America. Farrar, Straus and Giroux. New York.

Golec T., Lewtak R., Świątkowski B., Glot B. 2010a. Współspalanie biomasy w kotłach energetycznych [W:] Bocian P., Golec T., Rakowski J. (red.) Nowoczesne technologie pozyskiwania i energetycznego wykorzystania biomasy. Wyd. Instytut Energetyki. Warszawa.

Golec T., Świątkowski B., Kuczyński P. 2010b. Palniki pyłowe do spalania biomasy [W:] Bocian P., Golec T., Rakowski J. (red.) Nowoczesne technologie pozyskiwania i energetycznego wykorzystania biomasy. Wyd. Instytut Energetyki. Warszawa.

Harders G. 2002: Harvest, loading and transporting of willow chips from agricultural land – a system analysis. JTI Institut för Jordbruks – och miljö teknik. Raport JTI. s. 294.

Hilton B. Arbre 2000: Harvesting experience and future requirements, dostępny w dniu 14.02.2011: http://test.netgates.co.uk/nre/pdf/BarbaraHiltonPaper.doc.

How much can Europe produce without harming the environment? European Environment Agency (EEA). Report 7/2006. [dostępny w dniu 14.02.2011]. Dostępny w internecie: www.europabio.org /Biofuels reports/eea_report_bioenergy.pdf.

Hoogwijk M., Graus W. 2008. Global potential of renewable energy sources: a literature assessment. PECSNLo72975.

Jankowski W.M. 2002. Proekologiczne źródła energii odnawialnej. WNT. Warszawa.

Jastrzębska G. 2007. Odnawialne źródła energii i pojazdy proekologiczne. Wyd. Naukowo-Techniczne. Warszawa.

Koppejan J. 2010. Progress and challenges in biomass combustion and cofiring technologies, Biopower generation, Amsterdam, March 15-16. [dostępny w dniu 14.02.2011]. Dostępny w internecie: www.worldbiofuelsmarkets.com/downloads/presentations/16thMarch/BiopowerCongress/Jaap_Koppejan.pdf.

Krawiec F. (red.) 2010. Odnawialne źródła energii w świetle globalnego kryzysu energetycznego. Difin. Warszawa.

Krewitt W., Simon S., Preser T. 2008. Renewable energy deployment potentials in large economies. Report of REN21.

Lavoie F., Savoie P., D'amours L., Joannis H. 2008: Development and field performance of a willow cutter-shredder-baler. Applied Engineering in Agriculture. 24(2).

Lewandowski W.M., Radziemska E., Ryms M., Ostrowski P. 2010. Nowoczesne metody termicznej konwersji biomasy w paliwa gazowe, ciekłe i stałe. Proceedings of ECO-Opole. Vol. 4. No. 2.

Lisowski A. (red.), Chlebowski J., Klonowski J., Nowakowski T., Strużyk A., Sypuła M. 2010. Technologie zbioru roślin energetycznych. Wyd. SGGW. Warszawa.

Obernberger I., Thonhofer P. i Reisenhofer E. 2002. Description and evaluation of the new 1,000 kW_{el} organic rankine cycle process integrated in the biomass CHP plant in Lienz, Austria. Euroheat and Power. 10.

Pasyniuk P. 2007. Problemy mechanizacji uprawy i zbioru wierzby krzewiastej *Salix viminalis*. Problemy Inżynierii Rolniczej. 1 (55). Warszawa.

Potential contribution of bioenergy to the world's future energy demand, IEA Bioenergy: ExCo 2007: 02, [dostępny w dniu 14.02.2011]. Dostępny w internecie: www.idahoforests.org/img/pdf /PotentialContribution.pdf.

Prognoza zapotrzebowania na paliwa i energię do 2030 roku. Załącznik 2 do Polityki energetycznej Polski do 2030 roku. Ministerstwo Gospodarki, Warszawa 10 listopada 2009 r. [dostępny w dniu 14.02.2011]. Dostępny w internecie: www.mg.gov.pl/files/upload/8134/Prognoza zapotrzebowania na paliwa i energie-ost.pdf.

Rakowski J. 2010. Tendencje rozwojowe w zakresie energetycznego wykorzystania biomasy [W:] Bocian P., Golec T., Rakowski J. (red.) Nowoczesne technologie pozyskiwania i energetycznego wykorzystania biomasy. Wyd. Instytut Energetyki. Warszawa.

Renewables 2010. Global Status Report. Report of REN21, September 2010. [dostępny w dniu 14.02.2011]. Dostępny w internecie: www.ren21.net/Portals/97/documents /GSR/REN21_GSR_2010_ full_revised Sept2010.pdf.

Szyszak-Bargłowicz J., Piekarski W. 2009. Charakterystyka biomasy jaki paliwa [W:] Jackowska J. (red.) Biomasa jako źródło energii. Wieś Jutra. Warszawa. 102.

Styles D., Thorne F., Jones M.B. 2008. Energy crops in Ireland: An economic comparison of willow and Miscanthus production with conventional farming systems. Biomass and Bioenergy. 32(5).

Tworkowski J., Kuś J., Szczukowski S., Stolarski M. 2010. Uprawa roślin energetycznych [W:] Bocian P., Golec T., Rakowski J. (red.) Nowoczesne technologie pozyskiwania i energetycznego wykorzystania biomasy. Wyd. Instytut Energetyki. Warszawa. 463.

Wandrasz J.W., Wandrasz A.J. 2006. Paliwa formowane. Biopaliwa i paliwa z odpadów w procesach termicznych. Wyd. Seidel-Przywecki Sp. z o.o. Warszawa. 466.

Żmuda K. 2009. Rolniczy potencjał energetyczny – biogazownie rolnicze przyszłością polskiej wsi [W:] Piekarski W. (red.) Biopaliwa i smary ekologiczne. Wieś Jutra, Warszawa. 64.

Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 9 grudnia 2004 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązku zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii (DzU 267/2656/2004).

World Energy Outlook 2008, International Energy Agency. Paris 2009. [dostępny w dniu 14.02.2011]. Dostępny w internecie: www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2008/WEO2008_es_polish.pdf.

World Energy Outlook 2010, International Energy Agency, Paris 2010. [dostępny w dniu 14.02.2011]. Dostępny w internecie: www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2010/weo2010_es_polish.pdf.

ENERGETYZACJA ROLNICTWA Z UWZGLĘDNIENIEM ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII

Andrzej Myczko

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach
Oddział w Poznaniu
e-mail: amyczko@itep.edu.pl

Wprowadzenie

Zakres prac realizowanych w Instytucie Technologiczno-Przyrodniczym jest spójny z polityką Unii Europejskiej w dziedzinie energetyki, która wspólnie z ochroną klimatu jest jedną z najważniejszych płaszczyzn europejskiej współpracy, a także priorytetem w ramach polityki spójności. Istotnym dokumentem Wspólnot jest Decyzja Rady Unii Europejskiej z dnia 6 października 2006 r. w sprawie strategicznych wytycznych Wspólnoty dla spójności, zwana Strategicznymi Wytycznymi Wspólnoty (SWW) dla spójności gospodarczej, społecznej i terytorialnej na lata 2007-2013. Tekst ten określa priorytety, jakim odpowiadać powinny działania otrzymujące wsparcie w ramach polityki spójności. Osiąganie zrównoważonego rozwoju powinno następować w ramach synergii między gospodarką, społeczeństwem i środowiskiem.

Zachowanie stanu środowiska znalazło swe miejsce w treści trzech głównych priorytetów SWW. W ramach wytycznej „Zwiększenie atrakcyjności Europy i jej regionów pod względem inwestycji i zatrudnienia" wskazuje się na konieczność „podjęcia kwestii intensywnego wykorzystania tradycyjnych źródeł energii w Europie" i stopniowego od niej odchodzenia oraz „Promowania inwestycji, które przyczyniają się do wypełniania zobowiązań UE wynikających z Protokołu z Kioto, obok inwestycji w zrównoważoną energię i transport, które zostały już objete innymi działaniami".

Zakres prowadzonych prac musi więc być spójny z powyższymi dążeniami, SWW bowiem określa, że niezbędne jest „Wspieranie rozwoju i wykorzystania technologii opartych na odnawialnych i alternatywnych źródłach energii (takich jak wiatr, słonce, biomasa), co może pozwolić UE na uzyskanie przewagi i tym samym wzmocnić jej pozycję konkurencyjną".

Należy wiec wnioskować, że inwestycje, w których będą zastosowane wyniki prac zrealizowanych w pracach naukowych realizowanych w ITP oraz innych jednostkach naukowych, a mające na celu zwiększenie udziału energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych, będą w pełni uprawnione do otrzymania dofinansowania w ramach polityki spójności na lata 2007–2013.

W marcu 2007 roku Rada Europejska przyjęła „Plan Działań na lata 2007–2009" w ramach Europejskiej Polityki Energetycznej. Plan ten powstał jako element wdrażania zintegrowanej polityki w dziedzinie energetyki, która jest odpowiedzią na problemy związane ze zmianami klimatu, koniecznością zagwarantowania bezpieczeństwa dostaw energii, oraz poprawienia konkurencyjności przedsiębiorstw.

Jednym z elementów porozumienia jest tzw. „Projekt 3x20" (dla Polski ograniczony do 3x15) obejmujący:

– zmniejszenie do 2020 roku emisji CO_2 o 20%;
– zwiększenie do roku 2020 udziału energii produkowanej ze źródeł odnawianych do 20% w całkowitym rynku energetycznym;
– zmniejszenie zużycia energii (energochłonności)o roku 2020 o 20%.

Realizacja tych ambitnych założeń przez państwa członkowskie ma odbywać się w ramach pięciu obszarów działania. Wdrożenie uzyskanych w trakcie realizacji prac wyników badań bezpośrednio przyczyni się do osiągnięcia dwóch z powyższych założeń; zmniejszenia emisji CO_2 oraz zwiększenia energii produkowanej z OZE. Realizacja prac jest ponadto spójna z działaniami wskazanymi dla obszaru: „Racjonalne wykorzystanie energii ze źródeł odnawialnych".

Oznacza to, że prowadzone prace mające na celu wykorzystanie do produkcji energii naturalnych surowców odpadowych, pozostałości poprodukcyjnych i produktów ubocznych oraz zasobów odnawialnych (biomasy, wiatru i słońca) znajdują swoje odbicie w Europejskiej Polityce Energetycznej i przyczyniają się do realizacji jej celów.

Komisja Europejska ogłosiła 19 października 2006 w swoim Komunikacie (KOM(2006)545) „Plan działania na rzecz racjonalizacji zużycia energii: sposoby wykorzystania potencjału". Plan działania przedstawia ramy polityk i środki, jakie należy wprowadzić w celu intensyfikacji procesu wykorzystania ponad 20% szacowanych potencjalnych oszczędności w rocznym zużyciu energii pierwotnej UE do 2020 r.

Realizowane w Instytutach i innych jednostkach naukowych prace naukowo-badawcze, powinny więc wpisywać się w działania mające na celu „zasilenie dotychczasowych sieci stworzonych dla energii z paliw kopalnych energią wytwarzaną ze źródeł odnawialnych". Udostępnienie wyników takich prac dla szeroko rozumianej praktyki rolniczej przyczyni się do realizacji celu głównego Dyrektywy 2001/77/WE w sprawie promocji na rynku wewnętrznym energii elektrycznej produkowanej z OZE. Celem tym jest wspieranie zwiększania udziału odnawialnych źródeł energii w produkcji energii elektrycznej na wewnętrznym rynku

energii elektrycznej oraz stworzenie podstaw dla opracowania przyszłych ram Wspólnoty w omawianym przedmiocie.

Realizacja całego pakietu badań które będą zaprezentowane poniżej jest zgodna z założeniami trzeciego celu horyzontalnego „Budowa i modernizacja infrastruktury technicznej i społecznej mającej podstawowe znaczenie dla wzrostu konkurencyjności Polski".

W ramach tego obszaru wskazuje się konieczne inwestycje w infrastrukturę, bez przeprowadzenia których osiąganie zrównoważonego rozwoju kraju byłoby znacząco utrudnione.

Zaplanowane do wykonania, w ramach realizacji prac ITP, projekty instalacji agro-energetycznych, powinny przyczynić się bezpośrednio do realizacji zadania „Zapewnienie i rozwój infrastruktury ochrony Środowiska". W perspektywie długoterminowej pozwolą one bowiem na ograniczenie emisji gazów cieplarnianych do atmosfery poprzez zwiększenie udziału energii z OZE w ogólnym bilansie energetycznym.

Planując zakres prac naukowych założono, że spójność powinna wystąpić też w zakresie „Ograniczenia negatywnej presji sektora energetycznego na środowisko naturalne", gdzie wskazuje się wyraźnie, że „ważna jest realizacja działań mających na celu zwiększenie efektywności wykorzystania energii pierwotnej i finalnej, zarówno w procesach wytwarzania energii, jej przesyłu i dystrybucji". Nie ulega więc wątpliwości, że prowadzone w Zakładzie Energii Odnawialnej prace należą do działań zwiększających bezpieczeństwo energetyczne.

Zaplanowany i realizowany zakres prac wpisuje się także w treść założeń Strategii Rozwoju Kraju 2007-2015. W dokumencie stwierdzono, że zrównoważony rozwój jest niemożliwy bez eko-innowacji, przez które rozumie się m.in. działania służące zmniejszeniu zużycia zasobów naturalnych. Poszczególne Zadania badawcze, których celem jest zmniejszenie presji sektora energetyki na środowisko i zwiększenie produkcji tzw. zielonej energii służy Postulowanemu w Strategii zrównoważonemu rozwojowi. Poszczególne etapy prac, a zwłaszcza zadania dotyczące poprawy wskaźników użytkowych i ekonomicznych procesu produkcji paliw ciekłych z biokomponentów oraz dotyczące opracowania technologii pozyskania biogazu w oparciu o odpady rolnicze, nawozy naturalne i surowce roślinne w instalacjach do 200 kW, wpisują się także bezpośrednio w drugi priorytet Strategii: „Poprawa stanu infrastruktury technicznej i społecznej, gdzie wskazuje się wprost na konieczność wdrażania działań zmierzających do redukcji emisji gazów cieplarnianych przez sektor energetyczny. Opisane w dalszej części opracowania prace wpisują się także w istotę dokumentu „Polityka energetyczna Polski do 2025 r.", przyjętego przez Radę Ministrów 4 stycznia 2005 r. Wpisują się także w jeden z naczelnych celów polskiej polityki energetycznej - „Wzrost efektywności gospodarki i jej efektywności energetycznej", a zakres prowadzonych prac odpowiada jednemu z działań priorytetowych, jakim jest „Działanie nakierowane na redukcję kosztów funkcjonowania energetyki, zwiększenie efektywności

energetycznej we wszystkich dziedzinach wytwarzania i przesyłu oraz wykorzystania energii".

Program Operacyjny Infrastruktura i Środowisko na lata 2007-2013 jest dokumentem bezpośrednio powiązanym z realizowaną w Instytucie Technologiczno-Przyrodniczym tematyką dotyczącą energetyzacji rolnictwa poprzez wdrażanie Odnawialnych Źródeł Energii (OZE). Celem Programu jest bowiem poprawa atrakcyjności inwestycyjnej Polski i jej regionów poprzez rozwój infrastruktury technicznej przy równoczesnej ochronie i poprawie stanu środowiska, zdrowia, zachowaniu tożsamości kulturowej i rozwijaniu spójności terytorialnej.

Inwestycje realizowane na bazie wyników prac uzyskanych w trakcie realizacji naszych prac „Energetyzacja rolnictwa z uwzględnieniem odnawialnych źródeł energii" będą mogły być realizowane i wspierane finansowo w ramach IX osi Priorytetowej: „Infrastruktura energetyczna przyjazna środowisku" i jego działania 9.4 „Wytwarzanie energii ze źródeł odnawialnych". W ramach tego działania wspierane są bowiem inwestycje w zakresie budowy jednostek wytwarzania energii elektrycznej lub ciepła ze źródeł odnawialnych oraz budowy lub zwiększenia mocy jednostek wytwarzania energii elektrycznej wykorzystujących energie wiatru, wody w małych elektrowniach wodnych do 10 MW, biogazu i biomasy.

Najważniejsze prace wykonane w ramach realizacji prac statutowych w ITP zgrupowano w czterech blokach tematycznych określonych jako Zadania Badawcze:

1. Poprawa wskaźników użytkowych i ekonomicznych procesu produkcji paliw ciekłych z biokomponentów (opracowanie receptur, technologii i testowanie).
2. Rozwój niekonwencjonalnych systemów przygotowania i wykorzystania biogazu rolniczego (prace projektowe, testowanie).
3. Rozwój pozasieciowego dwuźródłowego systemu zasilania urządzeń elektrycznych, z wykorzystaniem technik sterowania mikroprocesorowego w gospodarstwach rolnych (prace projektowo-konstrukcyjne i testowanie)
4. Wpływ cech termofizycznych surowców biologicznych na wybrane parametry jakościowe biopaliw stałych w świetle badań laboratoryjnych.

Cel i zakres prac

Zadanie 1

Ogólnym celem badań realizowanych w Zadaniu 1 w 2010 roku było zbadanie dostępności surowców pochodzenia zwierzęcego oraz olejów posmażalniczych w Polsce i przebadanie wybranych właściwości fizycznych powstałych z nich estrów metylowych i odpadów glicerynowych. Dla dokładniejszego sprecyzowa-

nia celu podjętej pracy sformułowano cztery cele cząstkowe, które przyjęto równocześnie jako etapy pracy badawczej. Były to:

- Ocena skali nadprodukcji tłuszczów zwierzęcych oraz poziom wytwarzania oleju posmażalniczego w Polsce i ich możliwości wykorzystania jako surowiec do produkcji paliw.
- Ocena wartości opałowej fazy glicerynowej oraz jej mieszanin z biomasą
- Określenie zależności funkcji temperaturowych lepkości tłuszczów zwierzęcych i olejów posmażalniczych względem otrzymanych z nich faz glicerynowych i estrowych.
- Określenie wydajności instalacji modelowej do produkcji tłoczonego na zimno oleju rzepakowego (okres realizacji zadania od stycznia 2010 do czerwca 2011).

W kolejnych etapach przeprowadzono badania empiryczne w laboratorium, analizując właściwości fizyczne estrów metylowych i faz glicerynowych powstałych podczas badań realizowanych w roku ubiegłym. Na odpowiednio do tego przygotowanych stanowiskach badawczych oznaczono wartość opałową analizowanych substancji metodą kalorymetryczną oraz wyznaczano krzywe lepkości dla surowców jak również produktów powstałych w wyniku ich estryfikacji.

Prowadzono również badania eksploatacyjne instalacji do tłocznia oleju rzepakowego. W wyniku badań określono wpływ wielkości szczeliny pomiędzy tłokiem jak i głowicą oraz wpływ rzepaku na wydajność instalacji. W wyniku prowadzenia badań opracowano instalację do częściowej rafinacji oleju, która została zgłoszona w postaci wzoru użytkowego do urzędu patentowego.

Zadanie 2

Celem utylitarnym tematu było opracowanie założeń technicznych dla budowy instalacji umożliwiającej wielokierunkowe wykorzystanie biogazu w gospodarstwach rolniczych. Instalacje te powinny zwiększyć efekty ekonomiczne uzyskiwane z biogazowi o mocy od 20 do 200 kW.

Celem naukowym było:

1. Określenie charakterystyk silnika przystosowanego do zasilania biogazem wstępnie oczyszczonym w warunkach prac wykonywanych w gospodarstwie rolniczym.
2. Określenie zakresu ciśnień zapewniających poprawną pracę sprężarki zasilającej butle ciągnika oraz poprawną współpracę z instalacją oczyszczającą.
3. Przeprowadzenie standardowych prób fermentacji metanowej substratów, kosubstratów, wyeliminowanie oddziaływań inhibicyjnych oraz opracowanie zestawów mieszanin fermentacyjnych z pozostałości po produkcji rolniczej.

Wykonano również badania eksploatacyjne ciągnika rolniczego zasilanego metanem i biogazem wstępnie oczyszczonym oraz przeprowadzono analizę systemów oczyszczania i sprężania biogazu na potrzeby napędu silników ciągnikowych i kogeneracyjnych.

Zadanie 3

Celem prac było skonstruowanie instalacji umożliwiającej zasilanie odbiorników znajdujących się w gospodarstwie rolnym lub agroturystycznym przy użyciu energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych: słońca i wiatru. Celem badań było też doskonalenie efektu synergicznego instalacji w taki sposób, aby umożliwić nieprzerwane zasilanie odbiorników za pośrednictwem modułów fotowoltaicznych i generatora wiatrowego, zastępując tym samym potrzebę poboru prądu z sieci energetycznej.

Zadanie 4

Celem pracy było wyznaczenie, na podstawie badań, wpływu podstawowych wskaźników termofizycznych surowców rolniczych przeznaczonych na biopaliwa, a ponadto określenie optymalnych parametrów rozdrobnienia surowców oraz ich wpływ na procesy spalania paliw.

Rozwiązując problemy badawcze szukano odpowiedzi na pytania:

- Czy znane są elementy wpływu cech termofizycznych na wartość opałową biomasy
- Czy jest to zagadnienie wymagające badań laboratoryjnych
- Czy cechy termofizyczne biomasy mają istotny wpływ na ciepło spalania oraz wartość opałową biopaliw
- Czy sposób rozdrobnienia (wielkość cząsteczek) surowców ma wpływ na proces spalania

Badano: wierzbę energetyczną (*Salix viminalis*) słomę rzepakową, żytnią, pszeniczną, z pszenżyta, z lnicznika siewnego, brykiety, pellety, wytłoki oraz zrębki. W badaniach laboratoryjnych oznaczono w wybranych rodzajach biomasy następujące parametry fizyczno-chemiczne:

- ogólna zawartość wodoru [%] – przy wykorzystaniu analizatora elementarnego
- ogólna zawartość siarki [%] – przy wykorzystaniu analizatora elementarnego
- ogólna zawartość węgla [%] – przy wykorzystaniu analizatora elementarnego
- ogólna zawartość azotu [%] – przy wykorzystaniu analizatora elementarnego
- zawartość popiołu [%] wg. normy PN-ISO 1171:2002 Paliwa stałe – oznaczanie popiołu oraz PN-EN 13183:2004 oznaczanie wilgotności metodą suszarkowo - wagową
- zawartość wilgoci całkowitej [%] wg. normy PN-80/G-04511 Paliwa stale – oznaczanie zawartości wilgoci
- ciepło spalania [$kJ \cdot kg^{-1}$] czyli absolutną wartość określonej energii spalania, wydzielonej z jednostki masy paliwa stałego spalonego w tlenie, w bombie kalorymetrycznej w określonych warunkach oraz wartość opałowa [$kJ \cdot kg^{-1}$] czyli absolutna wartość określonego ciepła spalania, wydzielonego z jednostki masy paliwa spalonego w tlenie, pod stałym ciśnieniem, w takich warunkach, że całkowita ilość wody zawartej w produktach reakcji pozostaje jako para

wodna, a pozostałe produkty są takie jak w przypadku ciepła spalania. Badania prowadzono wg. normy PN-ISO 1928 Paliwa stałe – oznaczanie ciepła spalania metodą spalania w bombie kalorymetrycznej i obliczanie wartości opałowej; wg. normy: PN-ISO 1170:2001 Przeliczanie wyników analiz na różne stany.

Charakterystyka sytuacji problemowych w poszczególnych zadaniach

Zadanie 1

Celem dotychczasowych badań [Bocheński 2003; Gradziuk 2003; Grzybek 2004] było opracowanie nowych technologii produkcji biopaliw oraz poprawa efektywności samego procesu ich wytwarzania. Celem naszych badań nad biopaliwami jest określenie możliwości wytwarzania estrów metylowych bądź etylowych z tłuszczów zwierzęcych lub olejów posmażalniczych. W Polsce Sulewski i wsp. [2006] opublikowali wyniki badań procesu estryfikacji oleju rzepakowego w porównaniu do oleju posmażalniczego. W Chinach [2007] Wang z zespołom opublikowali wyniki dwuetapowego procesu estryfikacji oleju posmażalniczego. Anh i Then Phan [2008] opublikowali wyniki badań wpływu różnych parametrów reakcji estryfikacji na jej przebieg, prowadząc badania na oleju posmażalniczym. W tym samym roku Predojević z Serbii porównał różne procesy przemywania estrów metylowych wcześniej otrzymanych z oleju posmażlniczego. Tłuszcze zwierzęce również znalazły zainteresowanie. Wyatt i inni w 2005 roku porównał estry metylowe otrzymane ze smalcu wołowego, wieprzowego i drobiowego z parametrami oleju sojowego. Okazało się, że estry metylowe różniły się miedzy sobą jedynie parametrami temperaturowymi. Dowiedziono w ten sposób ich przydatność do produkcji biopaliw. W 2008 roku Golimowski, Nowak i Pawlak opublikowali wyniki badań estryfikacji niskotemperaturowej tłuszczów zwierzęcych względem oleju rafinowanego dowodząc, że sprawność reakcji oraz jakość otrzymanych paliw jest gorsza względem rzepakowego oleju rafinowanego.

Wyniki przeprowadzonych w tym roku badań nad określeniem potencjału surowców pozwoliły jedynie zobrazować skalę problemu, jaki jest jeszcze do rozwiązania. Na podstawie zebranych informacji określono ilość dostępnego tłuszczu zwierzęcego, który jest postrzegany jako produkt uboczny w zakładach przetwórstwa spożywczego [Szulc, Golimowski 2010]. Brakuje danych na temat ilości tłuszczu pozyskiwanego z padłych zwierząt i wytwarzanego przez gospodarstwa domowe i gastronomiczne oleju posmażalniczego. W wyniku przeprowadzonego wywiadu terenowego na temat rynku oleju posmażalniczego poznano mechanizm jego działania oraz prawa jakimi się on kieruje. Zebrane informacje opublikowano

celem zakomunikowania problemu, gdyż brakuje wiedzy na temat potencjału wytwarzania tego rodzaju odpadów w Polsce [Golimowski 2010].

Na podstawie analizowanej literatury zaobserwowano lukę w wiedzy w zakresie właściwości energetycznych faz glicerynowych powstałych w wyniku estryfikacji tłuszczów zwierzęcych i oleju posmażalniczego. W tym kierunku zostały przeprowadzone badania empiryczne, których wyniki pozwoliły uzupełnić tę lukę [Golimowska, Golimowski 2010], ponadto zaproponowano i przeanalizowano wykorzystanie fazy glicerynowej jako dodatku podnoszącego wartość energetyczną biomasy stałej.

Zadanie 2

Publikacje naukowe [Stepa 1988; Kotowski 2007; Balssen 2010; Prasek, Szlachta 2010] dostarczają przyszłym inwestorom wiedzy niezbędnej dla budowy i prawidłowej eksploatacji biogazownii rolniczych. Brak natomiast w dostępnej literaturze publikacji wykazujących różnice pomiędzy technologiami bazującymi na biomasie pochodzącej z gospodarstw rolnych, a technologiami utylizacyjnymi, bazującymi na tzw. substratach „trudnych" czyli pozostałościach poprodukcyjnych, produktach ubocznych z przetwórstwa, odpadach poubojowch II i III kategorii czy też biomasie komunalnej. Brak również prac które uzasadniłyby dlaczego na instalacjach rolniczych nie należy biogazować substratów zaliczanych do kategorii „trudnych" i odwrotnie. Na obecnym etapie inwestowania w rozwój biogazownii rolniczych istotne jest dostarczenie wiedzy na temat różnic w stosowanych technologiach oraz wiedzy umożliwiającej dokonywanie syntetycznych ocen przedkładanych inwestorom projektów i przeprowadzenie weryfikacji zarówno projektów technologicznych jak również proponowanych lokalizacji instalacji agroenergetycznych. Badania rozwojowe powinny również dostarczyć wiedzy dotyczącej niekonwencjonalnych sposobów wykorzystania biogazu, zwłaszcza pochodzącego z małych instalacji pracujących poza siecią energetyczną np. do do zasilania ciągników rolniczych i maszyn samobieżnych pracujących w gospodarstwach. Modelowa technologia przyczyni się do szerokiego stosowania paliw gazowych do zasilania pojazdów rolniczych w warunkach zrównoważonego rolnictwa.

Zadanie 3

Trudności związane z wykorzystaniem zarówno energii słonecznej jak i wiatrowej wynikają przede wszystkim z dużej zmienności warunków, w których możemy produkować prąd elektryczny. Warunki te mogą okresowo ograniczyć lub uniemożliwić wytwarzanie energii (np. duże zachmurzenie, „cisza" wiatrowa). Powszechnym rozwiązaniem tego problemu jest wykorzystanie baterii

akumulatorów, w których gromadzone są nadwyżki energii i z których można tę energię później odzyskać. Kolejnym sposobem aby uniknąć przerw w zasilaniu jest czerpanie energii z kilku niezależnych źródeł odnawialnych. Połączenie modułów fotowoltaicznych i generatora wiatrowego w obrębie jednej instalacji nie tylko znacznie zwiększa możliwości ładowania baterii akumulatorów ale przede wszystkim zmniejsza ryzyko wystąpienia sytuacji, w której pobór prądu znacznie przekracza jego podaż.

Mimo iż opisane instalacje hybrydowe są znane i eksploatowane, informacje na temat optymalnego doboru stosunku mocy generatora do mocy modułów dla indywidualnych potrzeb są w literaturze bardzo skąpe. Tymczasem zależność ta jest kluczowa dla projektantów pragnących uniknąć podstawowych błędów, takich jak np. przewymiarowanie instalacji i związane z tym niepotrzebne koszty.

Podobnie, w literatura trudno natrafić na ślad tematu wzajemnych oddziaływań między poszczególnymi elementami hybrydowego systemu zasilania – które hipotetycznie mogą mieć wpływ na ilość wytworzonej energii.

Braki w tej wiedzy można uzupełnić przeprowadzając badania eksploatacyjne i pomiary uwzględniające różne, uzasadnione praktycznie zmiany konfiguracji elementów instalacji. Tło dla wyników pomiarów stanowić powinny monitorowane równolegle warunki atmosferyczne. Pozwola to, po przeanalizowaniu wystarczającej ilości wyników, na szacowanie potencjalnej wydajności rozwiązania hybrydowego na podstawie lokalnych danych pogodowych.

Zadanie 4

Spośród odnawialnych zasobów energii, zaawansowane technologie umożliwiające realizację projektów energetycznych na skalę przemysłową dotyczą głównie biomasy pozyskiwanej z obszarów leśnych, upraw roślin energetycznych i odzyskiwania odpadów komunalnych, oraz drewnopochodnych pochodzenia przemysłowego. Materiały te wykorzystywane są do przetwórstwa energetycznego w postaci „czystej", bądź do tworzenia różnego typu mieszanek paliwowych. W celu uzyskania wiarygodności bilansowania i rozliczania ilości wyprodukowanej energii odnawialnej (przy zastosowaniu ujednoliconych procedur analitycznych) oraz porównywalności wyników badań właściwości biomasy pochodzącej od różnych dostawców i producentów, niezbędne jest funkcjonowanie laboratoriów biomasy wykonujących komercyjnie badania termofizycznych właściwości biopaliw. W związku z wzrostem zapotrzebowania elektrociepłowni na biomasę pierwotną i wtórną, celem uzyskiwania zielonej energii, potrzeba standaryzacji biomasy jako surowca energetycznego, wyznaczania właściwości termofizycznych przez dostawców nieposiadających laboratoriów (celem tworzenia solidnych planów finansowych) stale rośnie, rozbudowując rynek i zapotrzebowanie na badania komercyjne. Dotychczas brak w literaturze kompleksowych informacji o wy-

nikach badań związanych z wpływem cech termofizycznych na biopaliwa. Wyniki dotychczasowych prac prezentowanych w literaturze bardzo często maja charakter wyrywkowy i niepewny, przypisany do różnych warunków lokalnych i technicznych. W ostatnich latach nastąpił bardzo szybki rozwój badań nad wykorzystaniem surowców pochodzenia biologicznego w rolnictwie z przeznaczeniem na cele energetyczne. Obecne badania koncentrują się w większości nad technologiami produkcji związanymi z uprawą, zbiorem i przetwarzaniem surowców na biopaliwa. Z punktu widzenia oceny biologicznych surowców jako paliwa koniecznym jest podjęcie badań związanych z wyznaczeniem cech termofizycznych paliw z różnych surowców, takich jak m.in. wierzba, topola, słoma, miskant, drewna pochodzącego z szeroko rozumianego przemysłu drzewnego. Jednocześnie brak wiarygodnych danych dla kompleksowych ocen surowców biologicznych przetworzonych na biopaliwa, takich jak brykiety, zrębki, pellety, granule, sieczka i inne.

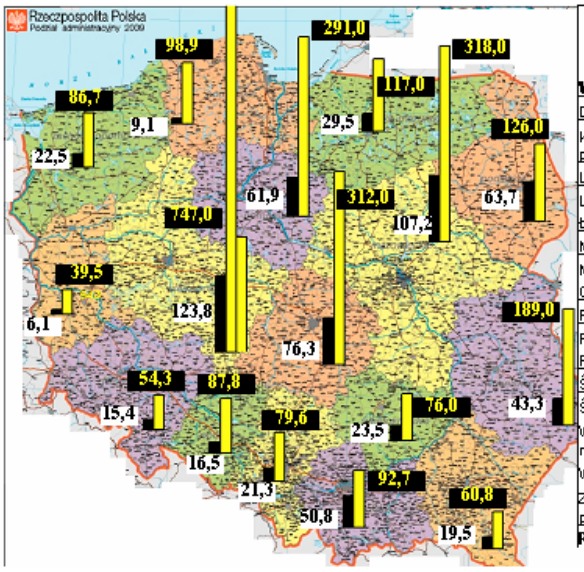
Rezultaty

Zadanie 1

a) Omówienie wyników badań skali nadprodukcji tłuszczu zwierzęcego oraz oleju posmażalniczego.

Stan pogłowia trzody chlewnej w ostatniej dekadzie nie ulegał większym zmianom i wynosił w 2006 roku 18 880 500 szt. Stan pogłowia bydła w tym samym roku oszacowany został na poziomie 5 600 400 szt., z czego krowy stanowiły 2 823 800 szt. Z uwagi na fakt, iż technologia produkcji biopaliw związana jest z wykorzystaniem tłuszczów zwierzęcych, priorytetem jest określenie ich ilości możliwych do pozyskiwania. Produkcja żywca rzeźnego kształtowała się na poziomie 1 325 000 szt. (bydło mleczne) oraz 24 680 600 szt. (trzoda chlewna), co dało wielkość produkcji żywca jako „wagi żywej" odpowiednio: 690 400 ton (bydło) i 2 776 000 ton (trzoda chlewna). Wielkość produkcji żywca rzeźnego przedstawiono na rys. 1 w odniesieniu do poszczególnych województw.

W przeliczeniu na wagę poubojową dało to 338 tys. ton żywca wołowego i 1712 tys. ton żywca wieprzowego, z czego tłuszcze stanowiły 359 000 ton. Liczba ta potwierdza 12-15% udział części tłuszczów wobec całej produkcji żywca rzeźnego [Gawęcki 1997]. Uwzględniając spożycie tłuszczów z uboju wynoszące 233 tys. ton, pozostaje niezagospodarowanych około 126 tys. ton tłuszczów, które można wykorzystać w produkcji biopaliw. Tabela 1 przedstawia oszacowane ilości pozyskiwanego tłuszczu zwierzęcego z podziałem na poszczególne województwa.



Województwo	Bydło bez cieląt	Trzoda chlewna
Dolnośląskie	15,4	54,3
Kujawsko-pomorskie	61,9	291
Lubelskie	43,3	189
Lubuskie	6,1	39,5
Łódzkie	76,3	312
Małopolskie	50,8	92,7
Mazowieckie	107,2	318
Opolskie	16,5	87,8
Podkarpackie	19,5	60,8
Podlaskie	63,7	126
Pomorskie	9,1	98,9
Śląskie	21,3	79,6
Świętokrzyskie	23,5	76
Warmińsko-mazurskie	29,5	117
Wielkopolskie	123,8	747
Zachodnio-pomorskie	22,5	86,7
RAZEM	690,4	2776

Źródło: [GUS 2007]

Rys. 1. Produkcja żywca rzeźnego według województw w 2006 roku w tys. ton

Tabela 1. Produkcja tłuszczu zwierzęcego w Polsce w tys. ton w roku 2006

Województwo	Tłuszcz wołowy	Tłuszcz wieprzowy	Suma
Dolnośląskie	1,15	6,01	7,16
Kujawsko-pomorskie	4,66	32,18	36,83
Lubelskie	3,24	20,95	24,18
Lubuskie	0,45	4,37	4,83
Łódzkie	5,68	34,56	40,24
Małopolskie	3,78	10,27	14,04
Mazowieckie	7,98	35,27	43,25
Opolskie	1,22	9,73	10,95
Podkarpackie	1,48	6,73	8,21
Podlaskie	4,73	13,94	18,67
Pomorskie	0,68	10,96	11,64
Śląskie	1,58	8,82	10,39
Świętokrzyskie	1,76	8,42	10,18
Warmińsko-mazurskie	2,19	12,91	15,09
Wielkopolskie	9,29	82,76	92,04
Zachodnio-pomorskie	1,70	9,60	11,30
RAZEM	51,56	307,47	359,03

Źródło: [Golimowski 2010]

Z ekonomicznego punktu widzenia jest to przydatny surowiec do wytwarzania estrów metylowych pod warunkiem sprawnego i logistycznie dopracowanego systemu zbierania. Źródłem jego wytwarzania są głównie punkty gastronomiczne i prywatne gospodarstwa domowe, czyli źródła o dużym rozproszeniu. Ceny oleju posmażalniczego z punktów gastronomicznych wahają się w granicach od 0,40 zł·kg^{-1} do nawet 1,60 zł·kg^{-1}. Po uwzględnieniu kosztów transportu i filtracji (odseparowanie wody, zanieczyszczeń stałych itp.) ten surowiec jest tańszy niż olej roślinny. Krajem pionierskim w wytwarzaniu biopaliw z tłuszczów odpadowych jest Austria, statystycznie otrzymuje się tam 5 kg·osoba^{-1} oleju posmażalniczego rocznie, porównując: w Hiszpanii ok. 3 kg·osoba^{-1} we Francji 2,5 kg·osoba^{-1}. W Polsce natomiast wg właścicieli firm utylizacyjnych i tzw. zbieraczy oleju, szacuje się zbiór oleju na poziomie 10 tys. ton, co w przeliczeniu na jednego mieszkańca wypada ok. 0,28 kg·osoba^{-1} rocznie. Przyjmując kilogram na osobę, mówimy o potencjale ponad 36 tys. ton rocznie. Przyrównując do danych poziomu wytwórczego w Francji osiągnąć możemy ponad 90 tyś ton. Jednak należy stwierdzić że są to tylko dane szacunkowe. Uszczegółowienie tych danych byłoby możliwe tylko przy wprowadzeniu kontroli nad utylizacją wprowadzanych do obrotu handlowego tłuszczu.

b) Omówienie wyników badań wartości opałowej fazy glicerynowej oraz jej mieszanin z biomasą.

Na podstawie otrzymanych wyników w tabeli 2 można stwierdzić, iż najwyższą wartość opałową (28,788 MJ·kg^{-1}) spośród wszystkich badanych prób ma faza glicerynowa GTWW będąca produktem ubocznym przy produkcji biodiesla z tłuszczu wieprzowo-wołowego, a najniższą (17,186 MJ·kg^{-1}) suchy brykiet słomy. Wśród mieszanek faz glicerynowych z biomasą najwyższą wartością opałową charakteryzują się słoma i pelet z makuchu rzepakowego nasączone fazą glicerynową GTWW, a najniższą nasączone gliceryną GOP.

Faza glicerynowa pochodząca z produkcji biopaliwa z tłuszczu drobiowego posiada największą zawartość popiołu (0,078 [mg·kg^{-1}]) tj. największą masę popiołu po spaleniu jednostki próby. Najmniejszą zawartością popiołu charakteryzuje się sucha słoma (0,018 [mg·kg^{-1}]).

Po spaleniu faz glicerynowych oraz ich mieszanin z biomasą otrzymywano popiół w postaci zbitych, ciemnych osadów, trudnych do usunięcia ze ścianek tygla. Popioły pozostawione na 12 h w tyglu łatwo odchodziły od ścianek. Po spaleniu suchej słomy w tyglu pozostały śladowe ilości popiołu w postaci czarnego pyłu. W przypadku spalenia makuchu rzepakowego otrzymywano ciemnozielony osad w postaci drobnych kuleczek na dnie tygla.

W wyniku przeprowadzonych analiz stwierdzono, że badane odpady po produkcji biodiesla w postaci faz glicerynowych są materiałem wysokoenergetycznym i mogą posłużyć jako dodatki podwyższające wartość opałową stałej biomasy roślinnej.

W oparciu o wyniki analizy statystycznej stwierdzono, że na stosunek wartości opałowej do zawartości popiołu w próbie istotnego wpływu nie ma nasączenie lub nie nasączanie makuchu rzepakowego fazami glicerynowymi.

Tabela 2. Wartości opałowe faz glicerynowych, ich mieszanin ze słomą i peletem z makuchu rzepakowego oraz suchej słomy i peletu

Rodzaj próby	Wartość opałowa		Zawartość popiołu	
	Średnia [MJ·kg^{-1}]	± SD	Średnia [mg·kg^{-1}]	± SD
GOP	26,902	0,324	0,073	0,004
GTWW	28,788	0,453	0,063	0,003
GTD	26,001	0,392	0,078	0,002
Słoma	17,186	0,197	0,018	0,000
Słoma nasączona GOP	19,446	0,094	0,039	0,001
Słoma nasączona GTWW	20,515	0,389	0,035	0,001
Słoma nasączona GTD	19,444	0,031	0,046	0,004
Makuchy rzepakowe	21,689	0,203	0,032	0,003
Makuchy nasączone GOP	22,135	0,207	0,054	0,001
Makuchy nasączone GTWW	24,065	0,313	0,040	0,001
Makuchy nasączone GTD	22,492	0,032	0,036	0,001

Źródło: [Golimowski 2010]

Objaśnienia: GOP - faza glicerynowa uzyskana po estryfikacji oleju posmażalniczego, metanolem, GTWW - faza glicerynowa uzyskana po estryfikacji tłuszczu wieprzowo-wołowego metanolem, GTD - faza glicerynowa uzyskana po estryfikacji tłuszczu drobiowego metanolem.

Estry metylowe uważa się za alternatywne paliwo do oleju napędowego. Zmiana lepkości względem temperatury to potwierdza, gdyż w badanym przedziale temperaturowym zaobserwowano zmianę lepkości w niewielkim stopniu względem pozostałych badanych substancji. Praca pojazdów rolniczych odbywa się w różnych warunkach atmosferycznych, czyli różnych temperaturach, co wpływać będzie na właściwości tych paliw, uznawanych za paliwa pędne. Analizując pozostałe produkty oczywiste jest, że wysoka elastyczność tego parametru względem temperatury wyklucza te substancje jako paliwa pędne bez wcześniejszego przygotowania systemu zasilającego silnik wysokoprężny. Należy dokładnie zwrócić uwagę na rozkład lepkości tłuszczu w przedziale 30-60^{o}C, krzywe te są zbliżone do siebie, co świadczy o możliwości wykorzystania różnych rodzajów tłuszczów do jednej uniwersalnej instalacji, w której te substancje będą miały temperaturę wyżej przedstawionym przedziale. Dla dokładniejszego potwierdzenia zaobserwowanego zjawiska przeprowadzono opisową analizę statystyczną.

Tabela 3. Wyniki analizy lepkości w temperaturze z przedziału od 5°C do 60°C

Rodzaj użytego tłuszczu	Liczba pomiarów *	Średnia	Minimum	Maksimum	Rozstęp	Odchylenie standardowe
	Faza estrowa					
Tłuszcz drobiowy	53	5,57	2,54	11,61	9,07	2,52
Tłuszcz wołowy	47	4,59	2,39	8,60	6,21	1,75
Olej posmażalniczy	56	6,07	2,67	13,30	10,63	2,98
Olej rzepakowy	56	5,92	2,87	11,64	8,77	2,44
	Faza glicerynowa					
Tłuszcz drobiowy	56	60,90	13,27	251,02	237,75	51,16
Tłuszcz wołowy	47	51,46	13,26	242,80	229,54	44,60
Olej posmażalniczy	56	120,10	19,58	446,20	426,62	111,12
Olej rzepakowy	53	163,64	28,35	602,11	573,76	151,24
	Analizowane tłuszcze w czystej postaci					
Tłuszcz drobiowy	54	168,58	20,86	884,29	863,43	214,79
Tłuszcz wołowy	39	66,68	19,90	691,50	671,60	108,28
Olej posmażalniczy	56	120,87	27,59	389,16	361,57	96,74
Olej rzepakowy	56	65,18	18,25	196,30	178,05	47,01

*maksymalna liczba pomiarów 56

Źródło: [Golimowski 2010]

Dane zawarte w tabeli charakteryzują przyrost lepkości względem spadającej temperatury. Liczba pomiarów mniejsza niż 56 świadczy o tym, że próba uległa skrzepnięciu wywołując zatrzymanie wiskozymetru. Można zaobserwować zależność, że czym mniejsza liczba pomiarów tym wyższa temperatura, przy której doszło do zatrzymania aparatu. Zauważa się również, że wartość lepkości i temperatura w jakiej dochodzi do skrzepnięcia jest zależna od rodzaju tłuszczu. Tłuszcze są zbudowane z różnych kwasów tłuszczowych, których właściwościami temperaturowymi zależą głównie od ilości wiązań międzycząsteczkowych [Gawęcki 1997], dlatego oprócz temperatury krzepnięcia określa się temperaturę blokady zimnego filtra (CFPP) i temperaturę mętnienia, celem scharakteryzowania w pełni właściwości temperaturowych. Zauważyć można (tabela 3) ścisłą zależność pomiędzy produktami reakcji estryfikacji a tłuszczami zwierzęcymi, podobne temperatury zatrzymania reometru przy różnych wartościach lepkości od 8,60 $mm^2 \cdot s^{-1}$ do nawet 863,43 $mm^2 \cdot s^{-1}$, co potwierdza wpływ zmiany budowy molekularnej tłuszczu poprzez poddanie go reakcji estryfikacji. Wartość odchylenia standardowego, jak również rozstęp świadczą o poziomie elastyczności lepkości względem temperatury, im są one wyższe tym skłonność do zmiany tego parametru jest większa. Wysoki stopień korelacji pomiędzy odchyleniem standardowym a rozstępem, na poziomie 0,97 analizowany przy 5% poziomie ufności, jest potwierdzeniem tego zjawiska. Zaobserwowano również wysoki poziom korelacji, powyżej 0,93 pomiędzy średnią a odchyleniem standardowym oraz rozstępem, we wszystkich analizowanych produktów poreakcyjnych.

Na podstawie zgromadzonych wyników zaobserwowano kilka istotnych zależności, które pozwoliły precyzyjnie zinterpretować zmiany, jakie zachodzą w badanych substancjach. Opracowana metoda badań oraz sposób interpretacji wyników mogą posłużyć do prowadzenia dalszych badań, w kierunku poprawy elastyczności tego parametru względem temperatury. Silniki wysokoprężne zasilane paliwem pędnym narażone są na oddziaływanie temperatury w zakresach od nawet -30°C do ponad +50°C co wymaga zastosowania paliw, których właściwości fizyczne będą odporne na zmiany temperatury.

Realizując badania sprawności instalacji do produkcji oleju rzepakowego tłoczonego metodą na zimnow pierwszej kolejności poddano analizie zebrane z pięciu źródeł nasiona rzepaku na zawartość białka, tłuszczu, zanieczyszczeń mechanicznych i wody. Wyniki przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 4. Parametry nasion rzepaku

Nr dostawy	Ilość [kg]	Wilgotność [%]	Zanieczyszczenie [%]	Zaolejenie [%]	Białko [%]	Gęstość [kg·m^{-3}]
01	7000	7,6	1,5	44,3	22,75	656
02	500	6,8	1,5	44,0	21,3	657
03	500	6,6	1	44,0	21,5	644
04	500	7,4	1	44,5	21,6	635
05	500	7,7	1,5	43,5	21,2	654

Źródło: [Golimowski 2010]

W 2010 roku przeprowadzono również badania pilotażowe, w temperaturze znacznie niższej niż zaleca producent prasy (min. 12°C). Celem tego testu było określenie wpływu wielkości szczeliny pomiędzy tłokiem a głowicą prasy na jej wydajność oraz poprawne działanie wszystkich podzespołów. Wydatek oleju z nasion był na niskim poziomie, o czym świadczy zaolejenie wytłoków (tabela 5). Pomieszczenie, w którym została zbudowana instalacja nie posiada ogrzewania, dlatego też dalsze prace zostały zaplanowane na rok 2011. W ramach pierwszej próby poddano tłoczeniu około 5000 kg nasion rzepaku celem zweryfikowania poprawności działania poszczególnych ogniw całego urządzenia. Uzyskano ponad 1000 dm^3 oleju. Mała wydajność instalacji pracującej w niskich temperaturach wpłynęła na decyzję o zaprzestaniu dalszej pracy do wiosny 2011 roku. Wyniki zestawiono w tabeli 5.

Ze wstępnych wyników badań można wnioskować, że wielkość szczeliny pomiędzy tłokiem a głowicą prasy ma wpływ na wydajność urządzenia i uzysk oleju. Zaobserwowano najkorzystniejsze ustawieni szczeliny na poziomie 4 mm, rejestrując najwyższą wydajność i uzysk oleju, o czym świadczy najniższy poziom zaolejenia wytłoków (tabela 5). Dalsze badania będą prowadzone zgodnie z opracowaną i zweryfikowaną metodyką. Poddane wytłoczeniu będą nasiona rzepaku z 5 źródeł przy wielkości szczeliny jaką uznano za najlepszą. Tłoczeniu będą poddane również te same nasiona co do tej pory, celem weryfikacji wpływu temperatury otoczenia na poziom wydajności prasy i uzysk oleju.

Tabela 5. Średnia wydajność prasy do tłoczenia oleju i właściwości wytłoków

Szczelina [mm]	Temperatura nasion rzepaku [°C]	Wydajność [kg·h^{-1}]	Zawartość w wytłokach [%]		
			tłuszczu	białka	wody
2	8,9	8,5	36,15	46,47	6,35
3	10,3	9,3	36,15	46,57	6,49
4	9,2	9,4	33,60	45,59	6,54
5	9,3	8,9	34,00	36,03	6,70

Źródło: [Golimowski 2010]

W wyniku montowania poszczególnych elementów prototypowej instalacji do wytwarzania oleju roślinnego jako paliwa w gospodarstwie rolnym zgłoszono powstałą koncepcję tego urządzenia do urzędu patentowego jako wzór użytkowy pt. „urządzenie do wytwarzania biopaliwa rolniczego".

Zadanie 2

Ciągnik C-360 po przystosowaniu do zasilania gazem był używany do wykonywania prac polowych i transportowych w gospodarstwie rolnym. Badania eksploatacyjne ciągnika zasilanego metanem i biogazem wstępnie oczyszczonym realizowano według procedur stosowanych w badaniach ciągników spalinowych z zapłonem samoczynnym. Podstawowymi badanymi wielkościami były osiągi eksploatacyjne ciągnika użytego w badaniach. Rezultaty badań porównywano z odpowiednimi parametrami technicznymi ciągników z napędem tradycyjnym. Używanie ciągnika w gospodarstwie stało się możliwe po zakupieniu i zainstalowaniu zestawu do sprężania sieciowego gazu ziemnego. Wspomniana instalacja jest wykorzystywana do sprężania gazu ziemnego sieciowego, biogazu rolniczego i do napełniania specjalnych butli, montowanych na badanym ciągniku. Maksymalne ciśnienie robocze gazu w butli jest równe 200 bar.

Badania przeprowadzono przy użyciu hamowni KL-Maschinenbau GmbH &Co.KG D-24768 Rendsburg

Typ: PT301 Napięcie 400V

Hamownię podłączono do wałka odbioru mocy. Jest to często stosowany sposób dający wystarczający zbiór informacji o parametrach silnika spalinowego takich jak: moment obrotowy, moc i zużycie paliwa. Przyjęto założenie, że stałe przekładnia mechaniczna pomiędzy silnikiem napędowym ciągnika a wałkiem odbioru mocy ma stałe przełożenie i sprawność mechaniczna pozostaje nie zmienna w całym zakresie występujących prędkości obrotowych silnika.

W dniu 7 lipca 2010 roku wykonano pomiary mocy silnika osiąganej przy zasilaniu trzema rodzajami gazu:

– gazem sieciowym ziemnym;
– biogazem (1);
– biogazem (2).

Biogaz (1) i biogaz (2) zostały wyprodukowane w Instytucie Inżynierii Wody i Ścieków Politechniki Śląskiej w Gliwicach, i w ramach współpracy z ZOZE/ITP.

Mierzono i rejestrowano następujące podstawowe parametry pracy silnika:

– Prędkość kątową (obrotową).
– Moment obrotowy na wałku odbioru mocy.
– Zużycie paliwa gazowego.

System obliczeniowy hamowni sporządzał wykresy wartości momentu obrotowego i mocy w funkcji prędkości obrotowej silnika.

Po podłączeniu butli z gazem oznaczonym jako Biogaz 2 okazało się, że próba uruchomienia silnika nie powiodła się. Na skutek tego uznano, że gaz w tej butli jest na tyle zanieczyszczony, że nie ma szans na uruchomienie silnika. Analiza laboratoryjna składu chemicznego próbki nr 2 potwierdziła te przypuszczenia. (Patrz tabele nr 8 i 10)

Rys. 2. Agregat sprężarkowy GAS 160. [fot. J. Karłowski]

Stacja sprężarkowa została zaprojektowana i zbudowana w celu zapewnienia dostawy wysokosprężonego gazu ziemnego stosowanego jako paliwo do pojazdów. Stacja została wyposażona w agregat GAS-160 o łącznym natężeniu przepływu objętościowego 9 $m^3 \cdot h^{-1}$ – gdy gaz jest doprowadzany do stacji pod ciśnieniem 1 bara. Dostarczany gaz jest filtrowany a następnie sprężany do ciśnienia 20 MPa. Sprężony gaz gromadzi się w zasobnikowych butlach stalowych o pojemności wodnej 50 dm^3 każda. Zainstalowano 6 takich butli o łącznej pojemności wodnej 300 dm^3, dzięki czemu można zgromadzić pod ciśnieniem 20 MPa około 72 m^3 gazu. W zależności od sposobu napełniania butli o poj. wodnej 55 dm^3, zabudowanych na ciągniku, istnieje możliwość realizacji tzw. szybkiego napełniania wielokrotnego ze zbiornika stałego lub bezpośrednio z agregatu sprężar-

kowego przy odciętym dopływie gazu do zbiornika stałego (ładowanie powolne). W agregacie wykorzystano trójstopniową, dwucylindrową sprężarkę AK150SM. Do napędu zastosowano przeciwwybuchowy silnik elektryczny ESLE-112M2. Chłodzenie jest zrealizowane za pomocą wentylatora iskrobezpiecznego.

Tabela 6. Dane techniczne agregatu sprężarkowego GAS 160.

Parametr techniczny	Wartość
Natężenie objętościowe przepływu gazu przy ciśnieniu zasilania 1,0 bar	9 $Nm^3 \cdot h^{-1}$
Maksymalne ciśnienie sprężania	20 MPa (200 bar)
Pobór mocy przy maksymalnym ciśnieniu sprężania	3,6 kW (3 x 380 V)
Chłodzenie agregatu	powietrzem
Napęd agregatu	Silnik elektryczny Wx 2950 $obr \cdot min^{-1}$
Zakres temperatury pracy agregatu	-20 do +50°C
Masa agregatu	140 kg
Lepkość oleju, lato powyżej +10 C Zima, od +10 C d0 – 15 C Poniżej -15 C	SAE 30 SAE 10 SAE 5W
Wymiana oleju	co 500 motogodzin

Źródło: [Karłowski 2010]

Źródło: [fot. J. Karłowski]

Rys. 3. Zestaw sześciu butli stalowych, zbiornik stały o pojemności 300 dm^3

Przed rozpoczęciem próby pomiaru mocy silnika pobrano z butli próbki gazu, które poddano rutynowym analizom za pomocą przyrządu GA 2000.

Źródło: [fot. J. Karłowski]

Rys. 4. Próbki biogazu przygotowane do analizy składu chemicznego

Analiza składu chemicznego biogazu użytego do zasilania ciągnika w czasie testowania została wykonana w Laboratorium Oddziału ITP w Poznaniu.

Tabela 7. Wyniki analizy składu chemicznego próbki nr 1

Data, godz. analizy	CH_4 %	CO_2 %	O_2 %	H_2S ppm	CH_4/CO_2	Uwagi
2010-07-09 09:11	0,00	0,00	20,80	24,00	0,00	czyste powietrze
2010-07-09 09:16	78,80	0,10	2,80	38,00	788,00	p1
2010-07-09 09:21	86,80	0,10	2,40	38,00	868,00	
2010-07-09 09:26	86,70	0,10	2,10	37,00	867,00	
Wartość średnia:	84,10	0,10	2,43	37,66	841,00	X

Źródło: [Myczko, Kołodziejczyk 2010]

Tabela 8. Wyniki analizy składu chemicznego próbki nr 2

Data, godz. analizy	CH_4 %	CO_2 %	O_2 %	H_2S ppm	CH_4/CO_2	Uwagi
2010-07-09 09:31	39,50	19,00	1,90	40,00	2,08	p2
2010-07-09 09:36	39,20	19,10	1,90	43,00	2,50	
2010-07-09 09:41	39,40	19,20	1,90	43,00	2,50	
Wartość średnia:	39.36	19,10	1,90	42,00	2,36	X

Źródło: [Myczko, Kołodziejczyk 2010]

Oprócz zawartości podstawowych składników biogazu sprawdzono zawartość najczęściej występujących zanieczyszczeń gazowych: amoniaku i dwutlenku węgla. Oznaczenie zawartości tych gazów dokonano za pomocą analizatora fotoakustycznego – Multigas Monitora 1312. Wyniki pomiaru zawartości tych gazów podano w tabelach 9 i 10.

Tabela 9. Stężenie zanieczyszczeń w próbce biogazu nr 1

Data, godz. analizy	NH_3 [mg · m^{-3}]	CO_2 [mg · m^{-3}]	Uwagi
2010-07-09 13:50	62,29	3 407,50	p1
2010-07-09 13:51	62,57	3 431,30	
2010-07-09 13:52	62,60	3 430,00	
Wartość średnia:	62,49	3 422,93	X

Źródło: [Myczko, Kołodziejczyk 2010]

Tabela 10. Stężenie zanieczyszczeń w próbce biogazu nr 2

Data, godz. analizy	NH_3 [mg · m^{-3}]	CO_2 [mg · m^{-3}]	Uwagi
2010-07-09 14:09	30,38	228 980,00	p2
2010-07-09 14:10	30,35	229 090,00	
2010-07-09 14:11	30,36	228 860,00	
Wartość średnia:	30,36	228 976,66	X

Źródło: [Myczko, Kołodziejczyk 2010]

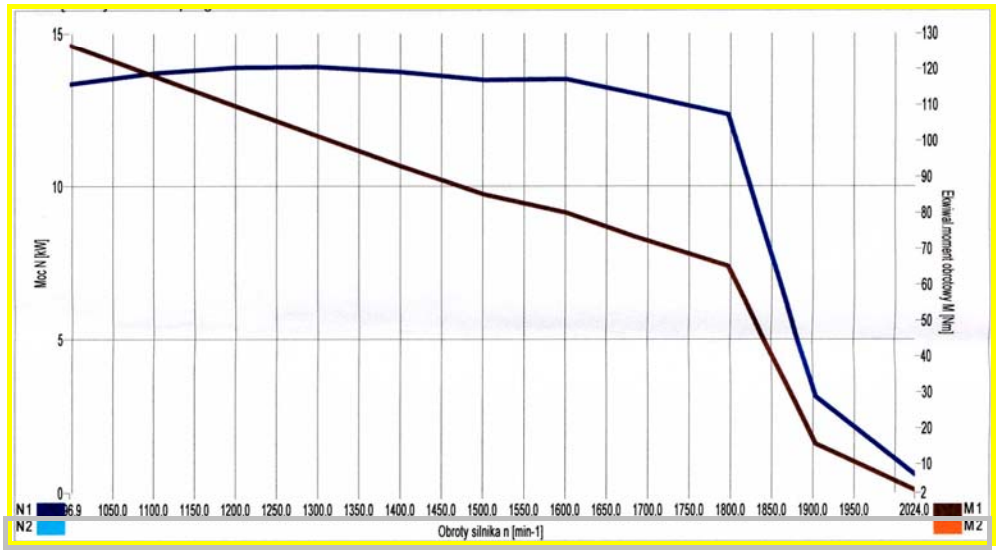
Dla rutynowej kontroli przyrządu dokonano sprawdzenia stężenia gazów zanieczyszczających w czystym powietrzu.

Tabela 11. Zawartość tych samych zanieczyszczeń gazowych w próbkach czystego powietrza

Data, godz. analizy	NH_3 [mg · m^{-3}]	CO_2 [mg · m^{-3}]	Uwagi
2010-07-09 13:37	0,43	853,85	czyste powietrze
2010-07-09 13:39	0,40	836,69	
2010-07-09 13:40	0,40	815,72	
2010-07-09 13:41	0,43	824,32	
Wartość średnia:	0,415	832,64	X

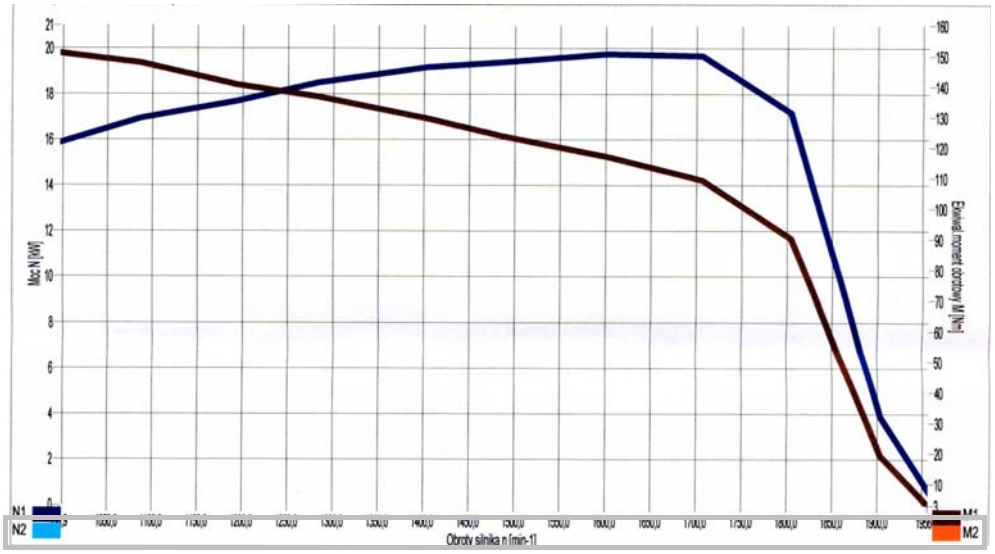
Źródło: [Myczko, Kołodziejczyk 2010]

Zużycie paliwa (gazu) mierzono za pomocą gazomierza 6G4L włączonego w układ zasilania pomiędzy reduktorem a komorą mieszania i sekundomierza. Za pomocą stopera mierzono czas przepływu 10 dm^3 gazu z reduktora ciśnienia do mieszalnika. Na tej podstawie obliczano zużycie gazu w kg·godz^{-1}. Dalsze obliczenia umożliwiały uzyskanie pozostałych elementów charakterystyk silnika.



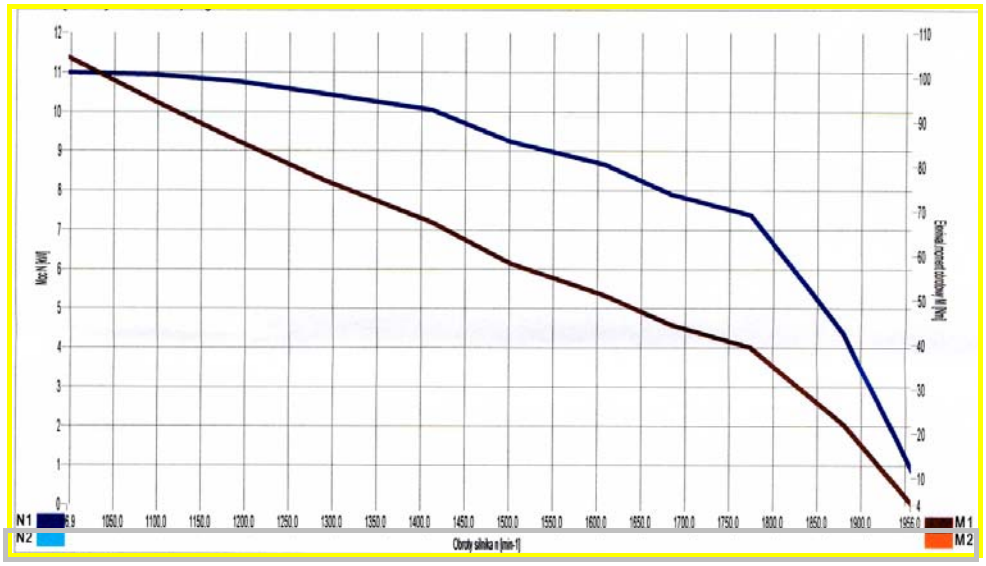
Źródło: [Karłowski 2010]

Rys. 5. Wykres mocy i momentu obrotowego przy zasilaniu biogazem z butli nr 1. Dynamometr PT 301 MES. Pomiar nr 360-6-G



Źródło: Karłowski 2010]

Rys. 6. Wykres mocy i momentu obrotowego przy zasilaniu biogazem z butli nr 1. Dynamometr PT 301 MES. Pomiar nr 360-7-G



Źródło: [Karłowski 2010]

Rys. 7. Wykres mocy i momentu obrotowego przy zasilaniu biogazem z butli nr 1. Dynamometr PT 301 MES. Pomiar nr 360-9-GB

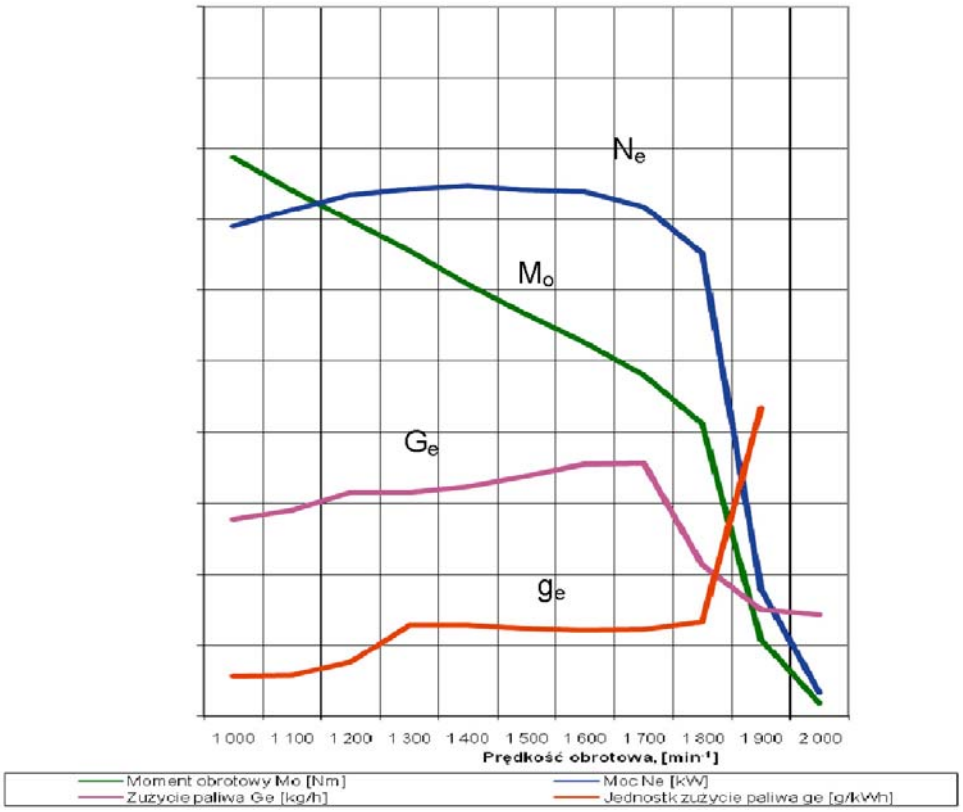
Wyniki w formie graficznej przedstawiono na rys. 8. W celu łatwiejszego zobrazowania wyników dla różnych wielkości zastosowano różne współczynniki przeliczeniowe.

W ramach realizacji zadania 2 wykonało również analizy biogazodochodowości substratów niestandardowych. Przebadano następujące substraty:

- suche źdźbła miskanta Miscanthus giganteus (oznaczenie próbki: MIS 1/EUD/01/10),
- burak cukrowy kiszony liście (oznaczenie próbki: $BC_{LIŚĆ}$2-4/EUD/11/10),
- burak cukrowy kiszony korzenie (oznaczenie próbki: BC_{MIX} 5-11/EUD/11/10),
- wycierka ziemniaczana (oznaczenie próbki: Zwyc6/EUD/12/10),
- sok ziemniaczany (oznaczenie próbki: Zsok7/EUD/12/10),

Dla celów kontrolnych badano równocześnie standardową gnojowicę krów mlecznych i kiszonkę z kukurydzy v.Nimba (oznaczenie próbki: GnK/EUD/05 /10, KK03/EUD/05/10).

Badania laboratoryjne obejmowały analizę podstawowych parametrów fizykochemicznych w tym: pH, zawartość suchej masy, wilgoci, suchej masy organicznej i popiołu. Analizy wykonano zgodnie z I-107/LBMPZ/2009, wg PN-EN 12880:2004 i PN-EN 12879:2004, dla próbek materiału badawczego rozdrobnionych, ujednorodnionych, w 4 powtórzeniach, wyniki średnie przedstawiono w tabeli 9.



Źródło: [Karłowski 2010]

Rys. 8. Charakterystyka silnika ciągnika C360 zasilanego biogazem.
(na podstawie średniej z trzech pomiarów)

Badania specjalistyczne oceny biogazodochodowości materiału organicznego przeznaczonego na substraty dla biogazowni wykonywano metodą statycznej standardowej próby fermentacji metanowej (SPFM)wg PB-01/LBMPZ-2010/FM metodą DIN 38 414 cz.8.

Zastosowano następujące obciążenie mieszaniny fermentacyjnej 10%, 7,5%, 5% lub 2,5% próbki badanej. Wyniki średnie przedstawiono w tabeli 10. Stopień rozdrobnienia substratu zastosowano według zaleceń dla fermentowanej masy organicznej. Dodatków stabilizujących nie stosowano. Próba kontrolna K0 – inoculat, temperatura inkubacji: 37,0°C, ilość powtórzeń dla 1 próbki: 3, objętość mieszaniny fermentacyjnej: 400 ml, warunki lab: temp. 20-18 °C, wilg. 40-56%, ciś. 986-1015, hPa.

Tabela 12. Wartości analizy podstawowej materiału organicznego przeznaczonego na substraty dla biogazowni rolniczej

	Próbka	pH – H_2O	temperatura pryzmy	SM	Wilgoć	SMO	Popiół
Miskant	Mis 1/zpe/01/10/		20,2°C w temp lab.20,1	80,11 % śm ± 1,6 odch.std 0,19	19,89 % śm ± 0,45 odch.std 0,19	95,77 % śm ± 2,87 odch.std 0,13	4,23 % sm ± 0,06 odch.std 0,13
Burak cukrowy korzenie	BC_b5/eud/11/10	4,09±0,02 temp.18,6	18,2°C w temp lab.18,4	20,66 % śm ± 0,41 odch.std 0,23	79,33 % śm ± 1,59 odch.std 0,23	85,75 % sm ± 2,57 odch.std 0,94	14,25 % sm ± 0,43 odch.std 0,94
	BC_b6/eud/11/10	3,99±0,02 temp.18,0	17,6°C w temp lab.18,4	20,56 % śm ± 0,42 odch.std 0,24	79,44 % śm ± 1,59 odch.std 0,24	85,02 % sm ± 2,55 odch.std 0,34	14,98 % sm ± 0,45 odch.std 0,34
	BC_k10/eud/11/10	4,11±0,02 temp.18,6	16,4°C w temp lab.18,4	18,53 % śm ± 0,37 odch.std 0,44	81,47 % śm ± 1,63 odch.std 0,44	79,87 % sm ± 2,4 odch.std 0,76	20,13 % sm ± 0,6 odch.std 0,76
	BC_k11/eud/11/10	4,08±0,02 temp.18,1	17,8°C w temp lab.18,4	16,69 % śm ± 0,33 odch.std 0,18	83,31 % śm ± 1,67 odch.std 0,18	86,27 % sm ± 2,59 odch.std 0,33	13,73 % sm ± 0,41 odch.std 0,33
	BC_{mix}/ZPE/05/10	3,88±0,02 temp.19,2	17,4°C w temp lab.18,9	19,41 % śm ± 0,39 odch.std 0,17	80,59 % śm ± 1,61 odch.std 0,17	84,69 % sm ± 2,54 odch.std 0,23	15,31 % sm ± 0,46 odch.std 0,23
Kiszonka z kukurydzy	KK03/ZPE/05/10	4,00±0,02 temp.20,3	34,1°C w temp lab.18,4	30,87 % śm ± 0,62 odch.s 0,7	69,13 % śm ± 1,38 odch.s 0,7	95,30 % sm ± 2,86 odch.s 0,13	95,30 % sm ± 0,14 odch.s 0,13
Gnojowica	GnK/ZPE/05/10	7,52±0,02 temp.18,7	19,0°C w temp lab.18,4	8,22 % śm ± 0,16 odch.s 0,04	91,78 % śm ± 1,84 odch.s 0,04	86,16 % sm ± 2,58 odch.s 0,21	13,84 % sm ± 0,42 odch.s 0,21

cd. Tabeli 12

	Próbka	pH – H_2O	temp. pryzmy	SM	Wilgoć	SMO	Popiół
Burak cukrowy liście	$BC_{liść}2$/ZPE/05/10	6,99±0,02 temp.19,7	18,9°C w temp lab.19,5	12,51 % śm ± 0,25 odch.s 0,35	87,49 % śm ± 1,75 odch.s 0,35	51,06 % sm ± 1,53 odch.s 1,77	48,94 % sm ± 1,47 odch.s 1,77
	$BC_{liść}4$/ZPE/05/10	7,13±0,02 temp.19,5	19,2°C w temp lab.19,5	16,28 % śm ± 0,33 odch.s 0,21	83,71 % śm ± 1,67 odch.s 0,21	57,47 % sm ± 1,72 odch.s 0,4	42,53 % sm ± 1,28 odch.s 0,4
Wycierka ziemniaczana	Zwyc6/eud/12/10	6,99±0,02 temp.19,7	18,9°C w temp lab.19,5	14,18 % śm ± 0,28 odch.s 0,2	85,82 % śm ± 1,72 odch.s 0,2	97,95 % sm ± 2,94 odch.s 0,02	2,05 % sm ± 0,06 odch.s 0,02
Sok ziemniaczany	Zsok7/eud/12/10	7,13±0,02 temp.19,5	19,2°C w temp lab.19,5	5,52 % śm ± 0,11 odch.s 0,04	94,48 % śm ± 1,89 odch.s 0,04	71,71 % sm ± 2,15 odch.s 0,77	28,29 % sm ± 0,85 odch.s 0,77

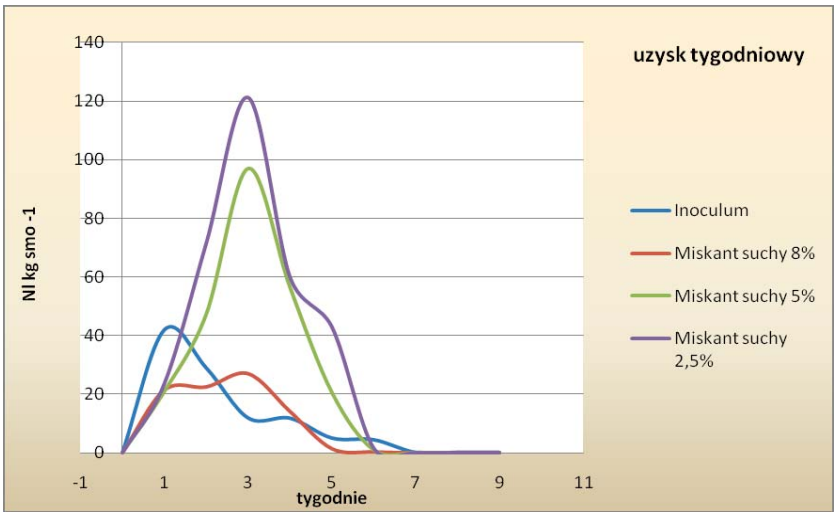
Źródło: [Myczko, Kołodziejczyk 2010]

Tabela 13. Wartości analityczne parametrów procesowych zbiogazowania materiału organicznego

	Próbka	pH-H_2O początkowe	pH-H_2O końcowe	Obciążenie mieszaniny fermentacyjnej suchą masą (sm)	Czas trwania Spfm	Uzysk biogazu	Zawartość metanu znormalizowana netto (C_{nCH4})
Miskant	Mis 1/zpe/01/10/ 8%	7,47 ±0,11 temp.komp.23,7°C w temp.lab. 20,2°C	7,43 ±0,11 temp.komp.33,5°C w temp.lab. 20,5°C	12,01% sm ± 0,36 odch.std 0,13	6 tyg	86,22 Nl kg smo^{-1}	33,34%
	Mis 1/zpe/01/10/ 5%	7,3 ±0,11 temp.komp.24,3°C w temp.lab. 20,2°C	7,23 ±0,11 temp.komp.33,3°C w temp.lab. 20,5°C	9,79% sm ± 0,21 odch.std 0,16	6 tyg	243,11 Nl kg smo^{-1}	45,58%
	Mis 1/zpe/01/10/ 2,5%	7,06 ±0,12 temp.komp.25,9°C w temp.lab. 20,2°C	7,26 ±0,11 temp.komp.33,3°C w temp.lab.20,5°C	7,94% sm ± 0,19 odch.std 0,17	6 tyg	320,35 Nl kg smo^{-1}	48,77%
Burak cukrowy korzenie	BC_{mix}/ZPE/05/10 10%	7,64 ±0,08 temp.komp.22,6°C w temp.lab.18,2	7,96 ±0,08 temp.komp.35,3°C w temp.lab.18,2	5,93% ± 0,16 odch.std 0,21	5 tyg	884,71±42,4 Nl kg smo^{-1} odch.std 51,2	52,88% odch.std 7,16
Kiszonka z kukurydzy	KK03/ZPE/05/10 10%	7,68 ±0,08 temp.komp.21,6°C w temp.lab.18,2	7,88 ±0,08 temp.komp.36,1°C w temp lab.18,2	4,76% sm ± 0,15 odch.s 0,23	6 tyg	648,55±32,4 Nl kg smo^{-1} odch.std 12,0	58,23% odch.std 2,03
Gnojowica	GnK/ZPE/05/10 10%	7,08 ±0,07 temp.komp.23,3°C w temp.lab.18,2°C	7,11 ±0,07 temp.komp.36,6°C w temp lab.18,2°C	5,24%sm ± 0,16 odch.s 0,02	4 tyg	323,31±16,2 Nl kg smo^{-1} odch.std 4,7	56,42% odch.std 2,03
Wycierka ziemniaczana	Zwyc6/eud/12/10 10%	7,78±0,02 temp.komp.22,4°C w temp.lab.18,6°C	7,76±0,02 temp.komp.33,8°C w temp.lab.18,6°C	5,54% sm ± 0,16 odch.s 0,07	4 tyg	563,88±28,19 Nl kg smo^{-1} odch.std 17,96	61,2% odch.std 1,51
Sok ziemniaczany	Zsok7/eud/12/10 10%	7,62±0,02 temp.komp.22,3°C w temp.lab.18,5°C	7,85±0,02 temp.komp.33,3°C w temp.lab.18,5°C	4,66% sm ± 0,11 odch.s 0,03	4 tyg	409,64±20,48 Nl kg smo^{-1} odch.std 35,2	59,89% odch.std 1,073

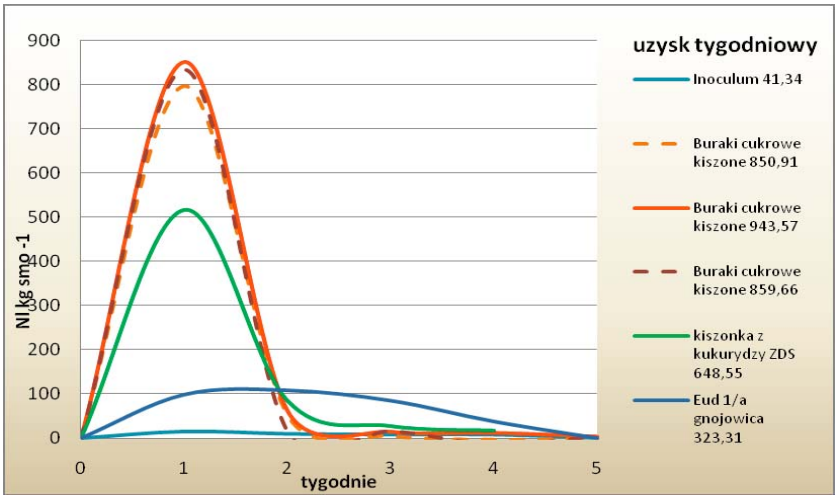
Źródło: [Myczko, Kołodziejczyk 2010]

Na rysunkach 9, 10 i 11 zobrazowano przykładowe wykresy przebiegu procesu zbiogazowania przebadanych substratów.



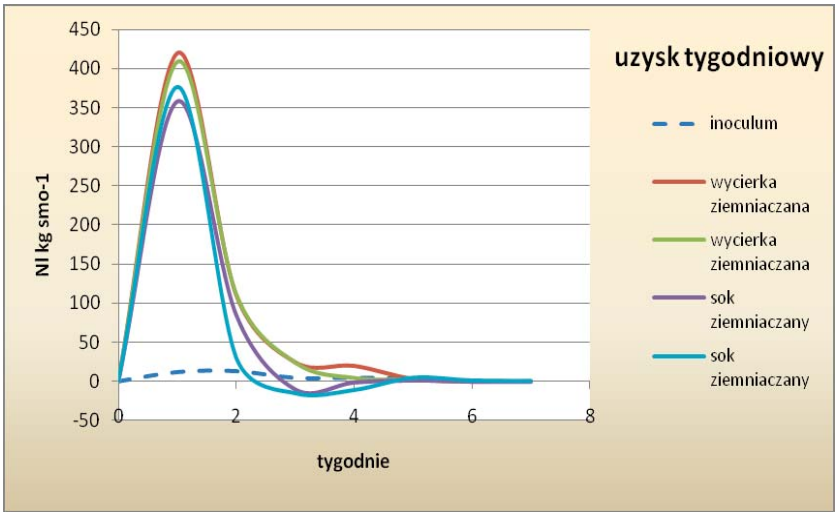
Źródło: [Myczko, Kołodziejczyk 2010]

Rys. 9. Wykres przebiegu fermentacji metanowej miskanta suchego, obrazujący zjawisko inhibicji prostej



Źródło: [Myczko, Kołodziejczyk 2010]

Rys. 10. Wykres przebiegu fermentacji metanowej kiszonki buraków cukrowych w porównaniu do kiszonki kukurydzy i gnojowicy krów mlecznych



Źródło: [Myczko, Kołodziejczyk 2010]

Rys. 11. Wykres przebiegu fermentacji metanowej świeżych, surowych odpadów z krochmalni, z załamaniem przebiegu fermentacji

Materiał przygotowany w oparciu o suche źdźbła Miscanthus Gigantus wykazał średnie właściwości biogazotwórcze. Proces fermentacji zależny był odwrotnie proporcjonalnie od stężenia próbki, mimo właściwych proporcji obciążenia mieszaniny fermentacyjnej suchą masą. Proces fermentacji był opóźniony, przebiegał w sposób ciągły lecz krótkotrwały. Uzysk biogazu był stały i jednostajny. Fermentacja trwała 6 tygodni i została zatrzymana ze względu na zanik produkcji biogazu. W czasie trwania procesu zbiogazowywania zaobserwowano nieznaczne, wahania pH nie wpływające na przebieg procesu. Po zakończeniu badania najlepszy wynik 320,35 Nl biogazu w przeliczeniu na kg smo uzyskano w próbie o 2,5% zawartości miskanta w mieszaninie fermentacyjnej, tj. ok. 80 Nl więcej niż z 1 kg smo standardowej gnojowicy bydlęcej, będącej próbą odniesienia. Średnia znormalizowana zawartość metanu netto wynosiła 48,77%.

Najwyższą zawartość metanu 65% przy 19,7% zawartości dwutlenku węgla wystąpiła po 18 dniach od rozpoczęcia procesu. Najkorzystniejszą proporcję CH_4/CO_2 równą 6,05, uzyskano w ostatnim tygodniu badania, przy zawartości metanu 47,2% i dwutlenki węgla 7,8%. Najwyższy jednorazowy uzysk zanotowano po 16 dniach od rozpoczęcia i wynosił 25,5 $Nl \cdot kg^{-1}$ smo. 80% wydajności biogazowej materiał uzyskał po upływie 3,5 tygodnia od rozpoczęcia procesu. Materiał nadaje się do poprawy struktury mieszaniny fermentacyjnej ze względu zawartość celulozy, uzyskane wyniki stosuje się do ustalenia obciążenia mieszaniny fermentacyjnej próbką i suchą masą miskanta.

Wyniki badań próbek zawierających kiszone korzenie buraka cukrowego potwierdziły wysoki potencjał biogazotwórczy kiszonki z korzeni spichrzowych buraka cukrowego, poddanych rozdrobnieniu po kiszeniu. Odczyn mieszaniny fermentacyjnej z tego materiału utrzymuje się na podwyższonym poziomie zakresu odpowiedniego dla prawidłowego przebiegu procesu fermentacji anaerobowej, w wysokim zakresie mezotermicznym. Wysoki potencjał buforowy mieszaniny pofermentacyjnej sugeruje możliwość zwiększenia potencjału biogazowego substratu poprzez zmianę czynników procesu. Zaobserwowano przyspieszoną dynamikę procesu. Była wyprzedzająca zarówno w stosunku do kiszonki kukurydzy jak i gnojowicy krów. Stwierdzono również, że w celu zwiększenia zawartości metanu w biogazie należy obniżyć pH mieszaniny fermentacyjnej.

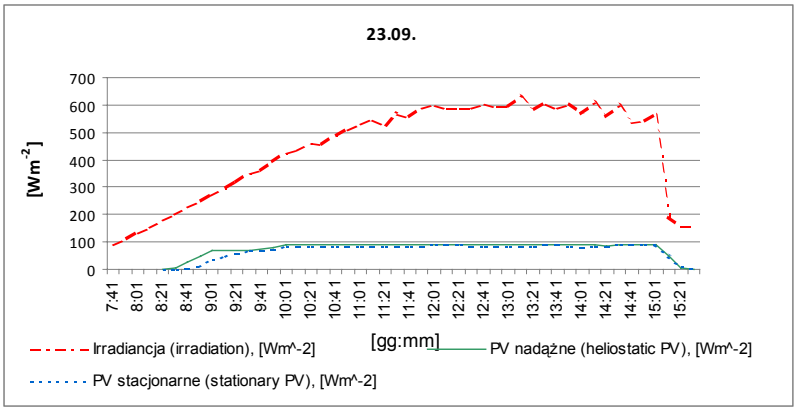
Wyniki badań świeżych, surowych resztek poprodukcyjnych z krochmalni wskazują na wysoki potencjał biogazotwórczy. Odczyn mieszaniny fermentacyjnej z tego materiału utrzymywał się na właściwym poziomie w zakresie odpowiednim dla prawidłowego przebiegu procesu fermentacji anaerobowej. Bardzo niski potencjał buforowy mieszaniny pofermentacyjnej przy średnim stężeniu świadczy o wysokim potencjale odgazowania substratu przy standardowych parametrach procesu. Bardzo wysoka zawartość metanu w biogazie świadczy o dużej wartości tego substratu do wykorzystania w biogazowniach, szczególnie w celu poprawy właściwości fermentacyjnych mieszanin fermentacyjnych z substratów o niskim potencjale metanotwórczym. W przypadku zbiogazowania surowego soku ziemniaczanego należy zastosować odpienianie mieszaniny fermentacyjnej.

Zadanie 3

Udoskonalono stanowisko badawcze i wykonano pomiary wytwarzania energii przez moduły fotowoltaiczne oraz przeprowadzono badania porównawcze modułów fotowoltaicznych z układem heliostatycznym i stacjonarnych. Udoskonalono również system rejestracji i przesyłu danych oraz udoskonalono budowę generatora wiatrowego

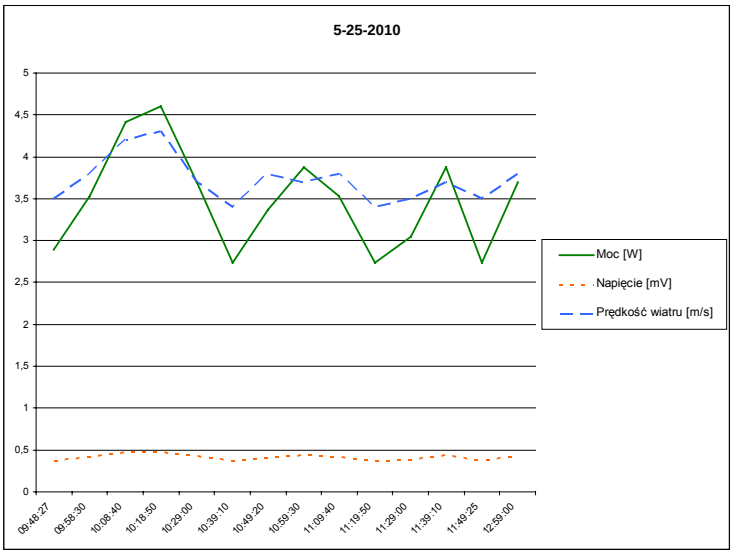
W efekcie opracowano konstrukcję generatora wiatrowego o pionowej osi obrotu wyposażonego w trzy trój płatowe skrzydła z możliwością regulacji powierzchni nośnej i kąta natarcia. Moc zastosowanej prądnicy trójfazowej synchronicznej to 2,5 kVA. Opracowano również metodykę badań generatora wiatrowego oraz przygotowano stanowisko do badań w sezonie 2011. Do badań wstępnych i testowania stanowiska badawczego wykorzystano inną turbinę wiatrowa SG-05 z prądnicą o mocy 250 W. Jest to turbina o pionowej osi obrotu ze spiralnie skręconym wirnikiem typu Savoniusa (prawo ochronne UP-RP nr 62733). Do pomiaru użyto rejestratora M800 (zakres pomiarowy 1500mV), dzielnika napięcia 1:100 , Jako obciążenie prądnicy użyto rezystorów pomiarowych o wartości wypadkowej 5 Ω. Do pomiaru prędkości wiatru wykorzystano ręczny anemometr firmy CONRAD-Elektronic. Wymiary turbiny (wysokość 1,45m; średnica 1,0m; pow. czynna 1,1m^2), jej konstrukcja oraz lokalizacja (ITP Oddział Poznań, luźna zabudowa, wysokość 5m nad poziomem gruntu) pozwoliły prze-

prowadzenie zaplanowanych obserwacji oraz wyciągnięcie wstępnych wniosków dotyczących warunków prowadzenia badań instalacji hybrydowej.



Źródło: [Lenarczyk 2010]

Rys. 12. Wyniki badań porównawczych modułów fotowoltaicznych



Źródło: [Lenarczyk 2010]

Rys. 13. Fragment zarejestrowanych pomiarów napięcia i mocy wytworzonej przez turbinę wiatrową SG-05 oraz prędkości wiatru

Instalacja hybrydowa składa się z 4 głównych podzespołów, które przedstawiono na rys. 14 i 15.

Źródło: [fot. J. Lenarczyk]

Rys. 14. Moduły fotowoltaiczne zainstalowane na platformie wyposażonej w system heliostatyczny

Źródło: [fot. J. Lenarczyk]

Rys. 15. Wirnik generatora wiatrowego w trakcie wyważania osi

Zadanie 4

Ogółem wykonano badania 45 surowców biologicznych. Przykładowe wyniki przeprowadzonych analiz parametrów fizyczno-chemicznych wybranych 17 rodzajów biomasy zostały przedstawione w tabeli 14. Najwyższą wartością opałową, poza Ekogroszkiem i koksem po gazyfikacji, charakteryzują się surowce o stosunkowo wysokiej zawartości węgla ogólnego oraz niskiej zawartości wilgoci całkowitej. Są to pestka palmowa, odpady z przetwórstwa roślin oleistych, pellet i brykiet ze słonecznika, mieszanka otrąb, wytłoki i słoma z Lnicznika siewnego. Natomiast najmniej korzystnym materiałem do wykorzystania na cele energetyczne okazała się być wierzba energetyczna (Salix viminalis), ze względu na wysoką zawartość wilgoci całkowitej, a co za tym idzie niską wartość opałową roboczą.

Tabela 14. Wyniki analiz fizyczno-chemicznych surowców biologicznych wykonanych w „Laboratorium biomasy" ZPIR

Badany Materiał / Typ Biomasy	Ciepło spalania stan suchy [kJ·kg^{-1}]	Wartość opałowa stan suchy [kJ·kg^{-1}]	Ciepło spalania stan roboczy [kJ·kg^{-1}]	Wartość opałowa stan roboczy [kJ·kg^{-1}]	Zawartość H[%]	Zawartość S[%]	Zawartość C[%]	Zawartość N[%]	Zawartość popiołu [%]	Zawartość wilgoci całkowitej [%]
Pestka palmowa	20631	19330		17593	5,97	0,09	49,77	0,49	7	7,8
Odpady przetwórcze roślin oleistych	21328	20018		18356	5,98	0,08	53,00	0,37	1	7,4
Pellet z otrąb pszennych	19610	18226	17675	16290	6,35	0,25	45,85	2,75	5	12,15
Pellet ze słonecznika	20450	19164	19175	17890	5,90	0,22	50,00	0,85	3	10,00
Pellet z otrąb żytnich	19440	18045	17590	16200	6,40	0,25	46,05	2,45	4	10,25
Pellet z siana	17400								7	7,3
Pellet drzewny	19970	18568		15627	6,6	0,29	46,1	3,0	5	14
Brykiet ze słonecznika	20775	19470	19560	18250	6,00	0,21	50,80	0,75	2	9,37
Brykiet z roślin bagiennych	19470	18090		16560	6,34	0,24	47,60	1,53	ok. 1	7,45

Badany Materiał / Typ Biomasy	Ciepło spalania stan suchy [kJ·kg^{-1}]	Wartość opałowa stan suchy [kJ·kg^{-1}]	Ciepło spalania stan roboczy [kJ·kg^{-1}]	Wartość opałowa stan roboczy [kJ·kg^{-1}]	Zawartość H[%]	Zawartość S[%]	Zawartość C[%]	Zawartość N[%]	Zawartość popiołu [%]	Zawartość wilgoci całkowitej [%]
Brykiet ze słomy	18615	17265		15817	6,20	0,15	45,35	0,40	5	7,35
Brykiet ze słomy	18950	17650	16350	15050	5,95	0,20	45,40	0,82	5	18,6
Brykiet z jabłka	18400									12
Brykiet z trociny	19050									5,5
Mieszanka otrąb	22960	21400	21630	20070	7,20	0,38	50,60	4,72	4	9,70
Koks po gazyfikacji	30050	29655			1,80	1,67	76,70	1,50	16,7	2,4
Wytłoki z lnicznika siewnego	23315	22294		20488	4,67	0,75	50,85	5,84	5,5	7,3
Słoma z lnicznika siewnego	18572	17307		15056	5,8	0,16	46,3	0,92	4,0	11,4

Podsumowując wyniki przeprowadzonych analiz należy zaznaczyć, że wyznaczenie cech fizycznych i cieplnych dla surowców przeznaczonych na cele energetyczne może być w przyszłej działalności ukierunkowane dla wielu innych produktów rolniczych np. w suszarnictwie, przechowalnictwie oraz przetwórstwie rolno-spożywczym.

1. Wyniki badań wykazały, że na wartość opałową największy wpływ mają: wilgotność ogólna i zawartość węgla.
2. Zawartość wodoru w produktach spalania biomasy wydaje się mieć istotny wpływ na wartość opałową, jednak zależność ta wymaga dalszych badań.
3. Stwierdzono, że surowce biologiczne w porównaniu do węgla posiadają stosunkowo niską zawartość siarki tzn. w granicach 0,08%–0,75%, a węgiel, do 5%, co czyni je produktem mniej szkodliwym dla środowiska.

Podsumowanie zbiorcze

Prowadzone w 2010 roku prace dotyczyły biogazowania biomasy, wykorzystania energii wiatru i słońca, cech termofizycznych biomasy, spalania biomasy, paliw ciekłych oraz niekonwencjonalnych napędów dla silników ciągnikowych. Ogólna wiedza na te tematy jest już bardzo duża. Tematyką tą zajmuje się wiele ośrodków naukowych. Brak jednak wiedzy umożliwiającej aplikację technik OZE bezpośrednio w gospodarstwach rolniczych, szczególnie w dominujących w Polsce gospodarstwach rodzinnych.

Prace realizowane w ITP. polegały głównie na uzupełnianiu brakującej wiedzy niezbędnej do rozpoczęcia prac wdrożeniowych. Wiedza uzyskana podczas prowadzonych badań została uzupełniona wiedzą nabytą podczas realizacji 7 prac dotyczących omawianej tematyki na zlecenia podmiotów gospodarczych. Zlecenia te dotyczyły głównie problemów biogazowych, które ze względu na realizowaną w resorcie rolnictwa koncepcję rozwoju biogazownii rolniczych, stanowiły główny punkt ciężkości prowadzonych prac. Z tego też powodu duży nacisk położono na doposażenie i akredytowanie laboratorium biogazowego. Zastosowane tam metodyki, dopracowane głównie w trakcie współpracy z jednostkami gospodarczymi, umożliwiły uzyskanie pierwszej w Polsce akredytacji w zakresie badania biogazodochodowości, wydanej przez Polskie Centrum Akredytacji. Serie badań laboratoryjnych oraz symulacji ekonomicznych w zakresie biogazu zakończono etapem projektowania małych instalacji biogazowych. Prace te będą kontynuowane w latach nastepnych.

Badania biomasy dotyczyły nie tylko tej pochodzącej z celowych upraw, ale również z pozostałości poprodukcyjnych z przetwórstwa, rolniczych produktów ubocznych oraz odpadów klasyfikowanych do II i III kategorii. Zaplanowano dalszą kontynuację badań cech termofizycznych biomasy. W tym zakresie wiedza naukowa nadal jest niedostateczna. Wyniki dotyczące współspalania biomasy mogą już na obecnym etapie być wykorzystane do celów inwestycyjnych.

Za nowatorskie należy uznać badania dotyczące efektu synergii w wyniku zastosowania układu panel fotovoltaiczny – siłownia wiatrowa. Jakkolwiek definicja synergii jest powszechnie znana, to w nauce brak dotychczas wiedzy dotyczącej sposobu wykazania i udokumentowania tego efektu. W tym zakresie rozpoczęto realizację pracy doktorskiej. Również do realizacji rozprawy doktorskiej posłużą wyniki badań dotyczących produkcji i stosowania paliw ciekłych z odpadowych tłuszczy zwierzęcych i posmażalniczych. Będzie to druga rozprawa realizowana w tym zakresie w ITP.

Podsumowując wyniki badań dotyczących wpływu cech termofizycznych surowców na wybrane parametry jakościowe biopaliw stałych należy zaznaczyć, że wyznaczenie cech fizycznych i cieplnych dla surowców przeznaczonych na cele energetyczne może być wykorzystane również w innych rodzajach działalności rolniczej np. w suszarnictwie, przechowalnictwie oraz przetwórstwie

rolno-spożywczym. Wyniki tych badań wykazały, że na wartość opałową największy wpływ mają: wilgotność ogólna i zawartość węgla. Zawartość wodoru w produktach spalania biomasy wydaje się mieć istotny wpływ na wartość opałową, jednak zależność ta wymaga dalszych badań. Stwierdzono również, że surowce biologiczne w porównaniu do węgla posiadają stosunkowo niską zawartość siarki tzn. w granicach 0,08%–0,75%, a węgiel, do 5%, co czyni je produktem mniej szkodliwym dla środowiska.

Bibliografia

Balssen E. 2010. Efektywne mieszanie substratów – mniejsze zużycie energii. Czysta energia 9.

Bocheński C. I. 2003. Biodiesel Paliwo Rolnicze. Wydawnictwo SGGW Warszawa.

Golimowski W. Nowak A. Pawlak S. 2008. Biopaliwa z tłuszczów roślinnych i zwierzęcych. Wybrane aspekty aktualnych uwarunkowań środowiskowych i przyszłościowych technik w produkcji zwierzęcej, Wyd. IBMER.

Golimowski W. 2010. Kierunki rozwoju produkcji paliw niszowych. Czysta Energia 12(112).

Golimowska R. Golimowski W. 2010. Ocena wartości opałowej fazy glicerynowej oraz jej mieszanin z biomasą. Problemy Inżynierii Rolniczej 3(69). Kraków.

Golimowski W. 2010. Sprawozdanie z realizacji prac - Poprawa wskaźników użytkowych i ekonomicznych procesu produkcji paliw ciekłych z biokomponentów (opracowanie receptur, technologii i testowanie). ITP. O/Poznań.

Gradziuk P. Grzybek A. Kowalczyk K. Kościk B. 2003. Biopaliwa. Wydawnictwo Wieś Jutra. Warszawa.

Grzybek A. 2004. Technologie transestryfikacji oleju rzepakowego. Biopaliwa Gliceryny Pasze z Rzepaku. Wydawnictwo ATR w Bydgoszczy.

Gutry P. 2010. Sprawozdanie z realizacji prac – Wpływ cech termofizycznych surowców biologicznych na wybrane parametry jakościowe biopaliw stałych w świetle badań laboratoryjnych.

Karłowski J. 2010. Sprawozdanie z realizacji prac - Rozwój niekonwencjonalnych systemów przygotowania i wykorzystania biogazu rolniczego (prace projektowe, testowanie). ITP O/Poznań.

Kotowski W. 2007. Biometan z biogazu. Czysta Energia. Nr 12.

Lenarczyk J. 2010. Sprawozdanie z realizacji prac - Rozwój pozasieciowego dwuźródłowego systemu zasilania urządzeń elektrycznych, z wykorzystaniem technik sterowania mikroprocesorowego w gospodarstwach rolnych (prace projektowo-konstrukcyjne i testowanie). ITP. O/Poznań.

Prasek H. Szlachta J.2010. Koncepcja lokalnej siłowni zasilanej biogazem – ITP Oddział w Warszawie - Materiały z XVI Międzynarodowej Konferencji Naukowej.

Predejović Z. J. 2008. The production of biodiesel from waste frying oils: A comparison of different purification steps. Fuel 87. 3522-3528.

Steppa M. 1988. Biogazowni Rolnicze. Wyd. IBMER. Warszawa.

Sulewski M. Gaca J. Brzeski S. 2006. Wpływ jakości oleju i warunków syntezy na wydajność i wybrane parametry biodiesla. Materiały II Międzynarodowej Konferencji Procesów Energii Eco-Euro-Energia Bydgoszcz.

Szulc R. Golimowski W. 2010. Strategia i możliwości produkcji biopaliw z tłuszczów zwierzęcych w Polsce. Journal of research and Applications in Agricultural Engineering 2010. vol. 55(2).

Wang Y., Ou S., Liu P., Zhang Z. 2007 Preperation of biodiesel from wast cooking oil via two-steps catalyzed process. Enging Conservat Manage 48.

Wyatt V. T., HessM. A. Dunn R. O., Fogila T. A,. Haas M. J., Marmer W. N. 2005. Fuel properties and nitrogen oxide emission level of biodiesel produced from animal fats. Jaocs. Vol. 82, **N**o. 8.

ZINTEGROWANE SYSTEMY ENERGETYCZNE W ROLNICTWIE

Jan Pabis

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach
Oddział w Warszawie

Wstęp

W odróżnieniu od stosowanych obecnie odnawialnych źródeł energii instalowanych w systemie rozproszonym (oddzielnie), stosowanie zintegrowanych systemów energetycznych umożliwia znacznie lepsze i szersze ich wykorzystanie w praktyce. Mogą one zapewnić ciągłą dostawę energii do gospodarstwa rolniczego. Zintegrowane systemy energetyczne oznaczają współpracę pomiędzy sobą kilku odnawialnych źródeł energii, lub odnawialnych źródeł energii z tradycyjnymi źródłami energetycznymi. Będzie to np. współpraca kolektora słonecznego z pompą ciepła i siłownią wiatrową, lub też współpraca ww. źródeł z podgrzewaczem powietrza opalanym węglem. Wyniki prac badawczych krajowych prowadzonych przez IBMER w latach 1985-1990 [Tymiński 1988; Pabis J, Rogulska, 1991] oraz zagranicznych [Jelonkowa i in. 1985; Krystis i in. 1985; Castelli in. 1985] wykazały, że stosowanie zintegrowanych systemów energetycznych umożliwia uzyskanie ok. 10-20% więcej energii niż ze źródeł rozproszonych, a w niektórych technologiach np. w niskotemperaturowym suszarnictwie produktów rolniczych do 30%. Energia uzyskiwana z odnawialnych źródeł ograniczona jest wieloma czynnikami tj. warunkami atmosferycznymi, porami roku i dnia, położeniami geograficznymi, sprawnościami cieplnymi, zasobami surowcowymi w przypadku biomasy oraz pokładami wód geoteremalnych. Zintegrowane systemy energetyczne w porównaniu do źródeł rozproszonych, pozwalają na większą elastyczność w sterowaniu, większe możliwości okresowej akumulacji ciepła, większą niezawodność systemu energetycznego, jak też ochronę naturalnego środowiska. Obiektem zastosowania zintegrowanego systemu energetycznego może być każde gospodarstwo rolne, wyodrębniona część gospodarstwa, grupa gospodarstw rolnych, jak też wszędzie tam, gdzie istnieje zapotrzebowanie na niskotemperaturowe źródła energii.

Projektowanie zintegrowanych systemów energetycznych

Projektowanie zintegrowanego systemu energetycznego dla zadanego obiektu, warunków i technologii, musi być poprzedzone analizą szeregu czynników, mających bezpośredni wpływ na strukturę tego obiektu. Zintegrowany system energetyczny powinien bilansować potrzeby energetyczne gospodarstwa rolniczego przez zastosowanie różnych odnawialnych i tradycyjnych źródeł energii [Rogulska 1991]. Analizę można podzielić na etapy:

- analizę lokalnych czynników klimatycznych i struktury gospodarstwa rolniczego,
- analizę potrzeb energetycznych (dziennych, miesięcznych i rocznych gospodarstwa rolniczego w rozbiciu na typ i rodzaj energii: energię cieplną, energię elektryczną itp. oraz punkty odbioru energii),
- analizę ilości produkowanej energii (dziennie, miesięcznie i rocznie) oraz poszczególne urządzenia i maszyny wykorzystujące odnawialne źródła energii tj. kolektory słoneczne, siłownie wiatrowe, instalacje biogazowe, pompy ciepła oraz spalanie biomasy.
- analizę techniczno-ekonomiczną wykazującą zasadność instalowania odnawialnych źródeł energii,
- analizę doboru urządzeń towarzyszących zintegrowanemu systemowi jak np. pompy wodne, wentylatory, transportery, aparatura kontrolno-pomiarowa i inne.

W projektowaniu zintegrowanych systemów energetycznych do analizy zapotrzebowania produkcji energii i jej bilansowania wykorzystano w IBMER system SIENA (Sistemi Energetici Agricoli), składający się z trzech bloków [Rogulska, 1991; Rogulska, 1996]:

POTRZEBY - program symulujący dzienne zapotrzebowanie na energię cieplną i elektryczną, na podstawie pomiarów miesięcznych zużycia energii w gospodarstwie rolniczym w skali rocznej,

ENERGIA - programy określające, na podstawie pomiarów, ilość energii produkowanej dziennie w skali roku,

ANALIZA - blok ten zawiera podprogramy,

DANE - zakłada zbiór z danymi wejściowymi,

BILANS - dokonuje bilansu energetycznego na podstawie danych ze zbioru parametrów eksploatacyjnych,

WYDRUK - drukuje sumaryczne zestawienie wyników.

W zestawieniu sumarycznym dla każdego układu urządzeń odnawialnych źródeł energii podawane są wskaźniki energetyczne i ekonomiczne:

- ilość energii uzyskiwanej w danym systemie energetycznym,
- stopnie pokrycia potrzeb energetycznych,
- całkowite koszty urządzeń zainstalowanych w systemie,
- roczne koszty eksploatacji urządzeń i okres spłaty urządzeń,
- okres spłaty kosztów urządzeń technicznych.

Przykłady zintegrowanych systemów energetycznych

Na rys. 1 i 2 pokazano schematycznie zintegrowane systemy energetyczne w Polsce, opracowane przez IBMER. Gospodarstwo rolne o powierzchni upraw 15 ha o specjalizacji hodowli bydła mlecznego (rys. 1), o obsadzie stada 24 krów mlecznych zużywa rocznie ok. 26000 kWh energii elektrycznej, 6 ton węgla i ok. 2800 kg oleju napędowego. Zintegrowany system energetyczny składa się z urządzeń:

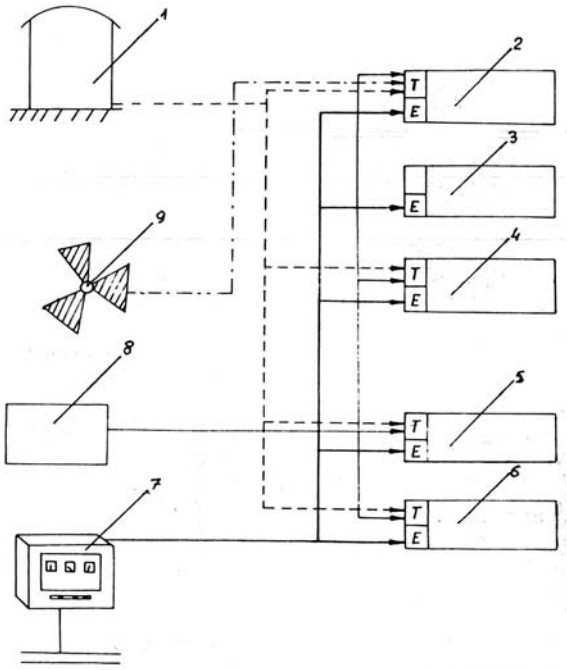
- instalacji biogazowej o komorze fermentacyjnej 24 m^3,
- siłowni wiatrowej WE-8 o mocy 12 kW.

Roczna produkcja biogazu wynosiła ok. 47000 kWh, a energia elektryczna z siłowni wiatrowej ok. 18000 kWh. Biogaz wykorzystywany jest w gospodarstwie domowym i budynkach produkcji zwierzęcej, a energia elektryczna z siłowni wiatrowej wykorzystywana jest w gospodarstwie domowym. Wymienione źródła odnawialne współpracują z kotłem opalanym węglem. W ogólnym bilansie energetycznym obniżenie zużycia energii pochodzącej z tradycyjnych źródeł energii wynosiło ok. 5%. Na rys. 2 pokazano zintegrowany system energetyczny w gospodarstwie rolnym, specjalizującym się w hodowli świń o obsadzie 160 sztuk oraz w produkcji ogrodniczej. Produkcja warzyw prowadzona jest w dwu szklarniach o powierzchni 600 m^2 oraz w 7 tunelach foliowych o łącznej powierzchni 1200 m^2. Zintegrowany system energetyczny został zaprojektowany z dwoma podsystemami, a mianowicie:

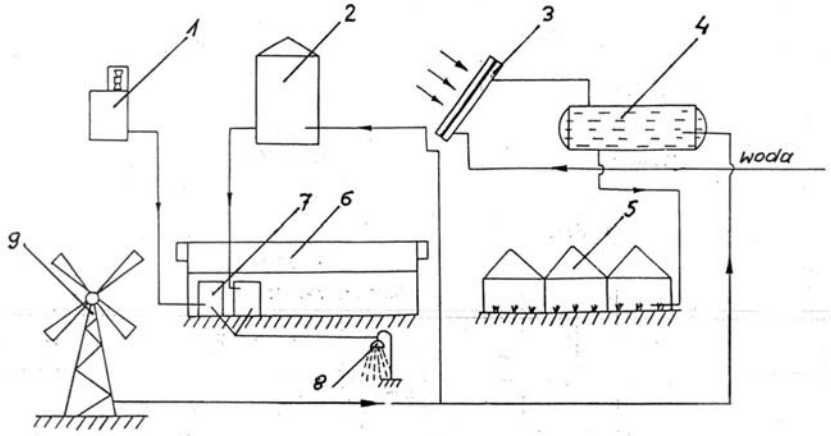
- podgrzewanie wody użytkowej z zastosowaniem pompy ciepła oraz instalacji biogazowej (pojenie zwierząt, rozcieńczanie karmy, parowanie pasz oraz podgrzewanie wody dla celów socjalnych),
- podgrzewanie wody z zastosowaniem kolektora słonecznego o powierzchni 30 m, oraz siłowni wiatrowej WE-10 ze zbiornikiem akumulacyjnym wodnym o pojemności 30000 l i łącznej mocy grzejników elektrycznych 24 kW.

Oprócz wykorzystania siłowni wiatrowej do podgrzewania wody użytkowej, energia elektryczna wykorzystywana jest do podgrzewania gnojowicy w zbiorniku fermentacyjnym. Bilans energetyczny zintegrowanego systemu wykazał, że w ciągu roku obniżenie energii cieplnej uzyskiwanej z tradycyjnych źródeł uległo obniżeniu o 6,5%, co w przeliczeniu na zużycie węgla wynosi ok. 6,5 tony.

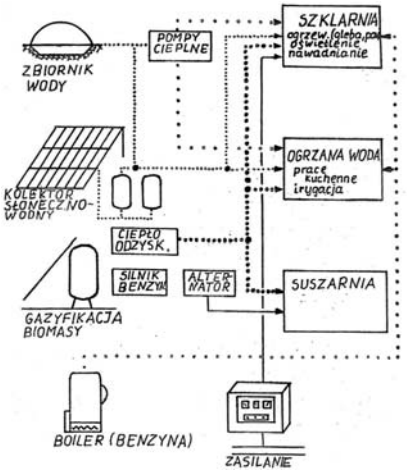
Na rys. 3 pokazano zintegrowany system w gospodarstwie rolnym Pouhow, a na rys. 4 w gospodarstwie rolnym Uherce w Republice Czeskiej [Jelinkowa 1987]. Dwie pompy ciepła o układzie woda-woda, każda o mocy 30 kW, współpracują ze stawem słonecznym wypełnionym solanką o powierzchni 256 m^2 i pojemności 150 m^3 oraz z kolektorem słonecznym o powierzchni 250 m^2. Gaz uzyskany z gazyfikacji odpadów drewna wykorzystany jest do napędu silnika spalinowego, podgrzewania wody oraz podgrzewania powietrza w suszarce zielonek. Podgrzana woda wykorzystana jest do podgrzewania podłoża i nawadniania roślin w szklarni oraz do celów bytowych i socjalnych w budynku.



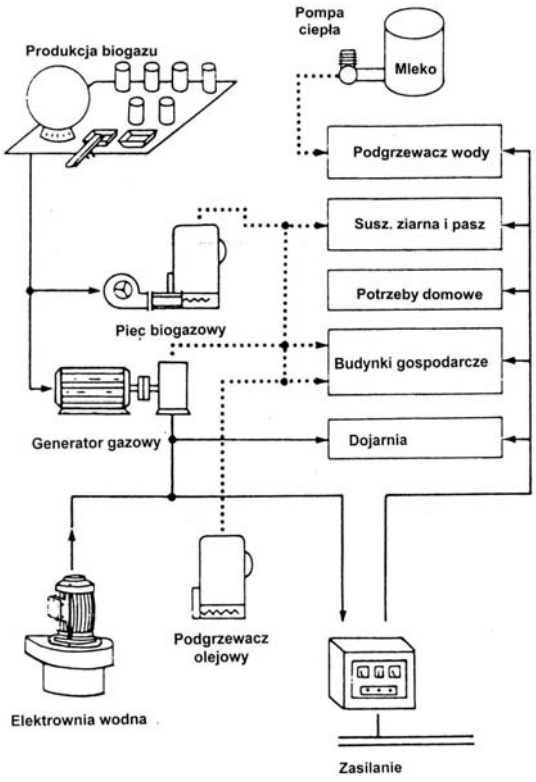
Rys. 1. Zintegrowany system energetyczny w gospodarstwie rolnym: 1 – instalacja biogazowa, 2 – gospodarstwo domowe, 3 – pompa wodna, 4 – produkcja zwierzęca, 5 – dojarnia, 6 – przechowalnia mleka, 7 – sieć elektryczna



Rys. 2. Zintegrowany system w gospodarstwie rolnym: 1 – pompa ciepła PC-200, 2 – instalacja biogazowa, 3 – kolektor słoneczny wodny, 4 – zbiornik ciepłej wody, 5 – szklarnie, 6 – chlewnia, 7 – zbiornik ciepłej wody, 8 – prysznice, 9 – siłownia wiatrowa WE-10

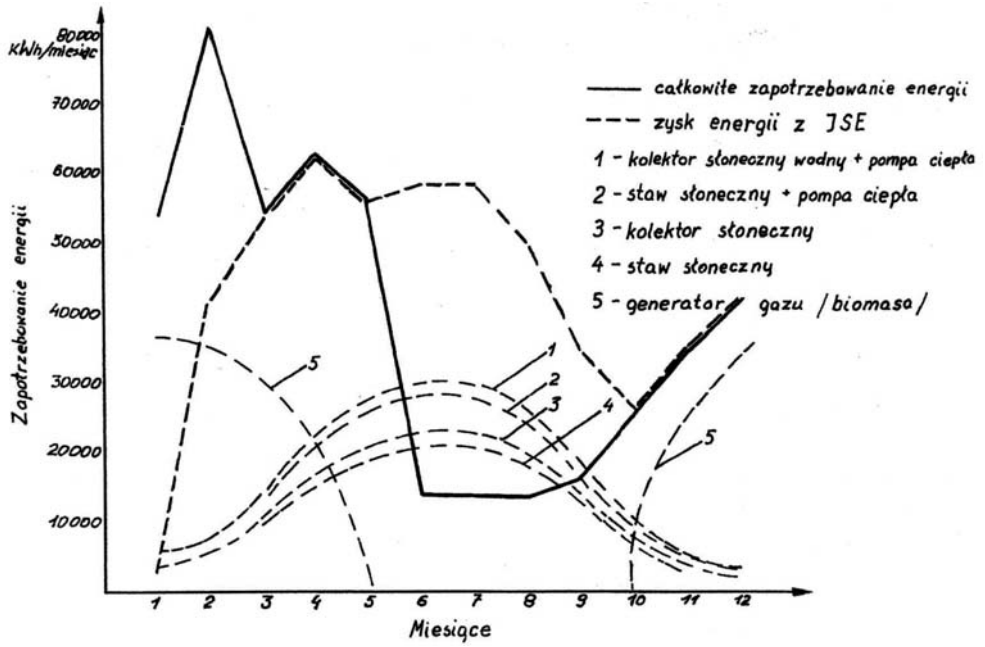


Rys. 3. Zintegrowany system energetyczny w gospodarstwie rolnym Pouchow (CR)



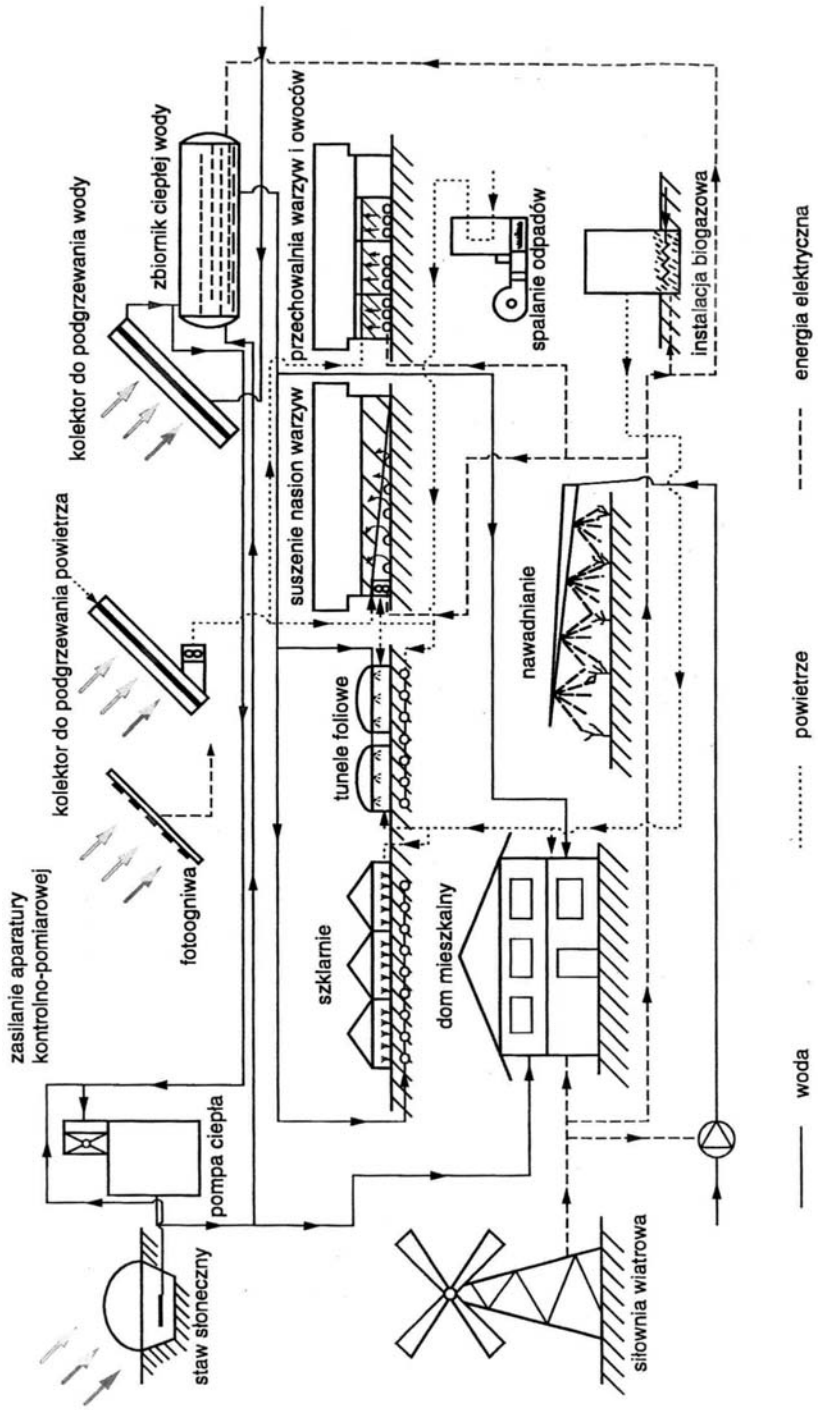
Rys. 4. Zintegrowany system energetyczny w gospodarstwie rolnym Ucherce (CR)

Wyniki badań i bilans energetyczny wskazują, że zintegrowany system energetyczny pokrywa w 100% zapotrzebowanie energii. Na wykresie (rys. 5), pokazano bilans energetyczny zintegrowanego systemu energetycznego w gospodarstwie Pouhow [Pabis 1990]. Z wykresu widać, że zintegrowany system pokrywa w pełni zapotrzebowanie na energię cieplną w miesiącach od marca do grudnia. Natomiast od maja do października uzyskuje się znaczne nadwyżki energii. W pokazanym na rys. 4 gospodarstwie rolnym Uherce zaprojektowano nieco inne rozwiązanie zintegrowanego systemu energetycznego w porównaniu do poprzednio opisanego. Zastosowano tu instalację biogazową oraz elektrownię wodną. Podobne rozwiązania zintegrowanych systemów energetycznych zrealizowano w ramach współpracy międzynarodowej FAO na Węgrzech, w Jugosławii, Włoszech, Rumunii, Grecji, Portugalii, Szwecji, Izraelu i Szkocji.

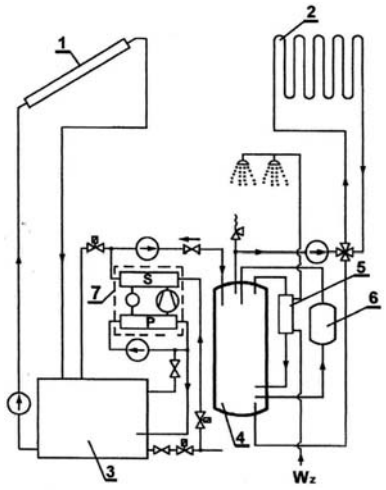


Rys. 5. Bilans energii cieplnej zintegrowanego systemu energetycznego w gospodarstwie rolnym Pouchow (CR)

Wyniki badań przeprowadzone w ww. krajach wykazały celowość rozwijania stosowania w praktyce zintegrowanych systemów energetycznych, pomimo jeszcze znacznych kosztów ich realizacji. Argumentem za stosowaniem tych systemów jest wykorzystanie lokalnych zasobów energetycznych tj. biomasa, częściowe wyeliminowanie tradycyjnych paliw kopalnianych, z którymi wiąże się ograniczenie emisji do atmosfery oraz szkodliwych produktów spalania.



Rys. 6. Zintegrowany system energetyczny w gospodarstwie ogrodniczym



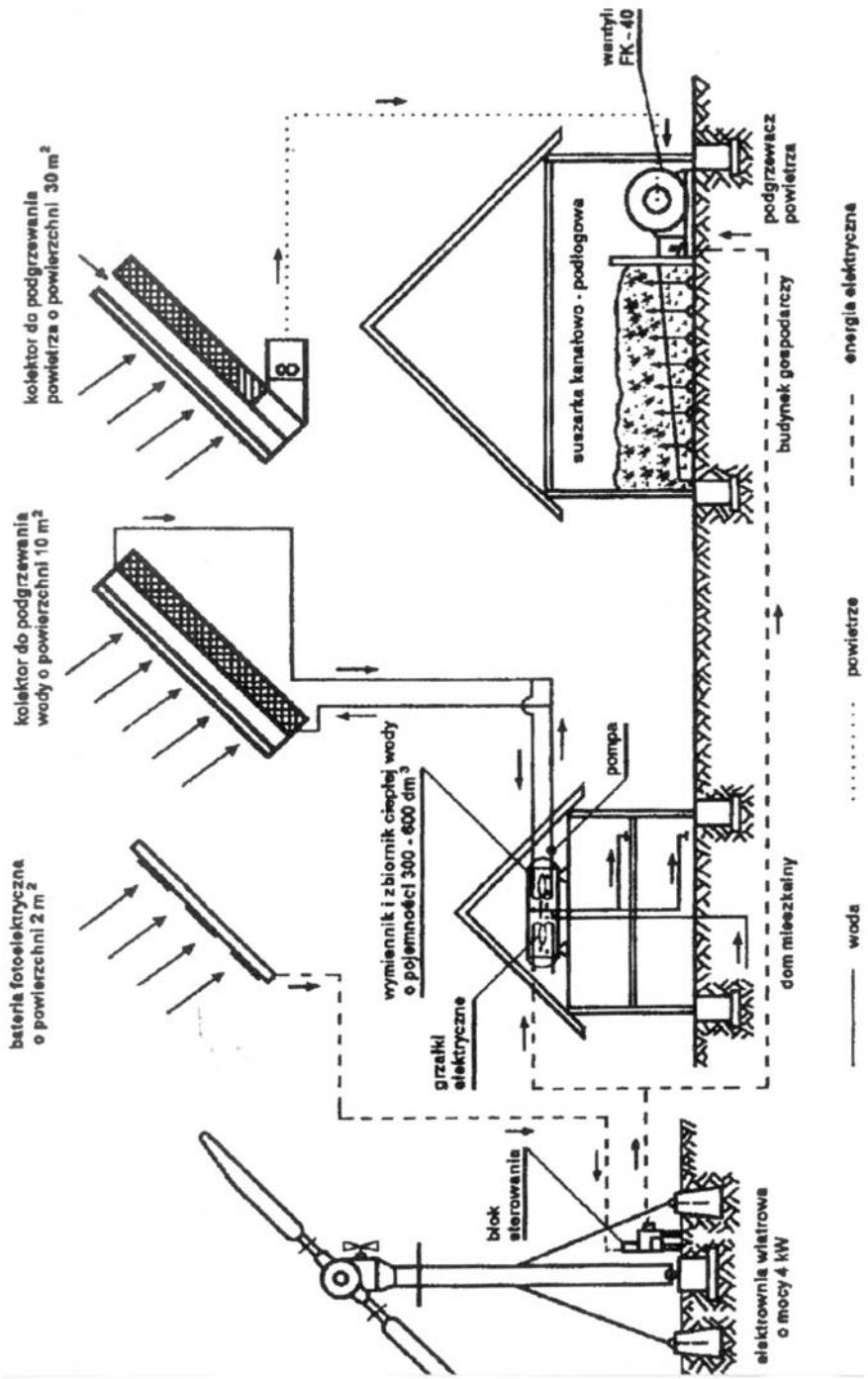
Rys. 7. Zintegrowany system energetyczny w gospodarstwie domowym:
1 – kolektor słoneczny, 2 – ogrzewanie podłogowe, 3 – akumulator ciepła,
4 – zbiornik wody, 5 – wymiennik ciepła, 6 – ogrzewanie gazowe, 7 – pompa ciepła

Nie bez znaczenia jest wzrost zatrudnienia w środowisku wiejskim w zakresie lokalnej produkcji urządzeń, montażu instalacji i nadzoru podczas eksploatacji urządzeń. Obecnie wszystkie urządzenia techniczne odnawialnych źródeł energii produkowane są w skali przemysłowej oraz małych przedsiębiorstwach terenowych. Na schemacie rys. 6 przedstawiono koncepcje modelowego zintegrowanego systemu energetycznego w gospodarstwie ogrodniczym [Pabis 1999]. W tym systemie zaproponowano: staw słoneczny i współpracującą z nim pompę ciepła w układzie woda-woda, kolektory słoneczne do podgrzewania powietrza i wody, ogniwa fotowoltaiczne, siłownię wiatrową, instalację biogazową wykorzystującą odpady z produkcji roślinnej polowej i ze szklarni oraz kocioł opalany biomasą. Podgrzana woda może być wykorzystana do nawadniania roślin i podgrzewania podłoża w produkcji szklarniowej, gospodarstwie domowym, a podgrzane powietrze do wspomagania w ogrzewaniu szklarni i tuneli foliowych, ogrzewania czynnika suszącego (powietrza) w suszarce nasion warzyw oraz w przechowalni warzyw do obsuszania warzyw korzeniowych po zbiorze. Siłownia wiatrowa stosowana jest do produkcji energii elektrycznej dla potrzeb budynku mieszkalnego i podgrzewania wody w zbiorniku akumulacyjnym. Gaz z instalacji bio-gazowej stosowany jest do ogrzewania szklarni współpracując z kotłem opalanym biomasą. Na rys. 7 pokazano współpracę kolektora słonecznego z pompą ciepła zastosowanego do przygotowania ciepłej wody użytkowej w gospodarstwie domowym oraz do ogrzewania pomieszczeń [Dreszer i in. 2003]. Całkowite zapotrzebowanie ciepła do ogrzewania gospodarstwa

domowego wynosi 12 kW, a wydajność cieplna pompy wynosi 9 kW. Dodatkowe ogrzewanie gazowe stanowi rezerwę na wypadek niskiego strumienia cieplnego uzyskiwanego z pompy ciepła. Ciepło uzyskiwane z kolektora słonecznego akumulowane jest w wodnym akumulatorze o pojemności 10 m^3 stanowiącym dolne źródło ciepła dla pompy ciepła. Opisany układ umożliwia w 65% pokrycie rocznych potrzeb ciepła gospodarstwa domowego.

Na rys. 8 pokazano zintegrowane źródła energii w gospodarstwie rolnym [Szpryngiel 2003]. Zintegrowany system energetyczny w gospodarstwie rolnym o pow. 10-15 ha umożliwia pokrycie potrzeb na energię elektryczną wykorzystywaną do celów gospodarczych w zakresie 60-70%. W zbiorniku akumulatorowym kolektora słonecznego umieszczono 3 grzałki elektryczne o mocy 3 kW, podłączone do agregatu prądotwórczego siłowni wiatrowej o mocy 4 kW. Umożliwia to dogrzanie wody w dni o małym natężeniu promieniowania słonecznego. Taki układ pozwala na pokrycie zapotrzebowań na ciepłą wodę w 80% . Kolektor słoneczny o powierzchni 30 m^2 wykorzystano do podgrzewania powietrza w suszarce podłogowej o pow. 25 m^2 do suszenia ziarna zbóż, gryki, grochu oraz obsuszania cebuli po zbiorze. W celu wykorzystania suszarki w porze nocnej, w przewodzie tłoczącym wentylatora zainstalowano 4 grzałki elektryczne każda o mocy 500 W.

W latach 1985-1990 w ramach współpracy międzynarodowej UNDP FAO w IBMER zaprojektowano w oparciu o system SIENA i zainstalowano w gospodarstwach rolnych 11 obiektów zintegrowanych systemów energetycznych, w dalszych latach zaprojektowano 1 zintegrowany system energetyczny. Obiekt ten autorstwa prof. dr inż. Andrzeja Chochowskiego z zespołem z Wydziału Inżynierii Produkcji SGGW został zlokalizowany w Budach Grabskich. Obecnie odnawialne źródła energii znajdują coraz szersze zastosowanie. Z jednej strony wynika to z konieczności częściowego ograniczania spalania paliw kopalnianych, wzrostu cen tych paliw, obniżania emisji do atmosfery szkodliwych produktów spalania, oszczędności energii cieplnej, z drugiej zaś dostępności na rynku doskonalszych technicznie urządzeń tj. kolektory do podgrzewania wody, pompy ciepła, siłownie wiatrowe, piece i kotły do spalania biomasy, wymienniki ciepła oraz urządzenia automatycznego sterowania. Biorąc powyższe pod uwagę, jak też wysoką efektywność energetyczną zintegrowanych systemów, celowym jest szersze niż dotychczas wdrażanie do praktyki tych systemów. Projektowanie zintegrowanych systemów wymaga przeprowadzenia szeregu opisanych wyżej w dużym skrócie czynności i analiz. Wykorzystywany przed laty do projektowania system SIENA jest już nieaktualny. Obecnie koniecznym jest opracowywanie nowych programów projektowania systemów i sprawdzenie ich na obiektach w warunkach rzeczywistych.



Rys. 8. Zintegrowany system energetyczny w gospodarstwie rolnym

Wnioski i stwierdzenia

1. Dotychczasowe prace badawcze jak i doświadczenia z praktyki wskazują, że obecnie w produkcji rolniczej istnieją dobre warunki do wykorzystania zintegrowanych systemów energetycznych. Uzasadniają to nie tylko rosnące w rolnictwie potrzeby energetyczne, konieczność zmniejszenia spalania paliw kopalnianych, ale również szeroki asortyment, dostępność i znacznie lepsza jakość techniczna urządzeń niż przed laty związanych z odnawialnymi źródłami energetycznymi.
2. Zintegrowane systemy energetyczne w porównaniu do odnawialnych źródeł energetycznych lokalizowanych w sposób rozproszony, charakteryzują się znacznie większą efektywnością energetyczną, dłuższym okresem pozyskiwania energii cieplnej i elektrycznej w ciągu roku oraz akumulacją nadwyżek ciepła.
3. Dotychczasowa praktyka wykorzystania odnawialnych źródeł energetycznych w produkcji rolniczej, szczególnie w systemie zintegrowanym wykazała, że najszersze wykorzystanie może znaleźć w produkcji ogrodniczej pod osłonami, suszarnictwie produktów rolniczych, produkcji zwierzęcej oraz w gospodarstwach domowych. Możliwym jest również nie tylko produkcja energii cieplnej i elektrycznej, ale również odzysk ciepła w niektórych technologiach produkcji rolniczej.
4. Podejmowanie prac projektowych zintegrowanych systemów energetycznych zapewniających dobre efekty energetyczne, eksploatacyjne i ekonomiczne wymaga opracowania nowych dobrych programów projektowania.

Bibliografia

Dreszer K. i in. 2003. Energia odnawialna- możliwości jej pozyskiwania i wykorzystania w rolnictwie. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej. Kraków – Lublin – Warszawa.

Jelonkowa H. 1987. Integrated energy system for Pauhow and Uherce farms. 4th Technical consul-tation on the development of integrated farm energy systems. [UNDP FAO/80/001] Warszawa. Kłudzienko.

Pabis J. i in. 1990. Zintegrowane systemy energetyczne w produkcji ogrodniczej IBMER,SGGW, Warszawa.

Pabis J. 1991. Kolektory słoneczne do podgrzewania powietrza. Wieś Jutra. Nr 1 Warszawa.

Pabis J. 2002. Możliwości wykorzystania energii słońca w rolnictwie – współdziałanie kolektorów słonecznych z innymi źródłami energii, Czysta Energia, nr 10 ABRYS, Poznań. Riva G,. Mazzetto F., 1985. Construction aspects for solar plants for forage drying installed in northen Italy. FA1. CNE Bulletin nr 7.

Rogulska M. 1991. Zintegrowany system energetyczny – możliwości zastosowania w ogrodnictwie. Materiały konferencyjne pt. „Wykorzystania niekonwencjonalnych źródeł energii w produkcji ogrodniczej. SGGW. Warszawa.

Rogulska M. 1996. Metoda oceny zintegrowanych systemów energetycznych obiektów rolniczych. Rozprawa doktorska. IBMER. Warszawa.

Szpryngiel M. 2003. Zintegrowane źródła energii odnawialnej w gospodarstwie rolnym. Czysta Energia. Nr 10 ABRYS. Poznań.

Tyminski J., Pabis J., Rogulska M. 1988. Integrated energy system two Polish farm. IBMER. Warszawa.

TROSKA O UNIWERSALNE SPOJRZENIE. PROBLEMY FILOZOFICZNO-TEOLOGICZNE W OGÓLNOPOLSKICH KONFERENCJACH NAUKOWYCH PROF. RUDOLFA MICHAŁKA

ks. Kazimierz Panuś

Uniwersytet Papieski Jana Pawła II w Krakowie
e-mail: panus@pro.onet.pl

Uniwersytet – najstarszy i wciąż podstawowy typ europejskiej wyższej uczelni o wielu wydziałach, prowadzącej prace badawcze, kształcącej studentów i mający prawo nadawania stopni wyższych – ukształtował się XII i XIII wieku. Wbrew temu, co lansowało już Oświecenie i utrwalały nurty marksistowskie, nie były to „wieki ciemne". Czasy, w których zrodziła się koncepcja uniwersytetu to szczytowy okres średniowiecznego chrześcijaństwa, jego apogeum, «południe» – jak powie słynny mediewista Leopold Génicot[1]. Na Zachodzie Europy była to epoka światła, która zrodziła klasztory i gotyckie katedry. W tych ogromnych kościołach człowiek miał znaleźć w formie wizualnej swoje przeznaczenie, skrót swojej wiedzy o Bogu i o świecie, przykłady świętych bohaterów i ostrzeżenie przed duchowymi niebezpieczeństwami. Nieopodal tych świątyń lokowały się wszechnice, zgłębiające tajniki ludzkiego poznania Boga i człowieka w różnych dziedzinach. Ten wspaniały szlak zgłębiania wiedzy otworzył w 1088 roku pierwszy uniwersytet w Bolonii, po nim w XII wieku powstało Studium Generale w Paryżu, a w następnych stuleciach erygowane były kolejne uczelnie w Oxfordzie, Cambridge, Padwie, by w XIV wieku wkroczyć także do Europy Środkowej. W 1348 roku powstał uniwersytet w Pradze, a w 1364 pierwsza tego typu uczelnia w Polsce, założona przez króla Kazimierza Wielkiego w ówczesnej stolicy Królestwa – w Krakowie. To właśnie do tradycji tego uniwersytetu, odnowionego wkrótce przez królów Jadwigę Andegaweńską i Władysława Jagiełłę, i stąd też nazwanego Jagiellońskim, nawiązuje Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, którego chlubą i wielkim autorytetem pozostaje prof. dr hab. Rudolf Michałek, doktor honoris causa 6 polskich uczelni.

[1] L. Génicot, *Powstaje nowy świat*, Warszawa 1964, s. 184.

Universitas to wielowymiarowe spojrzenie

Piszący te słowa nie uważa się za kompetentnego do oceny jego wielkiej i wielowymiarowej działalności profesorskiej. Chce tylko zwrócić uwagę na jeden jej wymiar, na organizowane od wielu lat ogólnopolskie konferencje naukowe nt. *Postęp naukowo-techniczny i organizacyjny w rolnictwie*. W 2011 roku była to już XVIII tego typu edycja, zorganizowana w Zakopanem przez Komitet Techniki Rolniczej PAN oraz Instytut Inżynierii Rolniczej i Informatyki Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie. Zgromadziła ona ponad 180 naukowców z całego kraju.

Na szczególną uwagę zasługuje koncepcja tych konferencji, wypracowana od wielu lat przez prof. Rudolfa Michałka. Nawiązuje ona do najpiękniejszych tradycji uniwersytetu. Profesor doskonale wie, iż *universitas* – zgodnie z łacińskim źródłosłowem tego terminu – znaczy *powszechność, całokształt, ogół*. Dlatego też uczestników tych naukowych spotkań uwrażliwia nie tylko na zagadnienia związane bezpośrednio z postępem naukowo-technicznym i organizacyjnym w rolnictwie, ale uczy spojrzenia całościowego, włączając w program konferencji wykłady i dyskusje na tematy filozoficzno-teologiczne oraz zagadnienia moralne żywo nurtujące współczesny świat. W te kwestie wprowadzali zebranych różni zaproszeni prelegenci. Był wśród nich m.in. bp prof. Tadeusz Pieronek. Piszący te słowa poczytuje sobie za szczególny zaszczyt, iż od 2004 roku był stałym uczestnikiem tych konferencji. W dalszej części tego artykułu ukazana zostanie tematyka, prezentowana przeze mnie podczas 8 zakopiańskich spotkań, jakie odbyły się w latach 2004-2011. Poruszane zagadnienia dotyczyły najogólniej mówiąc trzech obszarów: zasad przemawiania, sensu życia i śmierci oraz znaczenia dobra i wolności dla ludzkiego bytowania.

Zasady publicznego przemawiania

Nie od dziś wiadomo, że słowo odgrywa ogromną rolę w życiu naukowca. Refleksja nad nim toczy się od początków filozofii greckiej. Na jego temat medytował już w V w. przed Chr. Gorgiasz z Leontinoj, dochodząc do wniosku, iż jest ono „wielkim mocarzem, który chociaż bardzo niepokaźne i niepozorne posiada ciało, dokonuje rzeczy najbardziej boskich: może bowiem uwolnić od strachu, odjąć smutek, wywołać radość i spotęgować litość”[2]. Słowem wyrażamy uczucia i wzruszenia od czułej, subtelnej miłości do zimnej i gwałtownej nienawiści. Nim kreuje się nastrój, tworzy wielorakie asocjacje, zachęca i zniechęca, wprawia w zakłopotanie, hipnotyzuje, leczy. Ta niezachwiana wiara Gorgiasza i wielu

[2] L. Versényi, *Socratic Humanism,* London 1963, s. 94, nazywa cytowaną wyżej mowę „Pochwała Heleny”: *an essay on the nature and power of logos*. Zob. A. Michel, *La rhétorique, sa vocation et ses problčmes: sources antiques et médiévales,* [w:] *Histoire de la rhétorique dans l'Europe moderne 1450-1950,* Paris 1999, s. 18-20.

innych w potęgę słowa zrodziła w starożytnej Grecji retorykę – sztukę pięknego przemawiania i przekonywania.

Słowo jest wielką tajemnicą. Chrześcijaństwo – religia „Słowo, które stało się ciałem" (J 1,14) widzi w nim dar boży[3]. Magiczna siła słowa tkwi w jego zdolności wywoływania obrazów. Jest ono niewidzialnym znakiem rzeczy spostrzeganych zmysłami. Na jego zaklęcie pojawiają się osoby, przedmioty dalekie lub nieistniejące, a bliskim i obecnym daje ono prawdziwą rzeczywistość. „Ani kamień, drzewo, metal, którymi posługuje się architektura i rzeźba, ani farby, którymi rozporządza malarstwo, ani dźwięki wydobyte z instrumentów, które są materiałem twórczym muzyki, nie mogą się porównać z tajemniczym dostojeństwem słowa"[4].

Naukowcy są „ludźmi słowa". Słowo porządkuje i organizuje ich myślenie. Uczestnicząc w naradach, konferencjach, negocjacjach, dzieląc się swoimi doświadczeniami próbują kogoś do czegoś przekonać, skłonić, zachęcić. Stąd też należy dobrze poznać determinanty publicznego przemawiania. Poniżej zostanie zaprezentowanych pięć z tych wyznaczników, o których była mowa podczas zakopiańskich konferencji.

a. Mówić przekonująco. Starożytna retoryka, wyrastając z konkretnych potrzeb życia społecznego, uznawała przekonanie słuchaczy za zasadniczy cel mowy, domagając się od mówcy przede wszystkim umiejętności przekonywania. Stąd też „sztuka [umiejętność] artystycznego posługiwania się słowem" (*ars bene dicendi*), za jaką pragnął ją uważać Kwintylian, zapisała się w historii przede wszystkim jako „sztuka przekonywania" (*ars persuadendi*).

Wszyscy codziennie usiłujemy kogoś do czegoś przekonać. Przekonujemy się nawzajem do towarów, idei, pomysłów, czynności itp. Sztuka przekonywania potrzebna jest wszystkim: profesorom, politykom i działaczom społecznym, dyrektorowi wielkiej firmy, sprzedawcy detalicznemu i akwizytorowi, lekarzom i nauczycielom. Nade wszystko potrzebna jest terapeutom, którzy przekonując, dodatkowo motywują swoich pacjentów do terapii, czynią tę motywację dojrzalszą, co ułatwia uzyskiwanie lepszych rezultatów. „Dobre słowa są plastrem miodu, słodyczą dla gardła, lekiem dla ciała"[5].

W przekonywaniu dużą rolę odgrywa tzw. mowa ciała. Podczas głoszenia mówca musi zwracać uwagę na ekspresję zewnętrzną, jak mimika, gestykulacja, kontakt wzrokowy, ruchy ciała. Ważny jest wygląd zewnętrzny przemawiającego, jak się ubiera i zachowuje, gdyż słuchacze oceniają go również według wyglądu zewnętrznego, przy czym ważną rolę odgrywa tu pierwsze wrażenie. Trzeba jednak pamiętać, by całe zachowanie mówcy, jako ekspresja zewnętrzna, harmonizowało z głoszonym słowem. Sympatia rodzi się w 55% dzięki mimice, na co wskazują wyniki ankiet na temat sympatii pochodzącej z pierwszego wrażenia.

[3] T. Kampmann, *Das Wesen der christlichen Predigt*, [w:] *Liturgie, Gestalt und Vollzug*, W. Dürig (red.), München 1963, s. 154-170.

[4] J. Parandowski, *Alchemia słowa*, Warszawa 1986, s. 126.

[5] U. i T. Zgółkowie, *Językowy savoir-vivre*, Poznań 1992, s. 24.

Dlatego ważne jest m.in., by twarz mówcy była pogodna. Szczególnie trudną sztuką jest upominanie. Wykazał się nią znakomicie biblijny prorok Natan, skłaniając króla Dawida do przyznania się do zaciągniętej winy i podjęcia pokuty.

b. **Zwięźle**. Życiem człowieka steruje rygor czasu. Od wieków przypominały o tym umieszczane na wieżach ratuszowych i kościelnych wskazówki zegarów oraz rytmicznie wybijane godziny. Mówca nie może tego faktu ignorować. Winien mówić krótko. Słuchacz szybko zaczyna się nudzić. J. Kłoczowski OP żartował, że nie przejmuje się jeszcze, kiedy podczas homilii ktoś spogląda na zegarek. Tak naprawdę zaczyna się martwić dopiero wtedy, gdy ten ktoś ze zdziwieniem potrząsa zegarkiem i przykłada go do ucha[6].

Zwięzłość ta – jak zauważa Kwintylian – „polega na tym, abyśmy nie powiedzieli więcej, niż powinniśmy"[7]. Ta *brevitas* ograniczona jest z dwóch stron. „W opowiedzeniu należy trzymać się drogi pośredniej, mówiąc tyle, ile jest niezbędne, ale i tyle, by wystarczyło"[8]. Przekroczenie którejkolwiek z tych barier prowadzi do *vitium*, które może zaznaczyć się jako *adiectio* – zbyt wiele i *detractio* – zbyt mało.

Podkreślając potrzebę zwięzłości klasyczna retoryka nie zawężała problemu tylko do tego, by mowa była krótka. W platońskim *Faidrosie* Sokrates przypomina mądrą uwagę Prodikosa[9], że najlepsze przemówienie nie jest ani krótkie, ani długie, lecz w sam raz[10]. Przemawiający winien to czynić tak, żeby słuchacz chciał przyjść posłuchać jeszcze raz. Badania wykazują, że największa koncentracja uwagi u współczesnego słuchacza przypada na pierwsze 3 do 6 minut. Lepiej jest bowiem, by u słuchacza pozostało coś z westchnienia: *szkoda, że skończył!*, niż z ulgi: *wreszcie skończył!*

c. Przejrzyście. Rzetelna praca nad budową przemówienia jest niezwykle istotna. J. Parandowski słusznie zauważa braki w tej dziedzinie. „Schludny podział na wstęp, osnowę i zakończenie może zawsze oddać usługę mówcy i gdyby był nadal przestrzegany, zapobiegłby chaotycznym przemówieniom i czczemu marnotrawstwu słów"[11]. Przemówienie, jak każde dzieło stanowiące pewną całość, posiada określony wewnętrzny układ, dokonuje się według ustalonego

---

[6] «*Przekonać Pana Boga*». *Z ks. Józefem Tischnerem rozmawiają Dorota Zańko i Jarosław Gowin*, Kraków 2000, s. 108.

[7] Kwintylian, IV, 2, 43: *brevitatem in hoc ponimus... ne plus dicatur quam oporteat*.

[8] Tenże, IV, 2,45: *in narratione... media haec tenenda... via dicendi quantum opus est et quantum satis est*.

[9] Prodikos z Keos, sofista i mówca, uczeń Protagorasa, przybył do Aten jako poseł rodzinnego miasta. Przedmiotem badań Prodikosa były szczególnie pokrewieństwa znaczeniowe słów, z czego Sokrates często żartował.

[10] Platon, *Faidros*, 267b, tłum. L. Regner, Warszawa 1993, s. 61: „Gdy Prodikos raz usłyszał o tym ode mnie, roześmiał się i powiedział, że on sam wynalazł, jaka powinna być miara mów. Nie potrzeba zaś ani długich, ani krótkich, lecz w sam raz".

[11] J. Parandowski, *Alchemia słowa.*

planu. Każda praca ma swój początek, wykonanie i zakończenie: podobnie jest z wystąpieniem profesorskim. Trzeba je rozpocząć, rzecz czy sprawę wyłożyć i zakończyć.

Przemówienie powinno być tak zbudowane, aby momenty napięć i odprężenia pojawiały się na przemian. „Mówca będzie swym słuchaczom towarzyszył od tego, co im znane do nieznanego, od dalekiego do bliskiego, od mało ważnego do ważnego". Przemówienie powinno być: logiczne i psychologicznie poprawne, przejrzyste, zbudowane z uwzględnieniem stopniowania. Dwa są źródła niepowodzenia w budowaniu przemówień: nadmiar metody i brak wszelkiej metody. Drugiej skrajności wybaczyć nie można, bo zabieranie drugim czasu bez przygotowania metodycznego jest zniewagą Boga i ludzi.

d. Mówić należy z miłością, radością i poczuciem humoru. Każde przemówienie rodzi się dwa razy: na biurku i przy pulpicie. Tak jest w istocie, gdyż słowo mówione konkretyzuje się w dialogu ze słuchaczami. Podczas jego wygłaszania zachodzi zjawisko międzyosobowej komunikacji i następuje twórcze spotkanie głosiciela z odbiorcami żywego słowa. To słowo mówione winno być radosne, pogodne, krzepiące słuchaczy, dające nadzieję. Nawet jeżeli trzeba poruszyć sprawy przykre, upomnieć, przez te słowa ma przebijać troska o dobro człowieka. Ciągłe karcenie, niezadowolenie, ton pesymizmu nie zachęca, przygnębia. Każdy wychowawca wie, że więcej przynosi życzliwa zachęta niż ciągłe ruganie.

Kwintylian sformułował zasadę powtarzaną po dziś dzień: *Pectus est enim qui disertos fecit* (serce czyni wymownym), poświęcając wiele miejsca w swojej retoryce omówieniu zagadnienia wzbudzania uczuć w mowie. Nie omieszkał przy tym umieścić przestrogi dotyczącej zachowania umiaru i nie przywiązywania zbyt wielkiego znaczenia do uczuciowego poruszenia słuchaczy.

Jeżeli przemówienie ma być procesem międzyludzkiej komunikacji to musi zwracać się do osób, a nie do mózgów. W przeciwnym wypadku proces komunikacji stanie się technicznym procesem, tracąc swój ludzki wymiar.

Nasi słuchacze mają prawo do uśmiechu mówcy, życzliwego spojrzenia, pochwały, dobrego słowa. „Człowiek odbiera świat w 90% wzrokowo, a myśli, zastanawia się i wspomina w 100% poprzez obrazy". Biorąc pod uwagę potęgę słowa, jego kreatywną moc budowania obrazów, możemy uświadomić sobie swoje ograniczenia używania słów jako tworzywa do odkrywania zamkniętych przestrzeni i odblokowywania cudzych i swoich serc. Słowa życzliwe, ciepłe, przyjazne, bezinteresowne, zatroskane, odpowiedzialne, ubrane we właściwą formę, mają wielką siłę sprawczą. Mogą poprzedzać i inicjować działania, do których człowiek jeszcze nie dojrzał. Życzliwość wyrażona słowem implikuje życzliwość czynu po to, by nie było dysonansu między tymi dwoma płaszczyznami funkcjonowania, po to, by nie było dyskomfortu z powodu ewentualnej rozbieżności słów z czynami.

Dar poczucia humoru wiąże się z osobowością mówcy i świadczy o jego twórczym myśleniu. Poczucie humoru działa rozbrajająco na słuchaczy, wyzwala

u nich pozytywne przeżycia i pobudza do słuchania. Humor przyjmuje konkretną formę językową i musi znaleźć określone miejsce w strukturze przemówienia. Humor to określona cecha, organicznie związana z naturą mówcy. Poczucie humoru świadczy o poczuciu wolności u danej osoby. Dzięki humorowi łatwiej przekazuje się innym nawet sprawy poważne i łatwiej mogą oni je przyjąć, niż gdyby to uczynić w formie suchego przekonywania.

e. Zrozumiałym i pięknym językiem. Każdy mówca, chcący dotrzeć do słuchacza, powinien przewietrzyć lamus zwiędłych, wyschniętych, wysłużonych, zużytych, wyświechtanych, pachnących próchnem, banalnych zwrotów, metafor, porównań, określeń. Krążą one bowiem wokół każdego zdania, czekają na chwilę nieuwagi lub znużenia, aby się „położyć" na język. Kto chce tworzyć nowe, żywe i wielozmysłowe asocjacje u słuchaczy, powinien tworzyć nowe metafory, używając nowych przenośni, swój język nasycić nowymi wyrazami, rozszerzyć jego granice, odstąpić od szablonów, schematów i stereotypów, od garbatych i suchotniczych zwrotów.

Jednocześnie obserwuje się pewne paradoksy. Tak np. język religijny lubi archaizmy. Na pytanie która jest godzina? Nikt z nas nie odpowie: „Zaprawdę powiadam Panu jest godzina 17.00". Wywołało by to śmiech. W kościele nikt się jednak nie śmieje, gdy słyszy zdania archaizujące z użyciem słów „albowiem", „zaprawdę". Teksty modlitw we wszystkich językach są formami archaicznymi.

Mówca kształtuje emocjonalność swego wystąpienia poprzez sięganie do odpowiednich słów. Wyrazy emocjonalne, to takie wyrazy, które obok obiektywnej treści znaczeniowej zawierają treść subiektywną, są świadectwem subiektywnej, uczuciowej postawy mówiącego w stosunku do przedmiotu, o którym mówi. Zabarwienie uczuciowe może być związane z wyrazem na stałe (babsko, klecha…) względnie uzależnione od sposobu użycia (baran, osioł, gęś...). Negatywny stosunek wyrażają wyrazy: wulgarne jak „cholerny", rubaszne jak „gęba", obelżywe jak „bydlak", pogardliwe jak „belfer", lekceważące jak „chabeta". Pozytywny stosunek do sprawy ujawniają wyrazy: podniosłe jak „świetlany", pieszczotliwe jak „buzia"; i tak to zależnie od naszego nastawienia względnie celu wypowiedzi twarz człowieka możemy nazwać: „mordą", „pyskiem", „gębą", „obliczem", „fizjonomią", „twarzyczką", „buzią"...

Warto o tym pamiętać, gdyż nieraz jedno słowo może wprowadzić dysonans w całe wystąpienie i zakłócić jego odbiór. Sprawdza się tu stare powiedzenie, że „jeden włos na głowie to bardzo mało – ale jeden włos w zupie to bardzo dużo".

Podsumowując należy dbać o podstawowe elementy dobrego przemawiania. Są nimi: mówienie z przekonaniem, zwięźle, z miłością, radością i poczuciem humoru oraz zrozumiałym i pięknym językiem.

Nadać sens swemu życiu i podjąć refleksję nad śmiercią

Tragiczna śmierć niespełna czterdziestoletniego dr inż. Adama Mastyja w lutym 2007 roku, która nastąpiła wkrótce po zakopiańskiej konferencji, skłoniła uczestników do refleksji nad podstawowymi zagadnieniami ludzkiej egzystencji takimi jak: sens życia i śmierć.

Nie jest bowiem żadną tajemnicą, że nawet najdłuższe i najbardziej udane życie któregoś dnia się skończy. Jaki ma ono sens? Jest to pytanie z najgłębszych pokładów ludzkiej duszy. Trzeba nad nim podejmować refleksję, tym bardziej, że mnóstwo ludzi cierpi na brak sensu i pustkę życia. Pytanie o sens życia wymaga kroku „w ciemno", zawierzenia i odwagi, które nie mają sobie równych w pozostałych dziedzinach życia. Kiedy otwiera się nowy słoik kawy, nabiera się szczodre, czubate łyżeczki, bo za każdym razem widzi się, że zużywa się tylko małą część z całości. Ale gdy człowiek zbliża się do dna, zdaje sobie sprawę, że nie zostało już dużo z zawartości słoika i naturalnym odruchem jest oszczędne odmierzanie porcji. W końcu wygarnia się ostatnie ziarenko. W podobny sposób traktuje się życie. Młodym wydaje się, że będą żyli zawsze. Starzejąc się, przestają tak niedbale traktować czas, gdyż zaczynają rozumieć, że nie będzie on trwał wiecznie. Pojawiają się pytania: „Czego dokonam? Co zostanie po mnie?" Jest to dowód dojrzałości.

Przeciętny człowiek na pytanie, czego oczekuje od życia, odpowiada: „Chcę być szczęśliwym". Z trudem do tego szczęścia dąży. Kupuje książki, chodzi na kursy, zmienia styl życia w nieustannym wysiłku, żeby odnaleźć wymykające się ciągle szczęście. Dlaczego ono się wymyka zarówno tym, którzy realizują swoje pragnienia, jak i tym, którzy tego nie osiągają? Czemu ludzie, którzy mają wiele powodów do szczęścia, odczuwają dotkliwie, że czegoś w ich życiu brakuje? Czy oczekuje się zbyt dużo mówiąc: „Jedyne, czego pragnę, to szczęście?" Czy szczęście jest czymś w rodzaju wiecznej młodości albo *perpetuum mobile* – celem nieosiągalnym i to niezależnie, ile w włoży się w jego zdobycie wysiłku? A może ludzie mogą być szczęśliwi, ale zabierają się do szukania szczęścia w niewłaściwy sposób?

Powstanie nagrody Nobla związane jest z pewnym wydarzeniem z życia Alfreda Nobla. Ten szwedzki chemik zdobył majątek na wynalezieniu materiałów wybuchowych i sprzedawaniu licencji na produkcję broni. Pewnego dnia zmarł jego brat, ale jedna z gazet przez pomyłkę wydrukowała nekrolog Alfreda. W nekrologu tym opisano go jako człowieka, który wynalazł dynamit i zbił fortunę umożliwiając różnym armiom świata na bardziej masowe zabijanie ludzi. Nobel miał wyjątkową sposobność przeczytania własnego nekrologu za życia i stwierdzenia, jaka pamięć po nim pozostanie. Wstrząsnęła nim świadomość, że będzie pamiętany jako handlarz śmiercią i zniszczeniem. Ufundował więc z całego swojego majątku nagrody za osiągnięcia, które przysporzyły ludzkości najwięcej korzyści w literaturze i w różnych dziedzinach nauki[12].

[12] H. S. Kushner, *Gdy wszystko to jeszcze nie dość*, Warszawa 1995, s. 53.

Reflektując nad szczęściem warto postawić sobie pytanie: Czy zapewnia je życie bez żadnych ograniczeń, z możliwością robienia wszystkiego, dotarcia wszędzie, rozkazywania wszystkim? To właśnie pytanie analizuje Johann Wolfgang Goethe w *Fauście* – opowieści o człowieku, który sprzedał swoją duszę diabłu. Bohater dramatu Goethego, dr Faust, jest badaczem i naukowcem w średnim wieku, który traci już nadzieję, że kiedykolwiek zrozumie prawdziwy sens życia. Boi się, że dotrze do kresu swoich dni jako człowiek szanowany i dobrze wykształcony, ale nigdy nie dowie się, co to znaczy naprawdę żyć. Dlatego też z rozpaczy zawiera pakt z diabłem i obiecuje mu swoją duszę w zamian za jedną chwilę na ziemi tak wspaniałą, że wyrwie mu się okrzyk: „Verweile doch! Du bist so schön!"[13]. Niemiecki poeta pisał to arcydzieło przez całe życie. Planował je jako zasadniczą rozprawę o sensie życia, jako nieśmiertelne arcydzieło literackie, które nada sens jego własnemu życiu. Zaczął je pisać w wieku lat dwudziestu, przerwał i pisał inne rzeczy, powrócił do *Fausta* mając lat czterdzieści (częściowo, jak można podejrzewać, w reakcji na własne przeżycia człowieka w wieku średnim) i ukończył poemat na krótko przed śmiercią w wieku osiemdziesięciu trzech lat.

Na początku poematu Faust, przedstawiony przez młodego Goethego, jest w średnim wieku i pragnie doświadczyć wszystkiego, żyć bez ograniczeń. Chce przeczytać wszystkie książki, mówić wszystkimi językami, zakosztować wszelkich przyjemności. Chce być jak Bóg i wyjść poza ograniczenia kondycji ludzkiej. Diabeł daje mu więc wszystko – bogactwo, władzę, możność podróżowania wszędzie i miłość każdej kobiety, której zapragnie. Faust przyjmuje to i nadal nie jest szczęśliwy. Obojętnie, ile by zebrał bogactwa, ile by uwiódł pięknych kobiet, nadal odczuwa niezaspokojony głód. Ale przy końcu poematu autor, Goethe, ma powyżej osiemdziesiątki i jego bohater, Faust, zestarzał się wraz z nim. Zamiast wygrywać bójki i uwodzić młode kobiety, Faust pracuje teraz nad budową tamy, żeby wydrzeć ziemię morzu i dać ją ludziom do życia i uprawy. Zamiast prób bycia jak Bóg – Bóg władzy, który wszystko widzi i nad wszystkim panuje, staje się teraz jak Bóg – Bóg stwórca, który oddziela wodę od lądu, sadzi ogrody i osiedla w nich ludzi[14]. Teraz dopiero, po raz pierwszy w życiu, Faust może powiedzieć: „Wstrzymaj się chwilo! Ty jesteś tak piękną!".

Podobne doświadczenie na temat sensu życia podziela biblijny Kohelet. Zatracił się on w winie, kobietach i rozrywkach, aż zdał sobie sprawę, jak puste i marne jest takie życie. Dochodzi wówczas do wniosku, że zabawę można mieć na deser, ale nie jako główne danie życia. Może być przyjemnym odpoczynkiem po pracy, jaką wykonujemy codziennie, ale gdyby stała się tym, co mamy robić codziennie, uznalibyśmy ją za zbyt błahy fragment życia.

Pogoń za bogactwem i władzą oraz sprawowanie tejże władzy separuje często od innych ludzi. Sprawia, że ludzi traktuje się jako pole walki, nie zaś współpra-

[13] J. W. Goethe, *Faust*, cz. 1, Pracownia, w tłumaczeniu J. Paszkowskiego zdanie to brzmi: „Wstrzymaj się chwilo! Ty jesteś tak piękną".

[14] H. S. Kushner, dz. cyt., s. 78-79.

cy, ponadto sprawowanie władzy utrudnia stosunki z innymi. Możność władania innymi ludźmi (podwładnymi, małżonkami, dziećmi) może dać zadowolenie na chwilę, ale z pewnością nie na dłuższą metę. W ostatecznym rachunku pozostawia samotność. Warto więc być człowiekiem wrażliwym, miłującym, życzyć drugiemu dobrze. Dzielić nasze życie z innymi, zmieniając ich samych i otaczający ich świat, a nie próbować zagarniać ich życie dla samych siebie.

Warto także znaleźć czas na docenienie drobnych spraw, z których składa się nasze życie. Bóg ma dla nas bowiem najróżniejsze, cudowne prezenty – dobre jedzenie i piękne zachody słońca, zakwitające wiosną kwiaty i liście zmieniające kolor jesienią i ciche chwile bliskości. W przyjemnościach każdego dnia: w jedzeniu, pracy, miłości i przyjaźni trzeba rozpoznawać zetknięcie z boskością. Tymczasem zagonionego człowieka, będącego w ciągłym ruchu, Bóg nie zastaje w domu, aby mu te cudowne dary doręczyć.

Najszczęśliwszymi ludźmi są ci, którzy po prostu starają się być dobrzy, uczynni i godni zaufania, a szczęście samo się wkrada w ich życie, kiedy są zajęci czymś innym. Człowiek nie znajduje szczęścia goniąc za szczęściem. Szczęście jest zawsze produktem ubocznym, a nie celem głównym. Jest jak motyl – im zacieklej go gonimy, tym dalej odlatuje i ukrywa się. Ale jeśli przestajemy go gonić, jeśli odkładamy siatkę i zajmujemy się czymś innym, podlatuje chyłkiem z tyłu i siada nam na ramieniu[15].

Jeszcze trudniejszym tematem niż refleksja nad sensem życia jest temat śmierci. Współcześnie często jest on tematem tabu. Rzecz charakterystyczna, iż o najważniejszych sprawach życia mówimy bardzo mało. Udajemy, że ich nie ma. A przecież zepchnięte na margines nie przestają istnieć. Tak jest z problemem naszej śmierci. „Ludzie, nie mogąc znaleźć lekarstwa na śmierć [...] postanowili – aby osiągnąć szczęście – nie myśleć o tym" (Pascal). Mury naszych miast, stronice czasopism, ekrany naszych kin prześcigają się w pokazywaniu młodości, piękna, miłości, bogactwa... Nikt nie chce widzieć przeciwnej strony. „Możemy umrzeć nie zatrzymawszy się nigdy, chociażby na sekundę, nad myślą o tej chwili ostatniej" (noblista, François Mauriac). Śmierć stała się tematem tabu. Przyjęto raz na zawsze, że o tym się nie mówi. W naszych postawach, naszych lekturach, w naszych rozważaniach czynimy wszystko, aby tematu tego nie poruszać. Jedyne tabu, które do niedawna mogło być z nim porównywane, to tabu seksu. Lecz to opóźnienie zostało szybko nadrobione i skromnie mówiąc informacja w tej dziedzinie jest więcej niż wyczerpująca. Natomiast o ile wychowanie seksualne przyjęło się bez oporu w szkole, gdyż jest to temat pociągający i zaspokaja ciekawość, rzecz ma się inaczej ze śmiercią. Jest to tabu o wiele głębsze, o wiele bardziej zakorzenione i opinia publiczna chętnie na to przystaje. Wcale nie pragnie uwolnić się od niego. Zresztą jest to tabu o innej treści i to wystarcza do zrozumienia sprzeciwu: tabu seksualne ma charakter tłumiący, zwalczanie go wyzwala

[15] Tamże, s. 18.

instynkty. Tabu śmierci ma charakter defensywny, podtrzymywanie go jest samoobroną[16].

W wielu regionach Polski datę narodzin oznacza się gwiazdką, a datę śmierci krzyżykiem. Pomiędzy nimi mieszczą się lata doczesnego życia człowieka. Czasem kilka dni lub miesięcy, czasem 20, 40, 60, 80, a nawet przysłowiowe 100 lat. „Miarą naszego życia jest lat 70, 80, gdy jesteśmy mocni" (Ps 90,10). Zawsze to zbyt mało dla człowieka, który ze wszystkich sił woła: „Chcę żyć!"

„Jedni później, inni wcześniej, wszyscy razem podążamy do tego samego celu; wszyscy zmierzamy tam, do naszego wiecznego mieszkania". Tak ze smutkiem pisał łaciński poeta Owidiusz (43 przed Chr. – 17 lub 18 po Chr.) do ukochanej Liwii ze swojego wygnania w Tomi nad Morzem Czarnym (*Consolatio ad Liviam,* 359). We wszystkich wiekach i kulturach na całej ziemi ze smutkiem patrzono na zmierzch życia.

Także Biblia jest tego świadoma i wielokrotnie pokazuje nam lęk przed śmiercią, lęk, jakiego doświadczał sam Chrystus, gdy modlił się do Ojca: „Jeśli nie może ominąć Mnie «ten kielich» i muszę go wypić..." (Mt 26, 42).

Śmierć jest przeciwna naturze, jest przeciwna porządkowi. Stąd jej odrzucenie. Odrzucenie! Oto jest właściwe słowo, to, które najlepiej określa postawę ludzi współczesnych wobec problemów, jakie przed nimi stawia śmierć. *Vulnerant omnes, ultima necat* – czytało się niegdyś na tarczach zegarów na chrześcijańskim Zachodzie – wszystkie godziny ranią, ostatnia zabija. Przypominanie prawdy tak oczywistej uchodziłoby w naszych czasach za niezdrowy masochizm. Społeczeństwo konsumpcyjne, w którym żyjemy, jest społeczeństwem hedonistycznym. Rządzi nim jedynie zasada przyjemności i wygody, tak fizycznej, jak umysłowej[17]. Czy w tych warunkach należy się dziwić, że unikanie wszystkiego, co nieprzyjemne, naturalną koleją rzeczy prowadzi do zaprzeczenia rzeczywistości tak przykrej jak śmierć? Biblia uczy: „Naucz nas liczyć dni nasze, abyśmy osiągnęli mądrość serca" (Ps 90,12).

Śmierć, choć staramy się ją usuwać, nieprzerwanie pojawia się na scenie życia. Czasem przychodzi z wojną, innym razem z katastrofą naturalną, czy wypadkiem samochodowym. Przejście tej postaci, której nikt nie widział, której oblicza nikt nie poznał, ani wołania nie pojął, dotyka bez różnicy chaty i pałace. Lekceważy ona wiek i status społeczny, kulturę i uczucia.

Człowiek wyobraża sobie godzinę śmierci w przestrzeni nieokreślonej i odległej. Wydaje mu się, że nie ma ona dla niego żadnego związku z obecnymi dniami życia, tak dobrze zaplanowanymi i wypełnionymi zajęciami. Tymczasem to właśnie w zwykły dzień, może nawet niezbyt odległy, śmierć pojawi się przed nami, co więcej: pojawi się wewnątrz nas, by wyrwać nas z obecnej perspektywy i z życia, w którym mieliśmy jeszcze zrealizować wiele planów. Dlatego należy skończyć z tym rodzajem cenzury wokół „godziny śmierci".

[16] J. Bréhant, *Thanatos – chory i lekarz w obliczu* śmierci, Warszawa 1980, s. 20.

[17] Tamże, s. 19.

Jak widzi te sprawy religia Chrystusowa? W chrześcijaństwie śmierć łączy się z życiem wiecznym poprzez zmartwychwstanie. Wyraża się to najlepiej w zdaniu prefacji, odmawianej podczas pogrzebu: *vita mutatur non tollitur* – życie zmienia się, ale się nie kończy. Pełny tekst tej prefacji brzmi: „Choć nas zasmuca nieunikniona konieczność śmierci, znajdujemy pociechę w obietnicy przyszłej nieśmiertelności. Albowiem życie Twoich wiernych, o Panie, zmienia się, ale się nie kończy i gdy rozpadnie się dom doczesnego zamieszkania znajdą przygotowane w niebie wieczne mieszkanie". W tych zdaniach ukryte są piękne horyzonty nadziei i światła. Takim jest chrześcijańskie orędzie paschalne. Chrześcijaństwo zachowało także szacunek dla grobu, choć inaczej go już rozumiało. Miejsca pochówku już nie nazywano, jak w świecie pogańskim „nekropolią" – miastem zmarłych. Przyjęła się nazwa „cmentarz", które pochodzi od greckiego słowa „koimeterion", znaczącego: „miejsce tych, którzy zasnęli". Śmierć bowiem jest już traktowana jak zaśnięcie, na pewien czas, bo kiedyś groby się otworzą i nastąpi powstanie z martwych. Śmierć jest więc bramą do innego życia.

Chrześcijanie zachowali też zwyczaj odwiedzania grobów. Nie odwiedzali ich jednak w rocznicę urodzin zmarłego, jak czynili starożytni Grecy czy Rzymianie, ale w rocznicę śmierci. A samą śmierć określali jako dzień narodzin dla nieba (*dies natalis*). Stąd do dziś w kalendarzu liturgicznym wspominamy świętych w dniu ich odejścia z tego świata. I jeszcze jedna różnica wprowadzona przez chrześcijan. Gromadzili się oni na grobach zmarłych przede wszystkim po to, by się za nich modlić. Wierzyli też, że ta modlitwa jest dwukierunkowa. Zmarli bowiem mogą też modlić się za żywych. Dobrze przedstawił to Dante w jedenastej pieśni *Boskiej komedii*, pt. *Oczyszczenie gór*: dusze czyśćcowe wyciągają ręce ku Bogu i odmawiają *Ojcze nasz*, modląc się za tych, którzy pozostali na ziemi. Same nie mogą sobie pomóc. Minął już dla nich czas wybierania między dobrem a złem, ale modlą się za żyjących.

Warto spojrzeć czym jest śmierć w życiu świętych, a więc tych najwspanialszych ludzi, jacy kiedykolwiek przeszli przez ziemię. Jak oni ją widzą? Św. Teresa z Lisieux, zwana Małą Teresą, porównywała śmierć do porodu. Mówiła: „Ja nie umieram – ja wchodzę do życia"[18]. Niezwykłe były ostatnie dni bł. Jana Pawła II. Przy jego łożu śmierci stanął cały szlachetny świat, wierzący i niewierzący. W sobotę 2 kwietnia 2005 roku, zmarł on w Watykanie, otoczony niewielkim gronem szczególnie oddanych mu osób, wypowiadając prawie niedosłyszalnie słowo: „Amen". Św. Franciszek z Asyżu umierał śpiewając, a śmierć nazywał siostrą. Z kolei św. Franciszek Salezy mówił o śmierci, którą zwykle przedstawia się jako chudą jędzę, z wdziękiem. Podkreślał, że ma ona stopy z waty i tak uprzejmie stąpa, że nie słychać, kiedy się zbliża.

Podsumowując należy stwierdzić, że śmierć nie jest przypadkiem, lecz prawem, koniecznością wpisaną od urodzenia w przyszłość każdej jednostki. Ponie-

[18] „Je ne meurs pas, j'entre dans la vie".

waż potrafimy nadać sens naszemu życiu, trzeba również dać sens jego kresowi. Trzeba więc nauczyć się patrzeć na śmierć nie z dumą, na sposób stoików, albo oczyma niewidomych nihilistów, nie z trwogą przed nieznanym, ani z lękiem z powodu jej nieodwracalności, ale z wolą uczynienia jej zgodną z istnieniem, które w całej pełni przyjęliśmy, i z troską o to, aby nasz przykład pozostał świadectwem. Jedna z chrześcijańskich modlitw brzmi: „Boże, spraw, aby śmierć była dla nas najlepszą z nieobecnych, a grób najpiękniejszym domem. Pozwól nam umrzeć z nadzieją spotkania Ciebie".

Wokół dobra i wolności

Trzecim obszarem tematycznym, towarzyszących refleksji nad postępem naukowo-technicznym i organizacyjnym w rolnictwie podczas ogólnopolskich konferencji naukowych w Zakopanem, organizowanych przez prof. Rudolfa Michałka, były zagadnienia dobra i jego przejawów w tradycji chrześcijańskiej oraz wolności i odpowiedzialności.

Dotykając wielu tych spraw potwierdza się w pełni powiedzenie św. Hieronima rozpoczynające jego *Praefatio in Librum Job*: „Wyjaśniać *Hioba* to jakby chcieć utrzymać w rękach węgorza albo małą murenę – im bardziej się ją ściska, tym szybciej wymyka się z rąk"[19]. Wobec tajemnic wszechświata i ludzkiej egzystencji należy stanąć z pokorą. Nasza wiedza jest bowiem kroplą w morzu niewiedzy. Dobrze to oddaje noblista Izaak B. Singer wkładając w usta swego bohatera w powieści *Szosza* takie słowa: „Im dłużej i staranniej astronomowie mierzą gwiazdy, dochodzą do przekonania, iż są dużo większe, niż myśleli. Niektóre z nich są nawet większe od Słońca. Jak więc tak małe i marne istoty jak my, o mózgu nie większym od bochenka chleba, mają zrozumieć, jaki jest Jego [Boga] plan i cel?"[20]. Podobnej pokory w podejściu do tajemnic świata uczył wielki teolog starożytności chrześcijańskiej, jakim był Orygenes. W *Homiliach na Księgę Rodzaju* stwierdzał m.in.: „Im dalej posuwamy się w lekturze, tym bardziej rośnie przed nami stos tajemnic. I jak ten, kto wyrusza w morze na małym stateczku, [...] ogromny strach i przerażenie przenika jego umysł, bo maleńką łódź powierzył olbrzymim falom – tak samo i my doznajemy czegoś podobnego, my, którzy ośmielamy się wkroczyć na rozległe morze tajemnic".

Poszukując odpowiedzi na pytanie o dobro warto zwrócić uwagę, że w Piśmie Świętym już pierwszych wierszach Księgi Rodzaju zapisana jest radość Boga ze stworzeń, które powołał do istnienia: „Bóg widział, że były dobre" (Rdz 1,12); „To co uczynił Bóg było bardzo dobre" (Rdz 1,31). „Jedynie Bóg zna dobro i zło.

[19] *ut si velis anguillam aut muroenulam strictis tenere manibus, quanto fortius presseris, tanto citius elabitur* (PL 28,1081).

[20] I. B. Singer, *Szosza*, Muza SA, Warszawa 2001, s. 122.

Drzewo poznania dobra i zła" (Rdz 2,9). Z kolei w Ewangelii według św. Mateusza Jezus podkreśla, iż „jeden tylko jest Dobry" (Mt 19,17), a jest nim Bóg. Dotknięty przez trąd, cierpienie i opuszczenie biblijny Hiob mówi: „Dobro przyjęliśmy z ręki Boga" (Hi 2,10). Dobro łatwo się przyjmuje; o wiele trudniej przyjąć chorobę czy cierpienie. Pismo Święte wiele razy mówi na temat dobra. Do skarbnicy kultury weszły z Biblii takie określenie jak: „dobry anioł" (Tob 5, 27); „dobry bój (stoczyłem)" (2 Tm 4,7); „Dobry pasterz" (J 10,11); „Dobry człowiek z dobrego skarbca swego serca wydobywa dobro" (Łk 6,45), czy „dobry uczynek" (Mt 26,10). Jednocześnie św. Paweł zdaje sobie sprawę, że w człowieku – na skutek grzechu – istnieje bolesne rozdarcie. W *Liście do Rzymian* stwierdza: „Jestem bowiem świadom, że we mnie, to jest w moim ciele, nie mieszka dobro; bo łatwo przychodzi mi chcieć tego, co dobre, ale wykonać – nie. Nie czynię bowiem dobra, którego chcę, ale czynię to zło, którego nie chcę. Jeżeli zaś czynię to, czego nie chcę, już nie ja to czynię, ale grzech, który we mnie mieszka" (Rz 7, 18-20)

Znana zasada scholastyczna głosi, iż *bonum est diffusivum sui.* Najgłębszy sens tej zasady wyraża się w fakcie, iż dobro z natury swojej obdarowuje. *Bonum est diffusum*. Do natury dobra należy jego rozlewanie się, rozprzestrzenianie, rozszerzanie się, dzielenie z innymi. W sensie ogólnym dobrem nazywamy wszystko, co uważa się za wartościowe, pomyślne, pożyteczne oraz użyteczne dla osiągnięcia wyznaczonego celu; w aspekcie bytowym jest to wartość, doskonałość bytu; w aspekcie moralnym – działanie zgodne z normą moralności; w aspekcie gospodarczym – podstawa bytowa zaspokajająca materialne potrzeby człowieka; w aspekcie społecznym – wartości służące jednostce oraz społeczeństwu. Mamy więc dobro publiczne i prywatne oraz dobro wspólne[21].

W roku 2011 przedmiotem analiz towarzyszących refleksji nad postępem naukowo-technicznym i organizacyjnym w rolnictwie był problem wolności i odpowiedzialności. Podejmując to zagadnienie należy podkreślić, że człowiek jest istotą wyposażoną w szczególny dar, jakim jest dar wolności. To on sprawia, że może się realizować podejmując lub odrzucając pewne wezwania. Przymiotem osoby ludzkiej korelatywnie związanym z wolnością jest odpowiedzialność. Wolność oznacza dwie różne rzeczywistości: pewien stan wewnętrzny człowieka oraz jego sytuację zewnętrzno-społeczną. Można więc wyróżnić wolność wewnętrzną, określaną niekiedy jako wolność duchowa, wolność psychologiczna, wolność ludzka od wolności zewnętrznej. Analizując wolność wewnętrzną należy stwierdzić, iż człowiek doświadcza bezpośrednio wolności, przeżywa swe działanie jako wolne. Zarówno przed zamierzoną czynnością, jak i w czasie jej wykonywania, a wreszcie po jej wykonaniu uświadamia sobie, niekiedy bardzo wyraźnie, że działa swobodnie. Wie, że podejmowany przezeń czyn do niego należy, że jest w nim osobiście zaangażowany i że może zań odpowiadać. Świadomość ta rodzi często poczucie godności osobistej i ważności samej decyzji, zadowolenie i dumę

[21] S. Kowalczyk, *Dobro*, [w:] *Encyklopedia katolicka*, t. III, Lublin 1979, kol. 1373-1374.

z powodu pewnych działań, a lęk, poczucie winy, żal z powodu innych poczynań[22].

Wolność człowieka to jednak coś znacznie więcej, niż uważał prof. Leszek Kołakowski (1927-2009), wybitny filozof, publicysta i prozaik. Na pytanie: Co to jest wolność? odpowiadał on: „Wolność jest to możliwość wyboru pomiędzy tym, a tamtym, jednym a drugim". To prawda, ale zauważmy: taką wolnością obdarzone są nawet psy. Kiedy z krzaku wyskakują dwa zające w dwóch różnych kierunkach, to pies musi podjąć akt wyboru: biegnie za tym zającem albo za tamtym. Tymczasem wolność ludzka jest bardziej skomplikowana i związana jest z prawdą i dobrem[23]. Święty Augustyn powiada, że bywają takie sytuacje, kiedy wolnym jestem, tylko jeśli wybieram to i tylko to. Wyobraźmy sobie, że ktoś jest zapalonym kibicem piłkarskim. Rozgrywany jest ważny mecz, ma kupiony bilet, od kilku dni mówi tylko o tym wydarzeniu. Tymczasem akurat przed meczem poważnie zachorowało mu dziecko. Trzeba z nim jechać do szpitala. Nie ma najmniejszej wątpliwości, że zostanie przy dziecku. I to jest naprawdę wolny wybór. A jeżeli, Boże uchowaj, uległby on jednak swojej słabości i poszedł na mecz, to dobrze wiemy, że to nie był wybór wolny, że nie był on wtedy panem samego siebie, ale uległ namiętności. Przecież ten, głębszy, wymiar wolności nie ma nic wspólnego z heglowskim pojmowaniem wolności, za którym poszedł Marks, że wolność to świadomość konieczności. Gdyby wolność była tylko tym, to w ogóle by jej nie było, natomiast być panem samego siebie to po prostu być naprawdę wolnym[24].

Że świadomość wolności nie jest złudzeniem, czyli że posiadamy rzeczywiście wolność, że jesteśmy wewnętrznie wolni, poucza Pismo Święte. Stwierdza ono u człowieka wolność wyboru, szczególnie w zakresie dobra lub zła, drogi zbawienia lub drogi potępienia. Widać to już w księgach Starego Testamentu. Autorzy tych ksiąg apelują niejednokrotnie do wolności, chwalą lub ganią za określone działania. Tak np. prorocy nawołując do działania zgodnego z wolą Bożą i potępiając grzechy Izraela stwierdzają, że ma on wewnętrzną wolność do działania dobrego lub złego, posiada możliwość opowiedzenia się za Bogiem lub przeciw Niemu. Tę wolność stwierdza wyraźnie i dobitnie księga Mądrości Syracha: „On (Pan) na początku stworzył człowieka i zostawił go własnej mocy rozstrzygania. Jeżeli zechcesz, zachowasz przykazania... Położył przed tobą ogień i wodę, co zechcesz, po to wyciągniesz rękę. Przed ludźmi życie i śmierć, co ci się podoba, to będzie ci dane" (Syr 15, 14-17).

Jeszcze lepiej widać to na przykładzie Księgi Powtórzonego Prawa: „Patrz! Kładę dziś przed tobą życie i szczęście, śmierć i nieszczęście. Ja dziś nakazuję ci

[22] S. Olejnik, *W odpowiedzi na dar i powołanie Boże. Zarys teologii moralnej,* Warszawa 1979, s. 123.

[23] *Świętowanie Pana Boga*. Z Ojcem Jackiem Salijem OP rozmawiają Alina Petrowa-Wasilewicz i Jacek Borkowicz, Kraków 2001, s. 318-319.

[24] Tamże, s. 319.

miłować Pana, Boga twego, i chodzić Jego drogami, pełniąc Jego polecenia, prawa i nakazy, abyś żył i mnożył się, a Pan, Bóg twój, będzie ci błogosławił w kraju, który idziesz posiąść. Ale jeśli swe serce odwrócisz, nie usłuchasz, zbłądzisz i będziesz oddawał pokłon obcym bogom, służąc im – oświadczam wam dzisiaj, że na pewno zginiecie, niedługo zabawicie na ziemi, którą idziecie posiąść, po przejściu Jordanu. Biorę dziś przeciwko wam na świadków niebo i ziemię, kładąc przed wami życie i śmierć, błogosławieństwo i przekleństwo. Wybierajcie więc życie, abyście żyli wy i wasze potomstwo" (Pwt 30,15-19).

W oparciu o te teksty już w I wieku ujęto koncepcję życia chrześcijańskiego jako „dwie drogi". „Dwie są drogi, jedna życia, a druga śmierci, i wielka jest różnica między nimi" – tak zaczyna się *Nauka dwunastu Apostołów* (słynne *Didache).* To wczesne pismo, z końca I wieku, wyraźnie wskazuje, że chrześcijaństwo jest drogą, a więc ciągłą wędrówką, poszukiwaniem, stopniowym zmierzaniem do celu. Wymaga nie tylko podstawowego wyboru, jakim jest przyjęcie nowej religii, ale nieustannego postępu i rozwoju duchowego. Wszystko to dokonuje się pod warunkiem posiadania wolności[25].

Wewnętrzną wolność wyboru zakłada w swych pouczeniach lub wyraźnie stwierdza Jezus Chrystus. Nauczając ludzi, apeluje do ich wolności. Wyrzuca faryzeuszom ich przewrotność, upomina Apostołów, zachęca do pokuty, udoskonala stare prawo i żąda jego wykonywania w duchu miłości. W rozmowie z młodzieńcem zapytującym Go: „Nauczycielu, co dobrego mam czynić, aby otrzymać życie wieczne?", Jezus odpowiada: „Jeśli chcesz osiągnąć życie, zachowaj przykazania" (Mt 19, 17). Kiedy zaś ten wskazuje na prawość swojego dotychczasowego postępowania, odwołuje się Chrystus ponownie do jego wolnego chcenia, zachęcając do wyboru drogi doskonałości: „Jeśli chcesz być doskonały, idź, sprzedaj, co posiadasz, i rozdaj ubogim, a będziesz miał skarb w niebie" (Mt 19, 21). Jezus Chrystus moc i wartość zbawczą ludzkiego działania uzależnia od łaski, od zachowania wspólnoty życia z Nim i z Ojcem (por. J 15, 1-6). Nie tylko w ewangeliach, ale i w innych księgach Nowego Testamentu znajdujemy liczne potwierdzenia wolności człowieka. Wolność wewnętrzną człowieka stwierdzają liczni Ojcowie Kościoła, świadkowie wyraźnej i dość jednozgodnej tradycji doktrynalnej[26].

Jednakże niektórzy przedstawiciele Reformacji zakwestionowali wolność woli. Tak uczynił np. Jan Kalwin, głosząc, że Bóg z góry przeznaczył jednych do zbawienia, a drugich do potępienia i choćby nie wiem co robili i tak się znajdą w piekle. Pod wpływem tej kalwińskiej doktryny o predestynacji przeżył wielki kryzys religijny św. Franciszek Salezy. Owładnęła nim obsesyjna myśl, że będzie potępiony. Odtąd wszystkie sprawy przestały mieć dla niego jakiekolwiek znaczenie. Koszmar, który go dręczył przez wiele tygodni, zwalczył, odkrywając

[25] J. Naumowicz, *Dwie są drogi. Przewodnik wczesnochrześcijański*, Poznań 2005, s. 5-6.

[26] S. Olejnik, dz. cyt., s. 124.

w Piśmie Świętym Boga miłosiernego, pragnącego zbawienia każdego człowieka. Doszedł do wniosku, iż jeśli nie może kochać Boga w wieczności, to będzie Go przynajmniej kochał ze wszystkich sił tu na ziemi[27].

Nie tylko Kalwin odrzucał wolność człowieka. Na gruncie filozofii poglądy deterministyczne (odrzucające wolność) głosili już w starożytności niektórzy myśliciele greccy. Sprzyjały ich myśli pewne treści religii greckiej, poddającej wszystkie wydarzenia przemożnemu fatum (*moira*), nieuchronnemu losowi, któremu podlegali nie tylko ludzie, ale nawet bogowie Olimpu.

Stanowisko odrzucające wolność wewnętrzną człowieka zostało podjęte i w filozofii nowożytnej. U wielu jej reprezentantów widzimy wysiłek sprowadzenia działania ludzkiego do poziomu działania całej przyrody. Szczególnie w ostatnich czasach, kiedy rozwinęły się liczne nauki doświadczalne o człowieku, przyjmuje się w nich często założenia ewolucjonizmu poddającego działalność ludzką prawom stwierdzonym w świecie przyrody lub mechanizm życia społecznego, kwestionując w konsekwencji wolność wewnętrzną człowieka.

Długą historię problemu wolności człowieka wyznaczają jednak nie tylko przeciwnicy tej wolności, ale i ich zdecydowani antagoniści. Trudno byłoby nawet naszkicować etapy tego sporu, nie jest to zresztą potrzebne. Warto tylko wspomnieć, że w ostatnich czasach zdecydowaną reakcję na ewolucjonistyczne negowanie wolności ludzkiej stanowi egzystencjalizm. Głosi on skrajny indeterminizm, czyli niezależność od jakichkolwiek wpływów i uwarunkowań. Tak np. filozof francuski Jean Paul Sartre głosi, że wolnym aktem wyboru człowiek tworzy swą osobowość, kreuje swą strukturę bytową. W swych aktach twórczej egzystencji działa z absolutną swobodą, nic nie ogranicza od wewnątrz wolności jego działania.

Spory dotyczące wewnętrznej wolności człowieka pozwoliły przeanalizować głęboko samą sprawę, zweryfikować pewne twierdzenia, a inne poważnie zmodyfikować. W wyniku analiz przeprowadzanych przez deterministów zdajemy sobie dziś lepiej, niż dawniej, sprawę z wielorakich uwarunkowań i ograniczeń ludzkiej wolności. Egzystencjalizm natomiast nauczył mówić o samorealizacji człowieka, o jego mocy kreacyjnej. Nie znaczy to wcale, by trzeba było przyjmować krańcowe poglądy antagonistycznych kierunków myśli dotyczących sprawy wolności człowieka.

Przypisując człowiekowi, w myśl nauki objawionej, przymiot wewnętrznej wolności, nie czyni się go jeszcze podmiotem nieograniczonej swobody i całkowitej, niczym nie uwarunkowanej inicjatywy działania. Taka wolność przysługuje wyłącznie Bogu. Człowiek jest ograniczony w swych możliwościach i podlega licznym, tkwiącym w nim samym, uwarunkowaniom. Nie jest jednak jak zwierzę – zdeterminowany do pewnego działania zgodnego ze swą naturą. Człowiek ma wątpliwości, czy dobrze skorzystał ze swej wolności – zwierzę ich nie ma.

[27] K. Panuś, *Św. Franciszek Salezy*, wyd. II, Kraków 2009, s. 8-9.

Każdy człowiek w ramach swej niepowtarzalnej indywidualności nosi w sobie pewien swoisty, własny „los", wpleciony w osnowę losu pozaindywidualnego, społeczno-historycznego. Niesie to ze sobą ograniczenia w bycie i w możliwościach działania. Tak rozumiany los – łagodzony zresztą prawdą o Opatrzności – choć ogranicza możliwości ludzkiego działania, nie przekreśla jednak wolności człowieka. Człowiek w ramach swego losu, w ramach ograniczeń narzuconych przez naturę ludzką, właściwości indywidualne i sytuację historyczno-społeczną, staje przed możliwością i koniecznością wyboru, a przy wyborze tym jest świadomy swej daleko idącej swobody i wolności. Działanie ludzkie jest konsekwencją decyzji wolnej, choć podejmowanej w ramach przez los wyznaczonych[28].

Nie jesteśmy obdarzeni wolnością absolutną. Nasza wolność jest w wieloraki sposób uwikłana w konkretnej egzystencji związanej z ciałem i materią. Mechanizm wolnego wyboru jest bardzo skomplikowany i ukryty. Biologia i licząca się z wynikami jej badań psychologia odkrywają głęboko nieraz utajone uwikłania ludzkiego bytu, a więc i determinanty zacieśniające pole swobodnego wyboru i wolność decyzji. Z drugiej strony znów silne naciski społeczne, a jeszcze bardziej długotrwałe oddziaływania środowiska ograniczają niekiedy do minimum możność wyboru, w dużej mierze ustawiają ją jednokierunkowo. Tego wszystkiego nie da się zaprzeczyć. Nie trzeba zatem wewnętrznej wolności człowieka traktować angelicznie, z zamknięciem oczu na różne ograniczające ją czynniki i uwarunkowania. Tych uwarunkowań nie należy jednak podnosić do potęgi przekreślającej zupełnie wolność. Wśród determinizmów własnej natury i warunków egzystencji pozostaje strefa wolności apelująca o wybór i decyzję. Ramy tej strefy są niekiedy bardzo ograniczone, a w krańcowych przypadkach stanów patologicznych zupełnie zniesione. Nie można jednak całkowicie zaprzeczać jej istnieniu. Wśród determinizmów istnieje „otwarte okno", niekiedy tylko „szczelina" rozeznania i wyboru. Ta szczelina jednak w pewnych przypadkach wystarczy, aby ocalić rzeczywistość i godność wolności człowieka[29].

Człowiek nie jest biernym przedmiotem zjawisk psychicznych, a jego wnętrze terenem, na którym rozgrywają się takie lub inne procesy psychiczne, na którym walka odkrytych lub zamaskowanych dla świadomości motywów wyznacza i determinuje jednoznacznie drogę działania. Jest, przeciwnie, świadomym, przez swą rozumną jaźń, i aktywnym, przez swą wolę, uczestnikiem i kierownikiem tego działania. Ma władzę nad swymi rozstrzygnięciami i czynnościami; jest ich, przynajmniej w pewnym stopniu, wolnym i odpowiedzialnym panem[30].

Jak już wspomniano, oprócz wolności wewnętrznej istnieje wolność zewnętrzna. Zagadnienie wolności zewnętrznej jest jednak daleko prostsze, choć także bardzo szerokie w swoim zasięgu. Chodzi tu głównie o wolność od różnych ograniczeń, nie zawsze usprawiedliwionych, które krępują ludzi w ramach życia

[28] S. Olejnik, dz. cyt., s. 125.

[29] Tamże, s. 126.

[30] Tamże.

społecznego. Ograniczenie wolności i swobody najdotkliwiej odczuwa się w aktach przymusu zewnętrznego. Uwolnieni zaś od tego przymusu czują się ludzie swobodni, wolni – są w posiadaniu wolności zewnętrznej. Jest to więc niezależność od fizycznego przymusu, swoboda czynienia tego, co człowiekowi w zewnętrznej sferze działań przysługuje i do czego jest przez swe naturalne pragnienia oraz nabyte przyzwyczajenia wewnętrznie skierowany.

Pod miano wolności w tym znaczeniu podciąga się dziś nie tylko uwolnienie od przymusu zewnętrznego, lecz również wolność od innych ograniczeń. Uznanie ich za nieusprawiedliwione zrodziło tendencję do uwolnienia się od nich. Proklamuje się „prawo człowieka do wolności", przy czym zarówno to „prawo", jak i „do wolności" rozumie się nie tylko w liczbie pojedynczej, generycznie, lecz także w liczbie mnogiej, jako wielość praw dających moralny tytuł do działania, wnoszenia roszczeń czy łamania ograniczeń.

Z wolnością wewnętrzną korelatywnie związana jest sprawa odpowiedzialności. W pojęciu «odpowiedzialność» kryje się treść, którą można wyjaśnić z różnego punktu widzenia. W języku potocznym stosuje się kategorię odpowiedzialności najczęściej do czynów złych i określa się nią mniej więcej to, co przypisywanie komuś winy. Ten rodzaj przypisywania wyraża się też ściśle pojęciem odpowiedzialności „karnej" lub „cywilnej". Odpowiada się jednak za swoje czyny nie tylko wobec sądu i nie tylko za czyny złe. Mówimy bowiem również o odpowiedzialności moralnej człowieka, w której instancją oceniającą jest sumienie, będące w wewnętrznej relacji do Boga. Podstawowym elementem tej odpowiedzialności jest przypisywanie komuś działania. To, że człowiek odpowiada moralnie za czyn, znaczy, że można mu go przypisać jako sprawcy. Zamiast „przypisywania" czynu mówi się też niekiedy o „poczytaniu" go komuś. Tu już wyraźnie abstrahuje się od dobra lub zła działania, kładzie się natomiast nacisk na jego psychiczne uwarunkowania, a w szczególności, czy posiada ono wystarczający stopień wolności. Drugim, po przypisywaniu komuś działania, składnikiem odpowiedzialności moralnej jest czynnik zobowiązania. Uwypukla się go mówiąc, że ktoś jest za coś odpowiedzialny.

Pewien stopień odpowiedzialności ciąży na każdym w stosunku do wolności innych. Dotyczy to oczywiście głównie wolności zewnętrznej, w jej różnych aspektach i odniesieniach. Jeśli zaś chodzi o wychowawców i mających wpływ na wewnętrzną formację człowieka, to są oni także odpowiedzialni za innych również w zakresie ich wolności wewnętrznej. Najbardziej jednak odpowiedzialny w tej ostatniej sferze wolności jest sam podmiot, każdy człowiek jako świadomy i wolny współtwórca swej osobowości[31].

Wolność, jaką obdarzony jest każdy człowiek, stanowi cenny dar, który jest udzielany w stanie potencjalnym i może być rozwijany. Ten rozwój stoi jednocześnie przed każdym jako zadanie na całe życie. Jego zaś realizacja stanowi tytuł nowej wielkości i godności człowieka. Wolność jest więc – jak będzie często pod-

[31] Tamże, s. 128.

kreślał Jan Paweł II – dana człowiekowi przez Stwórcę i jest mu równocześnie zadana. Poprzez wolność bowiem człowiek jest powołany do przyjęcia i realizacji prawdy[32]. Człowiek może i powinien uwalniać się od tego, co obciąża i krępuje jego wolność dziecka Bożego. Może i powinien wychowywać się do wolności, dobrze z niej korzystając, oraz pomagać innym do wzrastania w prawdziwej wolności.

Dokąd zmierzasz Europo? Dokąd zmierzasz Polsko?

Na zakończenie warto spojrzeć jeszcze na jeden temat, który pojawił się na specjalistycznych ogólnopolskich sympozjach naukowych nt. *Postęp naukowo-techniczny i organizacyjny w rolnictwie*. Reflektując nad zagadnieniami filozoficznymi, teologicznymi i moralnymi konferencje prof. Rudolfa Michałka dotykały także niepokojących przemian społeczno-kulturowych we współczesnym świecie. Taki charakter miało wystąpienie w 2010 roku. Wobec nieuzasadnionej krytyki chrześcijaństwa w Europie, gdzie sekularyzm czyni się na siłę „europejską religię" postawione zostało pytanie: co dalej? *Quo vadis Europae? Quo vadis Poloniae?*

Na każdym kroku spotkać można bowiem przejawy wrogich działań wobec Kościoła. Ich źródłem są zarówno najwyższe organy Unii Europejskiej jak też różne opiniotwórcze kręgi, zwłaszcza twórców kultury. Do najbardziej niepokojących należy pominięcie *invocatio Dei* oraz jakiegokolwiek odesłania do chrześcijaństwa, jako źródła tożsamości europejskiej w traktacie konstytucyjnym, a następnie w traktacie reformującym Unię Europejską. Można zaobserwować tendencje antychrześcijańskie ukryte pod płaszczem neutralności religijnej państwa, takie jak: wypieranie krzyża i symboli religijnych z przestrzeni publicznej[33], zakazy noszenia symboli religijnych w szkołach, zakazy urządzania w szkołach szopki bożonarodzeniowej, stosowanie w życzeniach świątecznych zwrotu *Season Greetings*, zamiast tradycyjnego *Merry Christmas*, akty bluźnierstwa wobec symboli religijnych, a nawet wobec osoby Chrystusa i Matki Bożej (np. D. Brown w *Kod Leonarda Da Vinci*). Akty agresji i pogardy dla chrześcijaństwa demonstro-

[32] Jan Paweł II, *Pamięć i tożsamość. Rozmowy na przełomie tysiącleci*, Kraków 2005, s. 50.

[33] Najbardziej spektakularnym przykładem tego jest wyrok Europejskiego Trybunału Praw Człowieka w Strasburgu wydany 3 listopada 2009 w sprawie krzyży we włoskiej szkole. Soile Lautsi, Finka posiadająca obywatelstwo włoskie, złożyła skargę na szkołę, do której uczęszczały jej dzieci, ponieważ w każdej sali lekcyjnej znajdowały się zawieszone na ścianach krzyże. Skarga ta uznana została przez sędziów obradujących w Strasburgu. Uznali oni, że praktyka ta może działać rozpraszająco na dzieci, które są innego wyznania. Soile Lautsi ma również, zgodnie z wyrokiem, otrzymać 5000 euro za straty moralne, jakich doznała ona i jej dzieci. Zadośćuczynienie wypłacić ma jej rząd włoski. W uzasadnieniu Trybunał potwierdził, że eksponowanie krzyży może wpływać negatywnie na uczniów, którzy są ateistami, lub też pochodzą z rodzin o innym niż katolickie wyznaniu, zwłaszcza jeśli należą do mniejszości religijnych. Wyrok wywołał spore zamieszanie w całym kraju oraz falę krytyki, szczególnie ze strony konserwatywnego rządu Berlusconiego, który twierdzi, że krzyże są integralną częścią tożsamości narodowej w kraju.

wane są nawet przez środowiska uniwersyteckie, które ze swej natury powinny być otwarte na dyskusję i inne punkty widzenia. Takim przejawem jest chociażby niedopuszczenie do wizyty papieża Benedykta XVI na Uniwersytecie *La Sapienza* w Rzymie. „W Europie rozwinęła się kultura pragnąca wyrzucić Boga z sumienia społeczności" – zauważył tenże papież. Zlaicyzowana Europa wstydzi się chrześcijaństwa. Wstydzi się swojej tożsamości religijnej – podkreśla prof. Andrzej Zoll. Paradoksem jest, iż dzieje się to przy zagrożeniu ze strony wojującego islamu i przyzwalaniu władz na żądania muzułmanów, poparte ich rosnącymi wpływami politycznymi. Jak podkreślono w przedłożeniu i w dyskusji, jedyną właściwą postawą chrześcijan wobec tych zagrożeń jest świadectwo pięknego, ofiarnego życia i pracy, dowodzące, że wartości ewangeliczne wciąż są żywe i rodzą owoce dobra.

* * *

W uroczystym momencie życia Pana Profesora Rudolfa Michałka gratuluję znakomitych konferencji, potwierdzonych stale rosnącą liczbą uczestników z wielu środowisk akademickich w Polsce. Pragnę także w tej formie wyrazić moją głęboką wdzięczność, że mogłem w ich trakcie ośmiokrotnie dzielić się z tym dostojnym gronem powyższymi przemyśleniami. Za piękną tradycją uniwersytecką wypowiadam zatem w języku łacińskim: *Ab imo corde gratias ago*.

Ks. Kazimierz Panuś, prof. zw. dr hab., prezes Polskiego Towarzystwa Teologicznego w Krakowie, w latach 2006-2009 prorektor Uniwersytetu Papieskiego Jana Pawła II, członek Komitetu Nauk Teologicznych przy Polskiej Akademii Nauk. Zajmuje się historią kaznodziejstwa w Polsce i w Kościele Powszechnym. Autor trzytomowej syntezy historii kaznodziejstwa w Polsce i w Kościele Powszechnym: *Zarys historii kaznodziejstwa w Kościele katolickim* [Kraków 1999-2001] oraz książek: *Kaznodziejstwo w katedrze krakowskiej* [cz. I-II Kraków 1995], *Uratować Naród! Głos z ambony Katedry Wawelskiej okresu niewoli narodowej 1795-1918* [Kraków 1996], *Wielcy mówcy Kościoła* [Kraków 2004], *Św. Marcin z Tours* [Kraków 2003], *Święty Patryk* [Kraków 2004], *Wielcy mówcy Kościoła w Polsce* [2005], *Henryk Lacordaire* [Kraków 2005], *Św. Leon Wielki* [Kraków 2005], *Wielcy kaznodzieje Krakowa* [Kraków 2006, red.], *Św. Jan Vianney* [Kraków 2006], *Piotr Skarga* [Kraków 2006], *Wielcy mówcy katedry na Wawelu* [Kraków 2008], *Sztuka głoszenia kazań* [Kraków 2008], *Bł. Edmund Bojanowski* [Kraków 2009] i innych. Mieszka w Krakowie.

METODA WYZNACZANIA PARAMETRÓW PROCESU CZYSZCZENIA NASION GRYKI ZA POMOCĄ SIT I SPECJALNYCH TRYJERÓW

Tadeusz Rawa, Zdzisław Kaliniewicz

Katedra Maszyn Roboczych i Procesów Separacji
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
e-mail: tadeusz.rawa@uwm.edu.pl

1. Wstęp

Gryka siewna (*Fagopyrum esculentum Moench* L.) jest znana i ceniona w Europie już od wielu lat. Najprawdopodobniej została sprowadzona w średniowieczu z Azji Środkowej przez Mongołów [Kaliniewicz 2000], z czego wzięła się jej potoczna nazwa poganka.

Ze względu na niskie wymagania glebowe, gryka jest uprawiana przede wszystkim we wschodnich rejonach Polski, w województwach lubelskim, podlaskim, świętokrzyskim, mazowieckim, warmińsko-mazurskim. Wpisała się także w krajobraz dawnych kresów wschodnich Polski. Świadczy o tym następujący zapis w księdze I poematu „Pan Tadeusz" Adama Mickiewicza:

> Tymczasem przenoś moją duszę utęsknioną
> Do tych pagórków leśnych, do tych pól zielonych
> Szeroko nad błękitnym Niemnem rozciągnionych;
> Do tych pól malowanych zbożem rozmaitem,
> Wyzłacanych pszenicą, posrebrzanych żytem;
> ***Gdzie bursztynowy świerzop, gryka jak śnieg biała,***
> Gdzie panieńskim rumieńcem dzięcielina pała,
> A wszystko przepasane jakby wstęgą, miedzą
> Zieloną, na niej z rzadka ciche grusze siedzą.

Z tych terenów pochodzi jeszcze inna jej nazwa – hreczka i od niej pochodzące pogardliwe określenie chłopów – hreczkosieje – gospodarujących na słabych, mało urodzajnych glebach z dużym udziałem gryki w zasiewach. Udokumentowane dziś właściwości gryki stawiają ją w rzędzie bardzo wartościowych surowców o szerokim i zróżnicowanym zastosowaniu. Ze względu na porównywalne

z ryżem właściwości dietetyczne kaszy, można usłyszeć niekiedy pogląd, że gryka to ryż północy; uprawiana jest do 70° szerokości geograficznej.

W Polsce jest uprawiana gryka zwyczajna (siewna) przede wszystkim odmiany Hruszowska, Kora i Emka. Produkcja nasion gryki przed 20 laty wynosząca 40 tys. ton, wzrosła w 2009 roku do poziomu 84 tys. ton [www.stat.gov.pl]. Obserwując coraz większe zainteresowanie kaszą i produktami żywnościowymi z udziałem kaszy i mąki gryczanej można sądzić, że podany areał i produkcja gryki w nadchodzących latach również wzrośnie, tym bardziej, że ma ona niewielkie wymagania glebowe, a Polska to przede wszystkim kraj gleb lekkich, mało żyznych.

Mała skuteczność stosowanych metod i środków walki z chwastami powoduje, że do skupu trafia surowiec gryki silnie zanieczyszczony – nawet w 3 stopniu czystości (od 3 do 5% zanieczyszczeń nieużytecznych). Zanieczyszczeniem dominującym są fragmenty łuszczyn typowego dla gryki chwastu – rzodkwi świrzepy (*Raphanus raphanistrum* L.), zwanego także łopuchą, o której wspomina Adam Mickiewicz w wyżej wymienionym narodowym poemacie pisząc: „…gdzie bursztynowy świerzop, …" Uciążliwość tego zanieczyszczenia objawia się w niskiej skuteczności i wydajności poomłotowego procesu czyszczenia nasion, w tym również z zastosowaniem tryjerów.

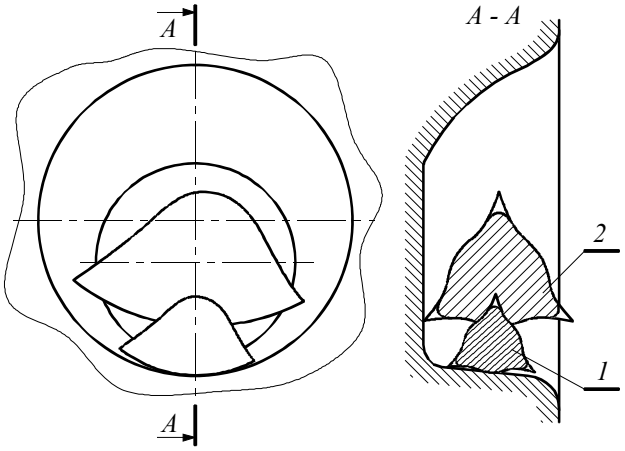
Z prowadzonych od wielu lat badań nad efektywnością czyszczenia nasion gryki wynika, że stosowane tradycyjne maszyny czyszczące charakteryzują się niską zdolnością rozdzielczą. Jest to skutkiem z jednej strony dużego podobieństwa wykorzystywanych w procesie rozdzielania cech nasion (podstawowe wymiary i zespół cech aerodynamicznych), a z drugiej – nie wykorzystania w dostateczny sposób takiej cechy rozdzielczej, jaką jest kształt rozdzielanych składników mieszaniny [Kaliniewicz i in. 1994; Konopka 1995; Rawa 1992; Rawa, Wierzbicki 1989, Semczyszyn 1989; 1990; Semczyszyn, Fornal 1990].

2. Nowe rozwiązania tryjerów do gryki

Badania prowadzone od ponad 20 lat w ośrodku olsztyńskim dotyczą doskonalenia techniki i technologii procesu czyszczenia gryki. W celu poprawy skuteczności czyszczenia nasion gryki postanowiono lepiej wykorzystać ich specyficzny, trójgraniasty kształt i walcowaty lub baryłkowaty kształt większości zanieczyszczeń, w tym łuszczyn rzodkwi świrzepy [Kaliniewicz 2000; Konopka 1995; Rawa 1989; 1992; Rawa, Kaliniewicz 1996; Semczyszyn 1986]. Uwagę skupiono na stosowanych powszechnie w praktyce tryjerach cylindrycznych o stosunkowo dobrej, chociaż niezadowalającej, skuteczności czyszczenia [Kaliniewicz i in. 2002].

Z badań [Kaliniewicz, Rawa 1994; Rawa 1989; Rawa, Kaliniewicz 1996] wynika, że wgłębienia tradycyjnych tryjerów pod względem kształtu i wymiarów nie

są przystosowane do czyszczenia nasion gryki, co jednoznacznie widać z rysunku 1. Przyjęto, że dostosowanie kształtu i wymiarów wgłębień do kształtu i wymiarów nasion gryki, wpłynie na poprawę skuteczności procesu rozdzielczego.

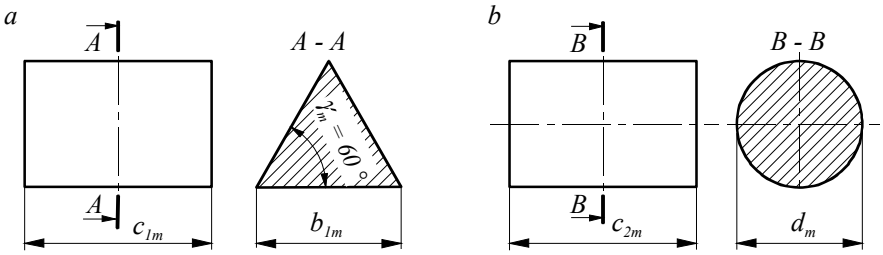


Rys. 1. Kształt wgłębień klasycznych tryjerów w świetle kształtu nasion gryki o wymiarach: *1* – najmniejszych, *2* – największych

Kształt i wymiary wgłębienia wyznaczono w oparciu o model nasiona gryki, tj. o model tego nasiona, które w wyniku ruchu obrotowego cylindra tryjera powinno być skutecznie wyczerpywane wgłębieniami z mieszaniny, unoszone i wrzucane do rynienki.

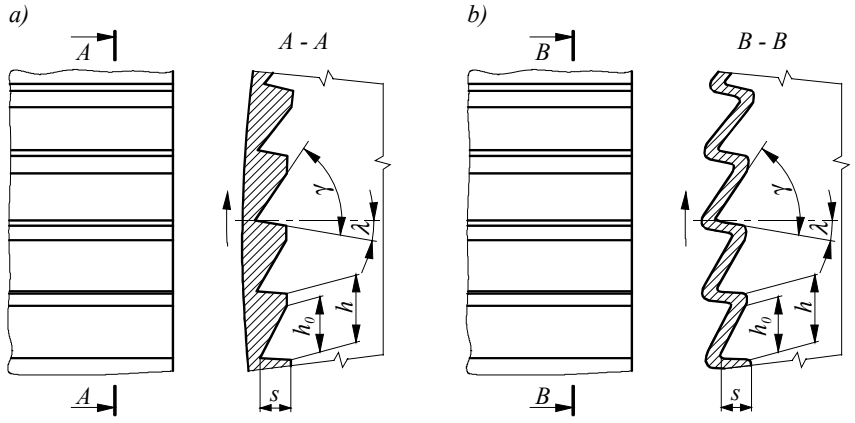
Rozwiązaniem problemu technicznego są dwa rodzaje tryjerów: pierwszy, z wgłębieniami rowkowymi, i drugi, z wgłębieniami kieszonkowymi.

2.1. Tryjer z wgłębieniami rowkowymi



Rys. 2. Modele geometryczne rozdzielanych składników i ich przekroje poprzeczne: a – nasiono gryki, b – segment łuszczyny rzodkwi świrzepy

W rozwiązaniu tryjera, wykorzystującym tylko różnice w kształcie i wymiarach nasion w ich środkowym przekroju poprzecznym, za geometryczny model nasion gryki przyjęto graniastosłup prawidłowy o podstawie trójkąta, a za model segmentu łuszczyny rzodkwi świrzepy – walec (rys. 2) [Rawa 1992]. W cylindrze tryjera zaprojektowano szereg ciągłych rowków biegnących wzdłuż tworzącej cylindra (rys. 3a). Każdy rowek składa się z dwóch płaszczyzn nachylonych względem siebie pod kątem γ=60˚, odpowiadającym kątowi wierzchołkowemu przekroju poprzecznego ziaren gryki. Przyjęto, że kąt λ nachylenia podstawy względem promienia cylindra będzie równy lub nieznacznie większy od zera.



Rys. 3. Wycinki cylindrów z wgłębieniami rowkowymi: a) wersja eksperymentalna, b) wersja użytkowa; h – rozstaw wgłębień, h_0 – wysokość wgłębienia, s – głębokość wgłębienia, γ – kąt zarysu wgłębienia, λ – kąt pochylenia podstawy wgłębienia

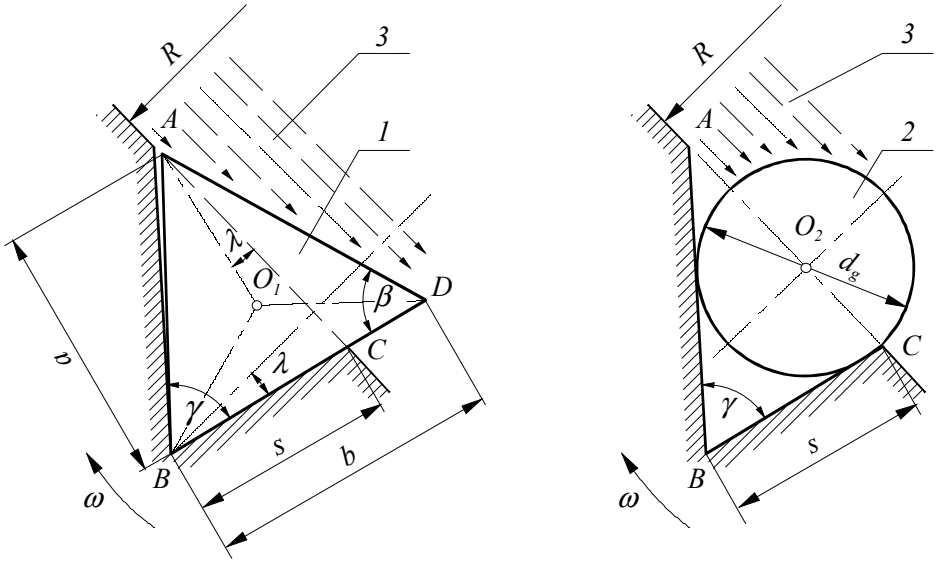
Obracający się cylinder powoduje, że rowki przesuwające się pod warstwą znajdującej się w nim mieszaniny napełniają się nasionami gryki, a po części również łuszczynami rzodkwi świrzepy. Do stref wypadania będą unoszone tylko te, które zapadły w rowek dostatecznie głęboko, a co najmniej tak, jak pokazano na rysunku 4.

Szerokość podstawy rowka s zapewniająca napełnianie wgłębień nasionami gryki z całego zakresu ich grubości od a_{min} do a_{max} można obliczyć z zależności:

$$s \geq a_{max}(\mathrm{ctg}\beta + \mathrm{tg}\,\lambda) \tag{1}$$

Segment łuszczyny rzodkwi świrzepy, którego środek geometryczny O_2 leży na granicy AC pola przekroju rowka, znajduje się w położeniu krytycznym, a jego średnicę dla tego przypadku oznaczono d_g. Tę sytuację opisuje zależność:

$$s = \frac{d_g}{2}\left(\mathrm{ctg}\frac{\gamma}{2} + \mathrm{tg}\,\lambda\right) \tag{2}$$



Rys. 4. Warunki napełniania rowków nasionami gryki 1 i łuszczynami rzodkwi świrzepy 2 przy wygarniającym działaniu mieszaniny 3

Zakładając, że szerokość podstawy rowka:

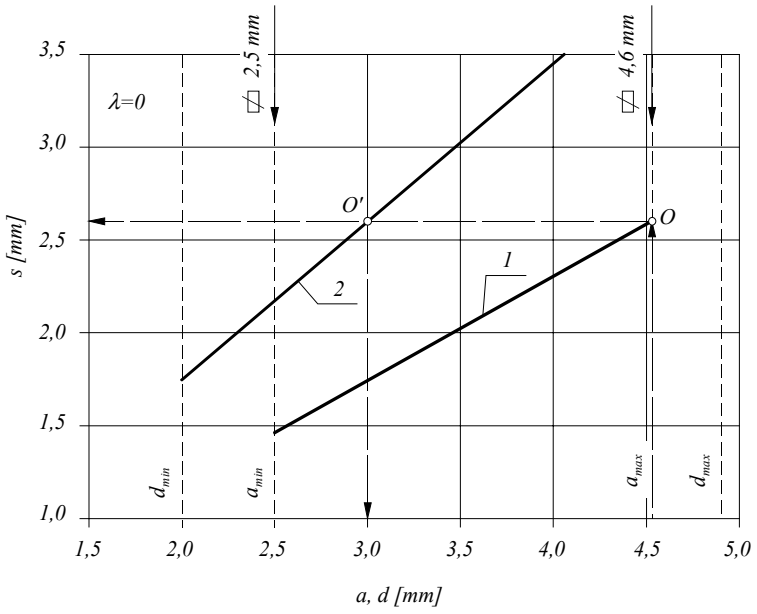
$$s = a_{max}(\mathrm{ctg}\beta + \mathrm{tg}\,\lambda) \tag{3}$$

i przyrównując ją do zależności (2) otrzymano:

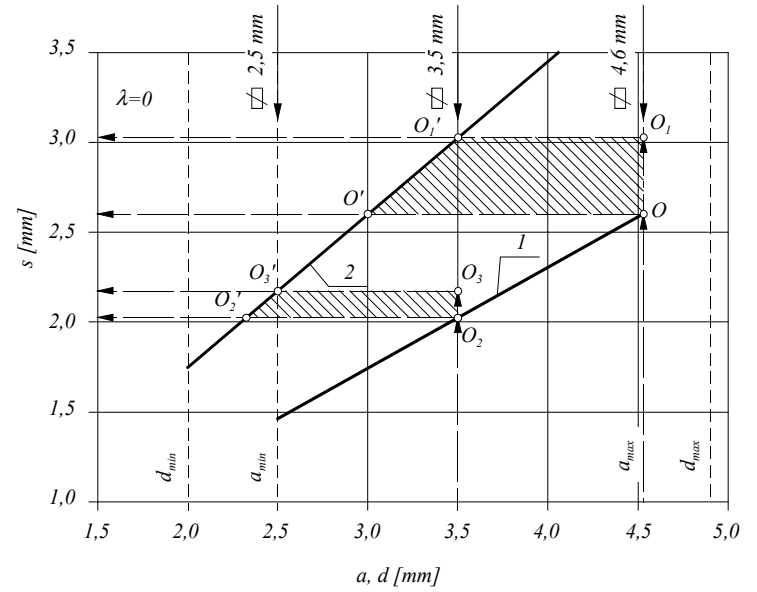
$$d_g = \frac{2a_{max}(\mathrm{ctg}\beta + \mathrm{tg}\,\lambda)}{\left(\mathrm{ctg}\frac{\gamma}{2} + \mathrm{tg}\,\lambda\right)} \tag{4}$$

Łuszczyny o średnicy $d>d_g$ pozostaną na dnie cylindra, zaś łuszczyny o średnicy $d\leq d_g$ zostaną zabrane i uniesione rowkami wraz z nasionami gryki. Korzystając z powyższych zależności i danych empirycznych sporządzono nomogram (rys. 5), który pozwala na wyznaczenie parametrów realizacji procesu rozdzielczego.

Przyjmijmy, że mieszanina zawierająca cały zakres grubości nasion gryki (od a_{min} do a_{max}) i cały zakres średnicy fragmentów łuszczyn rzodkwi świrzepy (od d_{min} do d_{max}) będzie rozdzielana przy kącie pochylenia podstawy rowków λ=0°. W tym przypadku punkt 0 wyznacza na osi rzędnych niezbędną do wyczerpywania z masy nasion gryki o grubości a_{max} szerokość s podstawy rowka, równą 2,6 mm. Z kolei punkt 0', wyznacza na osi odciętych krytyczną wartość d_g średnicy łuszczyn rzodkwi świrzepy, zgodnie z zależnością (4). Jak wynika z nomogramu przy s=2,6 mm wraz z nasionami gryki będą unoszone we wgłębieniach również łuszczyny rzodkwi świrzepy o średnicy $d\leq$3 mm.



Rys. 5. Wyznaczanie parametrów procesu rozdzielania mieszaniny gryki 1 i łuszczyn rzodkwi świrzepy 2 za pomocą sit i tryjera z wgłębieniami rowkowymi – wariant realizacji I

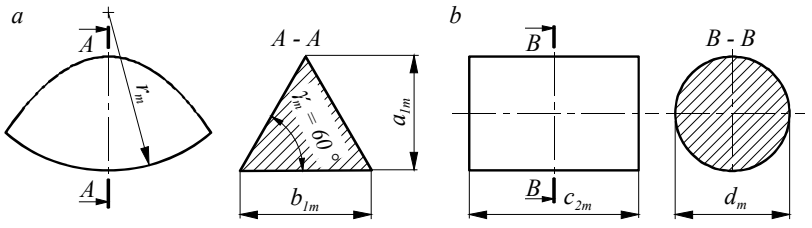


Rys. 6. Wyznaczanie parametrów procesu rozdzielania mieszaniny gryki 1 i łuszczyn rzodkwi świrzepy 2 za pomocą sit i tryjera z wgłębieniami rowkowymi – wariant realizacji II

Znacznie lepsze efekty będzie można uzyskać w sytuacji podziału mieszaniny za pomocą sit z otworami podłużnymi na frakcje, dostosowując do każdej z nich cylinder z odpowiednią głębokością wgłębień. I tak np. stosując dwa sita z otworami podłużnymi o szerokości otworów 2,5 i 3,5 mm uzyska się trzy frakcje wymiarowe (rys. 6). Zastosowanie sita o szerokości otworów 2,5 mm pozwoli na wydzielenie z mieszaniny łuszczyn rzodkwi świrzepy o średnicy $d \leq a_{min}$ jeszcze przed procesem tryjerowania. Pozostałe dwie frakcje, tj. pozostałość na sicie o szerokości 2,5 mm i pozostałość na sicie o szerokości otworów 3,5 mm, może być w pełni skutecznie rozdzielona (bez czerpania wgłębieniami łuszczyn rzodkwi świrzepy) w tryjerach o parametrach rowków odpowiednio: s=2,0÷2,2 mm oraz s=2,6÷3,0 mm. Trzeba dodać, że zarówno w I, jak i II wariancie realizacji procesu czyszczenia nasion gryki w tryjerach najpierw należy oddzielić na sitach z otworami podłużnymi segmenty łuszczyn rzodkwi świrzepy o $d \leq a_{min}$ i $d \geq a_{max}$.

2.2. Tryjer z wgłębieniami kieszonkowymi

W rozwiązaniu przedstawionym w pkt. 2.1 wykorzystano cechę rozdzielczą, jaką jest kształt przekroju poprzecznego i wynikające z niego dwa podstawowe wymiary – grubość i szerokość rozdzielanych składników mieszaniny. Łatwo zauważyć, że nasiona gryki i łuszczyny rzodkwi świrzepy różnią się także długością i kształtem przekroju podłużnego. Wychodząc z trójgraniastego kształtu nasiona gryki za jego model geometryczny przyjęto symetryczną trójścienną bryłę o wysokości (grubości) a_{1m}, szerokości b_{1m} i długości c_{1m} oraz o jednakowym promieniu r_m zaokrąglenia wszystkich trzech, schodzących się ze sobą ścian (rys. 7) [Kaliniewicz 2000].



Rys. 7. Modele geometryczne rozdzielanych składników i ich przekroje poprzeczne: a – nasiono gryki, b – segment łuszczyny rzodkwi świrzepy

Środkowy przekrój poprzeczny tej bryły jest trójkątem równobocznym o wysokości:

$$a_{1m} = \frac{b_{1m} \operatorname{tg}\gamma_m}{2} \approx 0{,}866 b_{1m} \tag{5}$$

Podstawowe parametry modelu nasion gryki są ze sobą w ścisłym związku, wyrażonym poniższą zależnością:

$$c_{1m} = \sqrt{\frac{4}{3} b_{1m} \cdot r_m \cdot \mathrm{tg}\gamma_m - \frac{1}{9} b_{1m}^2 \cdot \mathrm{tg}^2\gamma_m} \approx \sqrt{2{,}309 b_{1m} \cdot r_m - 0{,}333 b_{1m}^2} \tag{6}$$

Za model geometryczny segmentu łuszczyny rzodkwi świrzepy przyjęto walec o średnicy d_m i długości c_{2m}.

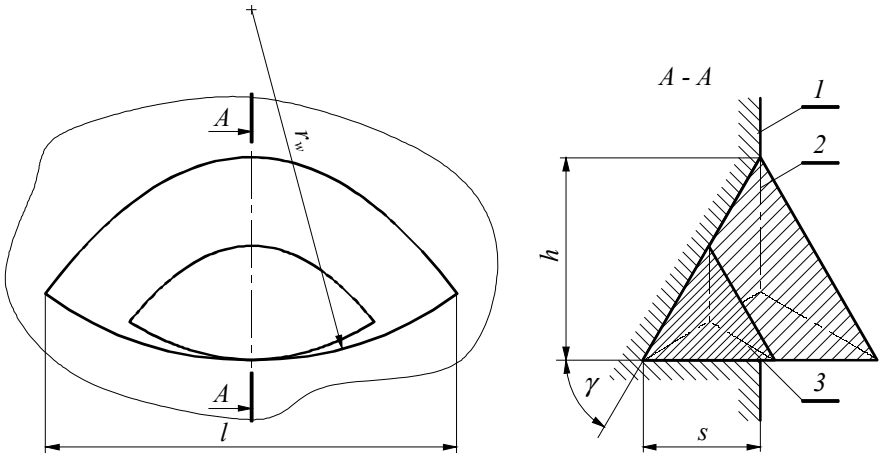
W podstawowej wersji wgłębienia (rys. 8) przyjęto, że jego kształt i wymiary będą prostym odwzorowaniem przepołowionego wzdłuż modelu nasiona o wymiarach odpowiadających maksymalnym wymiarom nasion gryki, a więc:

$$r_w = r_m = r_{max} \tag{7}$$

$$s = \frac{b_{1m}}{2} = \frac{b_{1max}}{2} \tag{8}$$

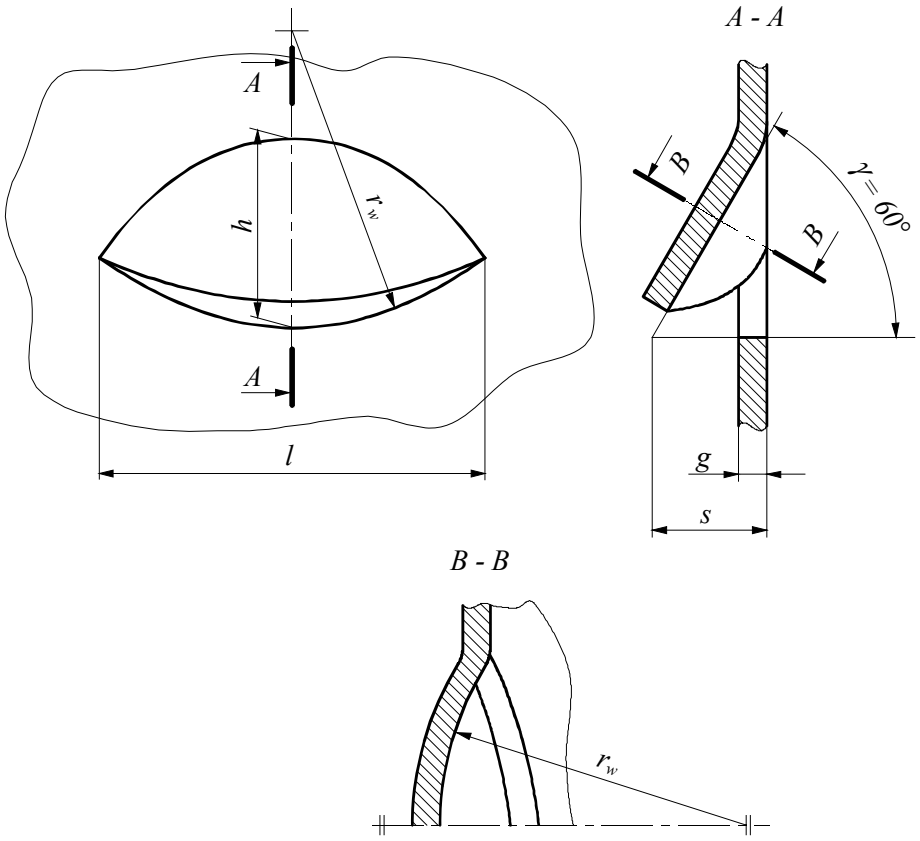
$$h = a_{1m} > a_{1max} \tag{9}$$

$$l = c_{1m} > c_{1max} \tag{10}$$



Rys. 8. Model wgłębienia kieszonkowego: *1* – cylinder tryjera, *2* – nasiono największe, *3* – nasiono najmniejsze

Kąt γ nachylenia ścianki względem podstawy wgłębienia przyjęto jako równy kątowi wierzchołkowemu γ_m modelu i średniemu kątowi wierzchołkowemu rzeczywistego nasiona.

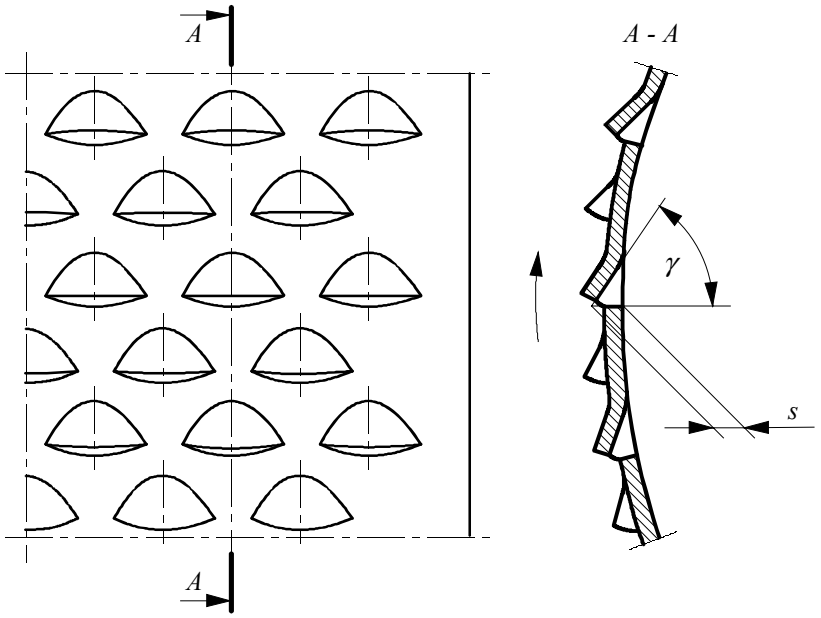


Rys. 9. Kształt i podstawowe parametry wgłębienia kieszonkowego

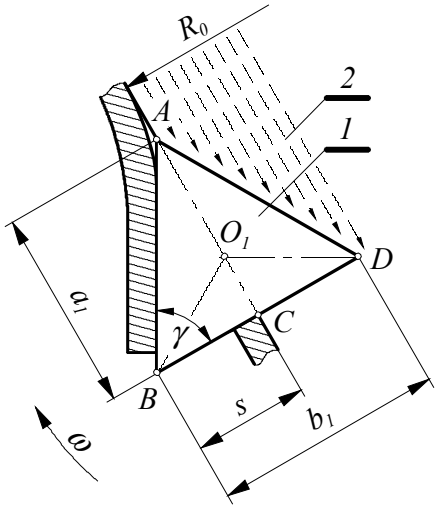
Wgłębienie (rys. 9) ma postać kieszonki jednostronnej ze szczeliną, która jest wynikiem przyjętej technologii ich wykonania [Kaliniewicz, Rawa 1999]. Wycinek cylindra tryjera z wgłębieniami w postaci kieszonek jednostronnych przedstawiono na rysunku 10.

Warunek napełniania wgłębień nasionami gryki (rys. 11) jest spełniony gdy:

$$s \geq a_1 \operatorname{ctg}\gamma = \frac{b_1}{2} \tag{11}$$



Rys. 10. Wycinek cylindra tryjera z wgłębieniami kieszonkowymi: *s* – głębokość wgłębienia, *γ* – kąt zarysu wgłębienia



Rys. 11. Krytyczne (graniczne) położenie we wgłębieniu nasion gryki: *1* – nasiono gryki, *2* – kierunek ruchu warstwy mieszaniny ziarnistej podczas obrotu cylindra

Krytyczne (graniczne) położenie łuszczyn rzodkwi świrzepy we wgłębieniu przedstawiono na rysunku 12. Ze względu na zaokrąglenia ścian wgłębienia łuszczyna podparta jest w czterech punktach, znajdujących się na obwodzie podstaw walca. Tworząca walca znajduje się w pewnym oddaleniu od obydwu ścian wgłębienia. Odległości te w przekroju środkowym wgłębienia można wyznaczyć z następującej zależności:

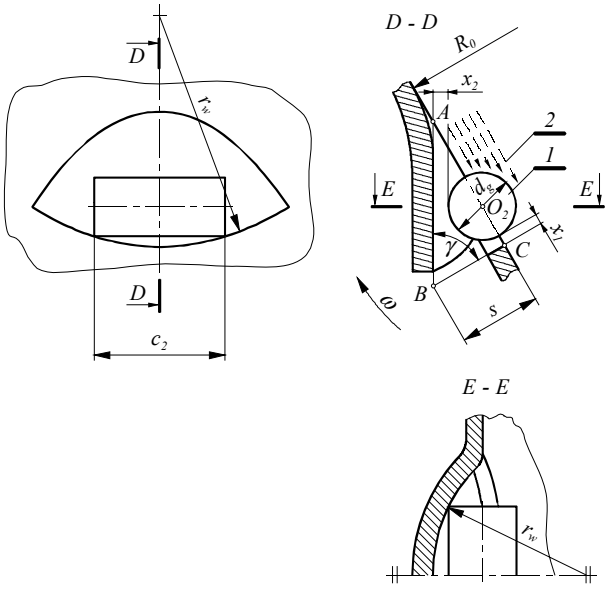
$$x_1 = x_2 = r_w - \sqrt{r_w^2 - \frac{c_2^2}{4}} \tag{12}$$

z warunkiem, że:

$$r_w \geq \frac{c_2}{2} \tag{13}$$

W krytycznym położeniu segmentu łuszczyny rzodkwi świrzepy jej średnica wynosi:

$$d_g = \frac{2(s \cdot \sin\gamma - x_1 \cdot \cos\gamma - x_2)}{1 + \cos\gamma} \tag{14}$$



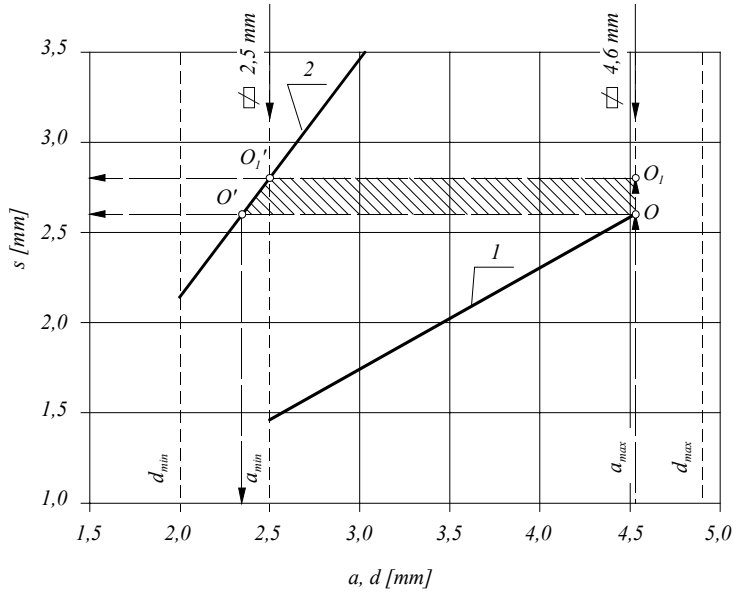
Rys. 12. Krytyczne (graniczne) położenie we wgłębieniu łuszczyn rzodkwi świrzepy: *1* – łuszczyna rzodkwi świrzepy, *2* – kierunek ruchu warstwy mieszaniny ziarnistej podczas obrotu cylindra

W założeniu rozdzielania mieszaniny jest pozostawanie łuszczyn rzodkwi świrzepy w cylindrze. W związku z tym korzystając ze wzorów (12) i (14) sformułowano warunek nie czerpania łuszczyn:

$$d > 2\left(\frac{s \cdot \sin\gamma}{1+\cos\gamma} - r_w + \sqrt{r_w^2 - \frac{c_2^2}{4}}\right) \tag{15}$$

W nierównościowej zależności (15) występuje pięć parametrów, z których dwa są czynnikami zmiennymi: średnica d i długość c_2 łuszczyn rzodkwi świrzepy (kąt γ i promień r_w stanowią stałe parametry konstrukcyjne, a głębokość s wgłębienia można także sprowadzić do stałej, której konkretna wartość wynika z warunku (12). W tej sytuacji, aby sprowadzić zależność (15) do zależności z jedną zmienną, konieczne stało się wyznaczenie empirycznej zależności między długością a średnicą łuszczyn rzodkwi świrzepy. Testowanie wielu funkcji wykazało, że najlepsze dopasowanie do danych empirycznych uzyskano dla zależności hiperbolicznej [Kaliniewicz 2000], wyrażonej wzorem:

$$c_2 = 8{,}50 + \frac{9{,}44}{d} \tag{16}$$



Rys. 13. Wyznaczanie parametrów procesu rozdzielania mieszaniny nasion gryki 1 i łuszczynami rzodkwi świrzepy 2 za pomocą sit i tryjera z wgłębieniami kieszonkowymi

Z nomogramu przedstawionego na rysunku 13 można odczytać, że wyznaczona na podstawie maksymalnej grubości a_{max} nasion gryki głębokość wgłębień tryjera s=2,6 mm nie zapewnia oddzielenia najdrobniejszych łuszczyn rzodkwi świrzepy o d<2,3 mm. Zastosowanie jednak we wstępnym etapie czyszczenia przesiewacza z sitami o otworach podłużnych, z parametrami jak na rysunku 13, pozwoli na oddzielenie od gryki frakcji pod- i nadwymiarowej. Frakcję nasion i łuszczyn o grubości (średnicy) od 2,5 do 4,6 mm będzie można z powodzeniem rozdzielić w tryjerze z wgłębieniami kieszonkowymi o głębokości s=2,6÷2,8 mm.

3. Zakończenie

Opracowane dwa nomogramy, jeden dla tryjera z wgłębieniami rowkowymi i drugi dla tryjera z wgłębieniami kieszonkowymi mogą być wykorzystane w praktyce do wyznaczania parametrów procesu czyszczenia nasion gryki. Zastosowanie do czyszczenia nasion gryki, w pierwszym etapie czyszczenia przesiewaczy sitowych, a w drugim etapie któregokolwiek z dwóch rozwiązań tryjerów pozwala na skuteczne oddzielenie łuszczyn rzodkwi świrzepy.

Próba wykorzystania tryjera z wgłębieniami kieszonkowymi do wydzielania ziarniaków zbóż wykazała, że najbardziej przydatny do tego celu jest cylinder z wgłębieniami o głębokości 2,4 mm. Pozwala on uzyskać skuteczność wydzielania ziarniaków zbóż na poziomie 83%, przy stratach nasion gryki nie przekraczających 5% [Kaliniewicz 2008]. Dzieląc jednak mieszaninę na frakcje i stosując więcej niż jeden cylinder można uzyskać niemal pełną skuteczność procesu czyszczenia.

W uzupełnieniu należy dodać, że wydajność 1 m^2 powierzchni roboczej klasycznego tryjera przy czyszczeniu nasion gryki wynosi ok. 170 $kg \cdot h^{-1}$ [Grochowicz 1994]. Stosując tryjer z wgłębieniami kieszonkowymi można uzyskać podobną wydajność [Kaliniewicz 2000]. Z kolei stosując tryjer z wgłębieniami rowkowymi można uzyskać ok. 2-krotnie większą wydajność – ok. 300 $kg \cdot h^{-1}$ – niż w tryjerze klasycznym [Rawa 2000].

Bibliografia

Grochowicz J. 1994. Maszyny do czyszczenia i sortowania nasion. Wyd. AR. Lublin.

Kaliniewicz Z. 2000. Modelowanie tryjerów z wgłębieniami kieszonkowymi w aspekcie poprawy skuteczności czyszczenia nasion gryki. Politechnika Warszawska w Płocku (praca doktorska).

Kaliniewicz Z. 2008. Analysis of the efficiency of cereal grain and buckwheat nutlet separation in a grader with indented pockets. Technical Sciences. Nr 11.

Kaliniewicz Z., Konopka S., Rawa T. 1994. Problemy czyszczenia ziarna gryki. Materiały III Ogólnopolskiej i II Międzynarodowej Konferencji Naukowej nt. „Rozwój teorii i technologii w technicznej modernizacji rolnictwa". Olsztyn.

Kaliniewicz Z., Konopka S., Rawa T., Wierzbicki S. 2002. Propozycje nowych maszyn do czyszczenia ziarna gryki. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. Nr 486.

Kaliniewicz Z., Rawa T. 1994. Analiza parametrów geometrycznych wgłębień tryjerów w aspekcie cech fizycznych ziaren gryki. Materiały VI Sympozjum im. prof. Cz. Kanafojskiego nt. „Problemy budowy oraz eksploatacji maszyn i urządzeń rolniczych". Płock.

Kaliniewicz Z., Rawa T. 1999. Cylinder tryjera do czyszczenia nasion gryki. Uniwersytet Warmińsko-Mazurski. Olsztyn-Kortowo. Polska. Opis patentowy, PL 187945 B1. Zgłosz. P. 334598. z 23.07.1999. Opubl. 30.11.2004.

Konopka S. 1995. Skuteczność czyszczenia gryki przeznaczonej do siewu i przetwórstwa. ART Olsztyn (praca doktorska).

Rawa T. 1989. Możliwości wykorzystania kształtu ziaren w czyszczeniu gryki za pomocą cylindrycznych elementów rozdzielających. Materiały II Ogólnopolskiej i I Międzynarodowej Konferencji Naukowej pt. „Rozwój teorii i technologii w technicznej modernizacji rolnictwa", ART Olsztyn. Referaty IV/2.

Rawa T. 1992. Studia nad skutecznością czyszczenia ziarna gryki. Acta Acad. Agricult., Techn. Olst. Aedif. Mech. Nr 22 (Supplementum A).

Rawa T. 2000. Rozważania nad wydajnością specjalnych tryjerów do gryki. Problemy Inżynierii Rolniczej. Nr 2. Warszawa.

Rawa T., Kaliniewicz Z. 1996. Badania nad doskonaleniem procesu i technologii czyszczenia nasion gryki. Materiały konferencyjne „Doskonalenie techniki i technologii w przemyśle i rolnictwie", Wydział Mechaniczny ART. Olsztyn.

Rawa T., Wierzbicki K. 1989. Analiza możliwości oczyszczania ziarna gryki z łuszczynami rzodkwi świrzepy za pomocą sit i tryjera. Acta Acad. Agricult., Techn. Olst. Aedif. Mech. Nr 19.

Semczyszyn M. 1986. Badania wykorzystania kształtu gryki do oddzielania zanieczyszczeń przy zastosowaniu lepko-sprężystego elementu roboczego. ART Olsztyn (praca doktorska).

Semczyszyn M. 1989. Stan i perspektywy rozwoju maszyn do czyszczenia gryki. Materiały II Ogólnopolskiej i I Międzynarodowej Konferencji Naukowej pt. „Rozwój teorii i technologii w technicznej modernizacji rolnictwa". ART Olsztyn.

Semczyszyn M. 1990. Analiza skuteczności pracy urządzeń czyszczących stosowanych w liniach technologicznych czyszczenia ziaren gryki. III. Badania geometrycznych i aerodynamicznych cech rozdzielczych. Acta Acad. Agricult. Techn. Olst., Aedif. Mech. Nr 21.

Semczyszyn M., Fornal Ł. 1990. Analiza skuteczności pracy urządzeń czyszczących stosowanych liniach technologicznych czyszczenia ziarna gryki. II. Wyniki badań jakości pracy urządzeń czyszczących. Acta Acad. Agricult., Techn. Olst. Aedif. Mech. Nr 21.

www.stat.gov.pl – strona internetowa Głównego Urzędu Statystycznego, Portal Informacyjny, dostęp on-line 2.02.2011 r.

METODY I TECHNIKI KOMPUTEROWE WSPOMAGAJĄCE PROCES PROJEKTOWANIA I WYTWARZANIA MASZYN ROLNICZYCH

Jan Szczepaniak

Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych w Poznaniu
e-mail: janek@pimr.poznan.pl

Wprowadzenie

Istniejące trendy światowego rozwoju maszyn rolniczych, bazują na stosowaniu dużych, wydajnych i uniwersalnych maszyn gwarantujących wysoką wydajność, jakość, bezpieczeństwo i komfort pracy. Wymagania te wymuszają konieczność stosowania zaawansowanych metod wspomagania komputerowego podczas projektowania ich konstrukcji. Rozwój metod komputerowo wspomaganego projektowania, które wykorzystują interdyscyplinarną wiedzę w celu rozwiązania zagadnień problemowych jest nieunikniony i pożądany. Pojawiły się i spopularyzowane zostały nowe terminy takie jak CAD (z ang. Computer Aided Design), CAM (Computer Aided Manufacturing), CAE (Computer Aided Engineering), które w integralny sposób wspomagają procesy projektowania, wytwarzania i badań. Łatwość wymiany danych między tymi systemami sprawia, że możliwe jest efektywne analizowanie różnych wariantów konstrukcyjnych. Łatwy i szybki dostęp do wielu informacji, trudnych do uzyskania innymi metodami, znacznie skracających proces projektowania Wykorzystanie systemów komputerowych pozwala na proste i szybkie uzyskanie informacji na temat obciążeń występujących w układach mechanicznych, bez uciążliwych obliczeń analitycznych oraz dokonywania kosztownych i długotrwałych badań stanowiskowych, chociaż te drugie najczęściej wykorzystywane są do weryfikacji i walidacji modeli komputerowych. Istnieje ponadto możliwość przeprowadzenia obliczeń optymalizacyjnych, które już na etapie projektowania pozwalają wprowadzić istotne zmiany konstrukcyjne. Techniki wspomagania komputerowego prac inżynierskich, dają zatem konkretne korzyści pomimo wysokich kosztów ich wdrażania i konieczności zatrudniania wykwalifikowanego personelu naukowego.

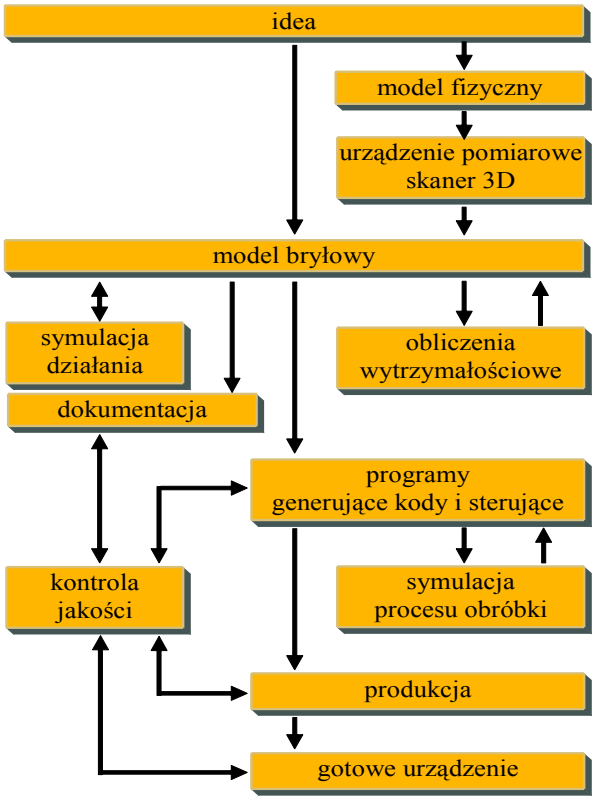
Prace projektowe wspomagane techniką komputerową mogą być prowadzone w sposób mniej lub bardziej szczegółowy. Pierwszy z nich bazuje najczęściej na

założeniach konstrukcyjnych i prowadzi do budowy prototypu z wykorzystaniem uproszczonej dokumentacji konstrukcyjnej. Realizacja tych prac przebiega według następujących etapów:

1. Opracowanie założeń techniczno-ekonomicznych na podstawie istniejących rozwiązań
   i zastrzeżeń patentowych;
2. Opracowanie projektu wstępnego: ustalenie parametrów roboczych, wstępne obliczenia wytrzymałościowe, ustalenie wymiarów głównych części;
3. Opracowanie projektu wstępnego do budowy prototypu, w tym:
   - projektowanie części i zespołów, ustalenia materiałów, kształtów i technologii wykonania,
   - analityczne lub wspomagane komputerowo obliczenia wytrzymałościowe sprawdzające,
   - dokumentacja konstrukcyjna: rysunki złożeniowe, dokumentacja obliczeniowa, wykaz części i zespołów, wykaz części i zespołów znormalizowanych, instrukcja montażu, instrukcja obsługi,
4. Wykonanie prototypu i jego badania eksploatacyjne i funkcjonalne, weryfikacja doboru parametrów,
5. Opracowanie dokumentacji konstrukcyjnej do produkcji.

Drugi sposób projektowania - bardziej szczegółowego - polega na tym, że na każdym etapie prowadzonego projektu stosowane jest odpowiednie oprogramowanie komputerowe, które w istotny sposób skraca czas pracy projektanta i podnosi jego jakość. Na rys. 1 przedstawiony został schemat zastosowania zaawansowanego oprogramowania w procesie projektowania od idei nowego produktu aż do otrzymania gotowego urządzenia.

Pierwotna koncepcja projektu przedstawiana jest w postaci graficznej (model bryłowy 3D) - służy do tego moduł CAD. Opracowane i opisane warunkami brzegowymi modele bryłowe, uruchamiane są w procesie symulacji komputerowej dla celów sprawdzenia poprawności jego działania w zakresie funkcjonalnym i kinematycznym (symulacje kinematyczne) a także generowane są wymuszenia we wskazanych węzłach kinematycznych dla potrzeb wyznaczenia funkcji obciążeń dla prowadzenia obliczeń wytrzymałościowych i optymalizacji. Po korektach i uzyskaniu zadowalających wyników dane o produkcie przesyłane są do programu CAM, generującego kody i sterującego obrabiarkami CNC (Computer Numerical Control). W efekcie na obrabiarce powstaje gotowe urządzenie. Analizując schemat należy zwrócić uwagę na pętle oznaczające możliwość wielokrotnej korekty własności opracowywanego produktu. Zaletą opisywanego procesu jest jednak to, że korekty te są w znacznej mierze wykonywane za pomocą modeli wirtualnych, przed budową kosztownego prototypu. Dotyczy to także samego wytwarzania na obrabiarce, bo i ten proces może być efektywnie symulowany.



Źródło: [Białek, Szczepaniak, Pawłowski 1994]

Rys. 1. Schemat zastosowania zaawansowanego oprogramowania wspomagającego prace inżynierskie w procesie projektowania

Systemy CAD/CAM oferują wiele możliwości oddziaływania na model wirtualny, w tym:

- tworzenie parametrycznego modelu bryłowego: generowanie rysunków i prezentacji, zapisanie wielu wariantów w bazach danych,
- zarządzanie i współdzielenie modeli, wyników i informacji o projekcie; zarządzanie prawami dostępu i kontrola wersji modeli,
- przeprowadzenie symulacji kinematycznych,
- przeprowadzenie analizy wytrzymałościowej metodami MES,
- wygenerowanie kodów sterujących obrabiarkami CNC (frezarki, tokarki, drążarki elektroerozyjne, wiertarki),
- szybkie wytwarzanie modeli i narzędzi,
- wykonywanie operacji kontrolno-pomiarowych,
- zarządzanie dokumentacją techniczną.

Obecnie dostępnych jest bardzo wiele systemów wspomagających projektowanie. Różnią się one między sobą ceną, złożonością, zakresem działania i zapotrzebowaniem na moc obliczeniową. Można je podzielić na trzy główne grupy:

A) Oprogramowanie low-range to narzędzia pełniące rolę szkicowników, nie mające możliwości projektowania bryłowego, pozwalają jedynie na wykonanie dokumentacji płaskiej. Nie wymagają silnych stanowisk roboczych. Są to programy typu Auto CAD 2D.
B) Drugą grupę stanowią programy mid-range umożliwiające wykonanie zarówno dokumentacji płaskiej, jak i modeli bryłowych. Coraz częściej możliwościami i wyglądem dorównują modułom CAD z grupy high-range. Ze względu na wymagania użytkowników ich interfejs staje się coraz bardziej intuicyjny. Dzięki łatwej wymianie danych mogą bez problemu współpracować z programami typu CAM i CAE (Computer Aided Engineering). Do grupy mid-range zaliczamy - Mechanical Desktop, Microstation, Solid Edge, Solid Works;
C) Oprogramowanie high-range to kompleksowe systemy wspomagające cały proces projektowania, symulacji, wytwarzania i kontroli jakości. Ich możliwości obejmują cały algorytm wytwarzania. Systemy te wykorzystują własne jądro modelowania, dzięki czemu nie zachodzi potrzeba konwersji plików pomiędzy poszczególnymi modułami. Do programów tego typu należą: Pro-ENGINEER, NX, CATIA, CADDS 5, DEAS. Systemy te podzielone są na funkcjonalne moduły, które można kupić oddzielnie w zależności od sposobu zorganizowania pracowni. Programy CAD/CAM z grupy high-range mają wydajniejsze jądra programowe, przez co można już uruchamiać je na szybkich komputerach klasy PC. W przypadku konieczności wykorzystania pełnych możliwości obliczeniowych, wskazane jest wykorzystanie stacji roboczych wieloprocesorowych. Jedyną wadą tego typu systemów jest ich wysoka cena.

Jedną z metod stosowanych na wczesnych etapach projektowania, przed budową prototypu, do symulacji zachowań maszyn i urządzeń jest technika *virtual prototyping* pozwalająca na budowanie trójwymiarowych modeli systemów mechanicznych oraz wizualizację ruchów modelu, zgodnych z warunkami zewnętrznymi. Umożliwia ona predykcję odpowiedzi modelu badanego układu na dowolne wymuszenia kinematyczne lub siłowe, a symulacja ruchu może odbywać się w zakresie dużych przemieszczeń, o wartościach porównywalnych z gabarytami układu. Stosowanie takich systemów umożliwia modelowanie zespołów wykonawczych z uwzględnieniem działania różnego rodzaju napędów, jak np. siłowników hydraulicznych, pneumatycznych lub silników elektrycznych. Dodatkową ich zaletą jest możliwość przygotowania danych o obciążeniach dla komputerowych systemów analiz wytrzymałościowych [Szczepaniak 2010; Frączek, Wojtyra 2008; Pawłowski, Szczepaniak 2005].

Wspomaganie projektowania w przemyśle maszyn rolniczych

Istotną cechą maszyn rolniczych jest praca w bardzo zróżnicowanych warunkach eksploatacyjnych. Są one wykorzystywane do prac transportowych na różnych podłożach, przy zbiorze różnych i różniących się między sobą roślin oraz do uprawy gleby. Poddawane są złożonym obciążeniom, których parametry zależą od wielu czynników charakteryzujących zjawiska zachodzące na styku roślina - narzędzie (zespół roboczy) i narzędzie - gleba. Maszyny rolnicze mogą być napędzane przy pomocy ciągnika za pośrednictwem wału odbioru mocy (WOM) lub mogą posiadać własne źródło energii. Mogą być również ciągnione po polu (maszyny bierne). W związku z tym, są one poddawane obciążeniom o szerokim zakresie amplitud i częstotliwości.

W społeczeństwie pokutuje przekonanie, ze maszyny rolnicze są prymitywne, proste w budowie – słowem, nie są zaawansowane technologicznie. Jednak to nie prawda. Nawet tzw. proste maszyny, typu agregaty bierne, wykazują duży stopień skomplikowania, związany z ich gabarytami. Te gabaryty są związane z rosnącą wydajnością maszyn i ciągników rolniczych. Projektując maszynę wartą tyle, co niskiej klasy samochód osobowy, trzeba zaangażować wyspecjalizowane narzędzia modelowania i analiz inżynierskich, nie mówiąc juz o konieczności wykonania badań eksperymentalnych – a na agregatach biernych technika rolnicza przecież dopiero się rozpoczyna. Wystarczy popatrzeć na współczesne ciągniki rolnicze, monumentalne kombajny zbożowe, czy zaawansowane elektronicznie systemy sterowania GPS, aby zrozumieć prawdziwą skalę problemu.

Konieczność sprostania coraz wyższym wymaganiom, nie tylko technicznym, ale i ekonomicznym sprawia, że istnieje konieczność prowadzenia szczegółowych analiz technicznych już na etapie projektowania maszyny. Narzędziami do takich analiz są systemy komputerowego wspomagania prac projektowych.

Niestety, przemysł maszyn rolniczych w Polsce jest rozdrobniony. Zakup i wdrożenie zaawansowanego, kompleksowego systemu wspomagającego projektowanie jest rozwiązaniem kosztownym, wymagającym zarówno odpowiednio przeszkolonej kadry jak i kosztownego sprzętu oraz oprogramowania, a także spełnienia wielu wymagań organizacyjnych. Oprogramowanie spełniające takie wymagania jest zatem trudno osiągalne dla wielu małych i średnich przedsiębiorstw, chociaż obecnie nikogo już nie zaskoczy zainstalowany w takiej firmie program z grupy mid-range.

Okazuje się też, że skutecznym narzędziem poprawienia jakości i skrócenia czasu projektowania – choć w mniejszym stopniu – mogą być także pojedyncze moduły lub programy należące do grupy low-range. Samo posiadanie takiego programu to jednak za mało. Inżynier, który potrafi obsłużyć interfejs programu CAE, nie zagwarantuje poprawności uzyskanych wyników. Wymagane jest do tego wieloletnie doświadczenie i wiedza, bazująca na wieloletnich badaniach eksperymentalnych – co pozwala we właściwy sposób przygotować model obliczeniowy i zinterpretować wyniki obliczeń.

W przypadku potrzeby dokonania złożonych analiz i symulacji, właściwe jest zatem skorzystanie z instytutów badawczo-naukowych. Jednym z nich jest Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych w Poznaniu, mający wieloletnie doświadczenie w badaniu maszyn rolniczych, posiadający specjalistów z doświadczeniem i wiedzą w zakresie prowadzenia symulacji i obliczeń w programach CAE. Instytut dysponuje także nowoczesnym sprzętem i oprogramowaniem komputerowym, należącymi do grup mid-range i high-range, takim jak SolidWorks, Inventor, I-DEAS czy Nastran. Umożliwiają one efektywne przeprowadzanie symulacji kinematycznych i analiz wytrzymałościowych modeli wirtualnych, a uzyskiwane wyniki są gwarantowane wiedzą bazującą na badaniach laboratoryjnych i eksploatacyjnych [www.pimr.poznan.pl].

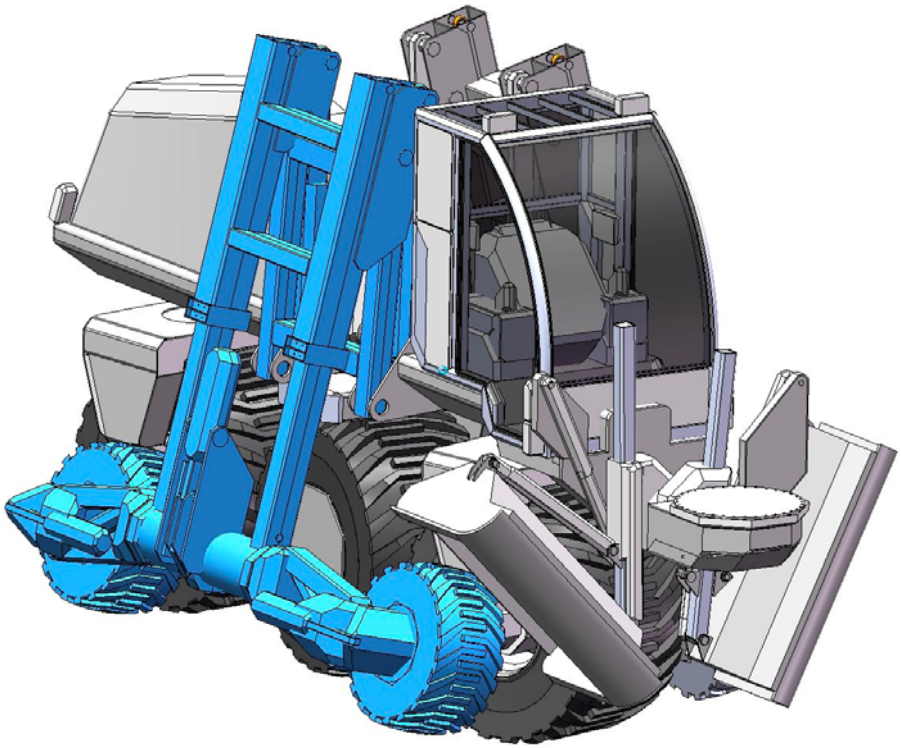
W dalszej części zostaną przedstawione przykłady symulacji komputerowych i obliczeń, przeprowadzonych w PIMR w zakresie badania maszyn rolniczych. Pozwolą one zorientować się w metodach stosowania nowoczesnych systemów wspomagania projektowania maszyn rolniczych.

Przykład symulacji dynamicznej

Urządzenie wielozadaniowe jest nietypową maszyną, przeznaczoną do wykonywania w sposób kompleksowy wielorakich zabiegów renowacji otwartych cieków wodnych. Maszyna ma złożoną budowę – oprócz wysięgnika oraz przedniego i tylnego układu zawieszenia narzędzi roboczych, posiada także zaawansowane konstrukcyjnie ramiona podporowe. Ramiona zapewniają stateczność maszynie, ponieważ jest to maszyna jednośladowa. Taka idea wynika z głównej idei nowej technologii – poruszania się maszyną w przestrzeni rowów i kanałów, szczególnie tych o szerokościach dna poniżej 2 m.

Głównym zadaniem ramion podporowych jest utrzymanie stateczności urządzenia podczas jego poruszania się w przestrzeni cieku wodnego oraz po drogach publicznych. Wspomagają one również wprowadzanie i wyprowadzanie urządzenia z rowu. Konstrukcja ramion umożliwia udźwig całego korpusu maszyny, przy zachowaniu zasięgu niezbędnego do manewrowania urządzeniem. Model koncepcyjny projektowanego urządzenia wielozadaniowego z zaznaczonymi ramionami podporowymi przedstawiono na rys. 2.

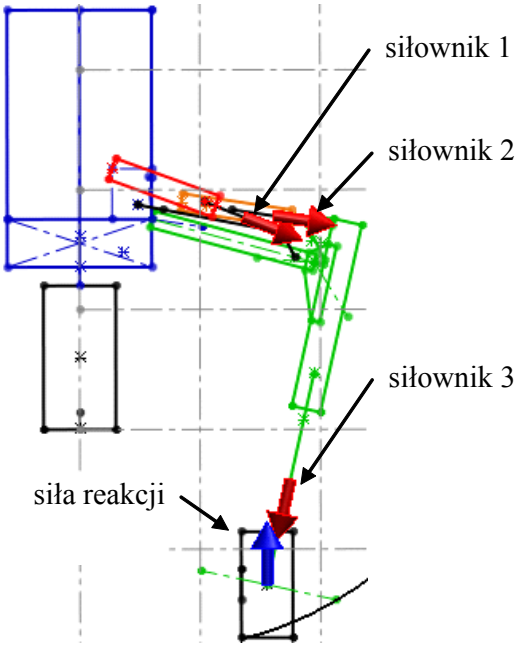
W procesie projektowania urządzenia wykorzystano najnowsze techniki modelowania i obliczeń komputerowych. W przypadku ramion podporowych wykonano symulacje kinematyczne i dynamiczne ruchu ramienia oraz obliczenia MES w zakresie statyki, z uwzględnieniem zagadnień wytrzymałości zmęczeniowej. Symulacje ruchu ramienia wykonano na modelach dwuwymiarowych i trójwymiarowych. Jednym z przykładów jest symulacja obciążenia siłowników ramienia w zależności od zasięgu roboczego i związanej z tym reakcji na końcu ramienia.



Rys. 2. Urządzenie wielozadaniowe do regeneracyjnego kształtowania otwartych cieków wodnych (kolorem niebieskim oznaczono ramię podporowe)

Symulacja obciążenia ramienia została przeprowadzona z prędkością wysuwu siłowników hydraulicznych równą 0,1 $m \cdot s^{-1}$. Prędkość ta wynikała z zaprojektowanego wydatku przepływu oleju hydraulicznego, jaki zostanie wygenerowany przez układ napędowy. Siłowniki zostały tak usytuowane, aby w maksymalny sposób wykorzystać ich pełne możliwości w całym zakresie roboczym, uwzględniając założenia konstrukcyjne oraz miejsce montażu na urządzeniu. Na rys. 3 przedstawiono widok 2D modelu kinematycznego ramienia wraz z siłownikami.

W prezentowanym przypadku zagadnienie ruchu ramienia podporowego było dwuwymiarowe – stąd model kinematyczny tez był dwuwymiarowy. Są to nowe możliwości modelowania kinematycznego, dostępne w systemie CAD. Zaletą takich uproszczonych modeli obliczeniowych jest szybkość budowania modelu. Także same obliczenia zajmują niewiele czasu i odbywają się praktycznie w czasie rzeczywistym. Jest to ogromna zaleta, w stosunku do systemów bazujących na modelach trójwymiarowych (ADAMS, I-DEAS, Inventor).

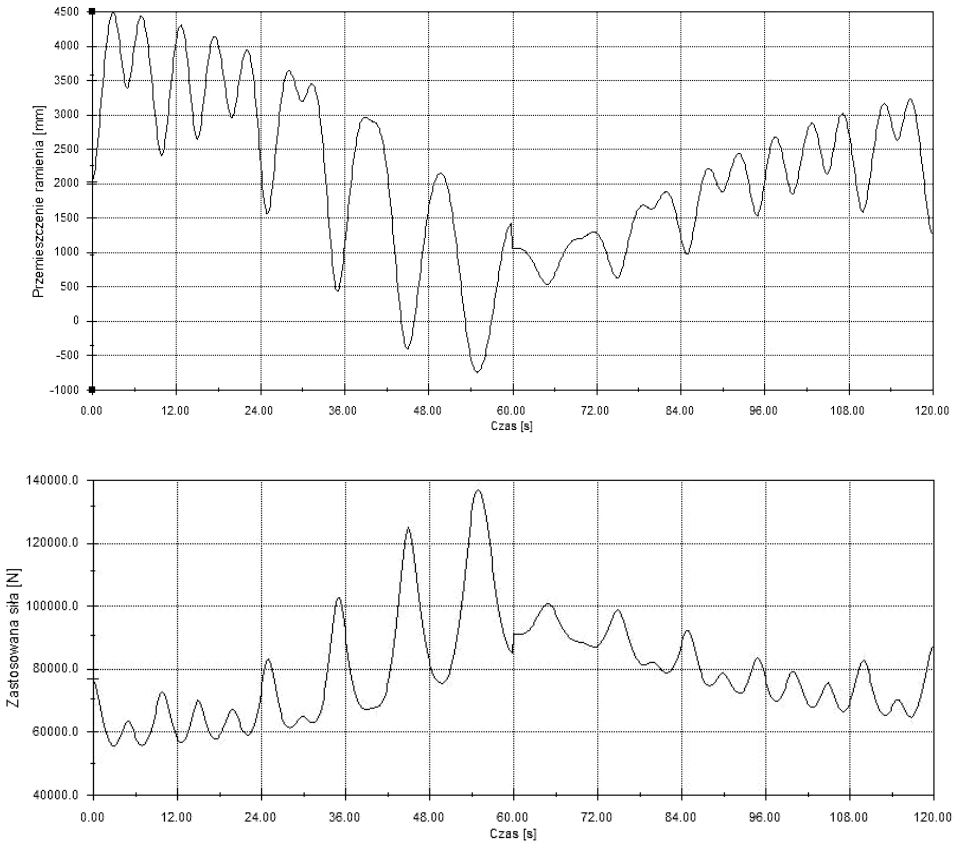


Rys. 3. Widok 2D modelu kinematycznego ramienia podporowego

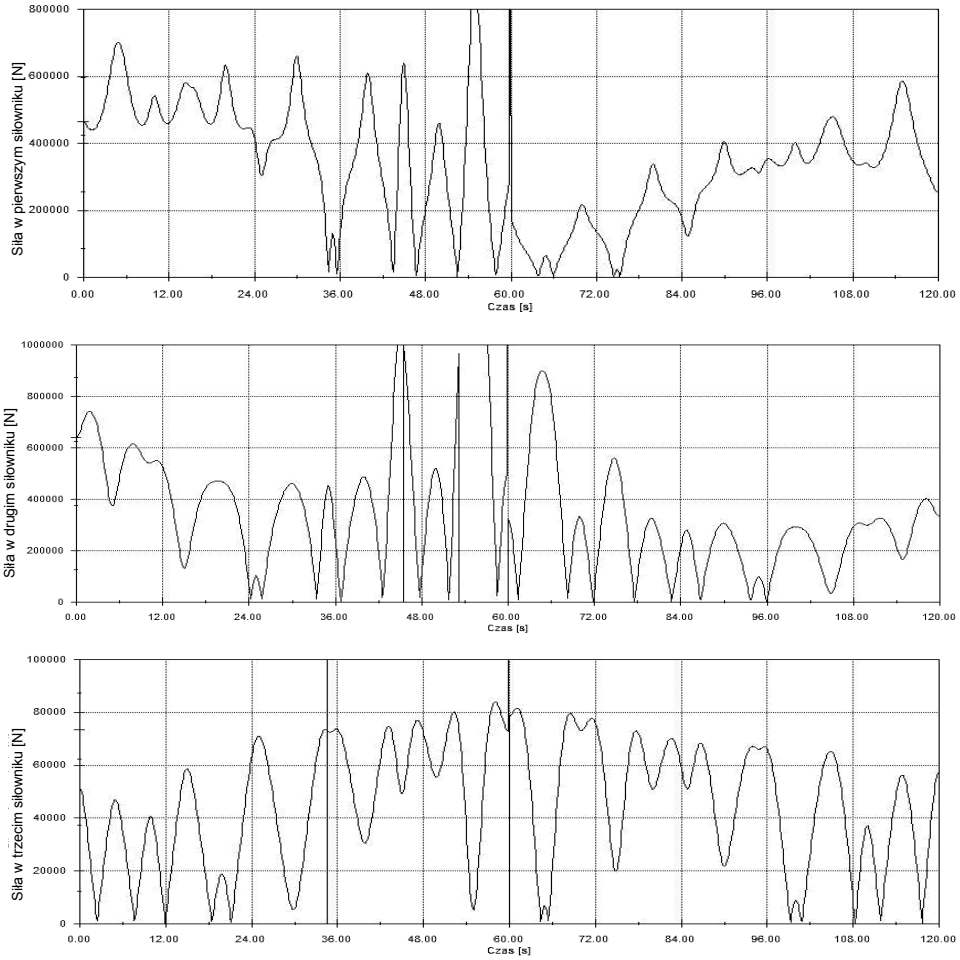
Do siłowników w ramieniu przyłożono napęd liniowy, nadający ruch konstrukcji, a obciążenie zadano na końcu ramienia w postaci siły reakcji. Siła reakcji jest największa przy maszynie i maleje wraz z oddalaniem się końca ramienia od maszyny. Siłę tą zdefiniowano jako funkcję zależną od odległości punktu jej przyłożenia względem osi centralnej maszyny – rys. 4. Pozwoliło to na odzwierciedlenie zmiennego obciążenia ramienia.

Przeprowadzono symulację ruchu ramienia na całym możliwym obszarze jego zasięgu. Siły reakcji w siłownikach pozwoliły na określenie minimalnych przekrojów tłoków siłowników hydraulicznych, zastosowanych w konstrukcji ramion podporowych. Obliczone wartości sił przedstawiono na wykresie (na rys. 5).

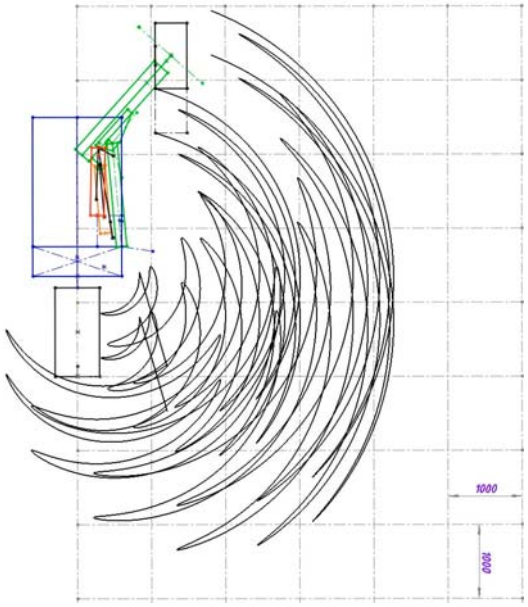
Program obliczeniowy pozwala także zaobserwować ruch ramienia oraz wyrysować trajektorię jego ruchu, co ułatwia interpretację uzyskanych wyników. Trajektoria ruchu ramienia została pokazana na rys. 6.



Rys. 4. Wykres siły reakcji obciążającej ramię podporowe
w zależności od odległości końca ramienia (na dole) i od środka maszyny (u góry)



Rys. 5. Wartości sił występujących w poszczególnych siłownikach hydraulicznych jako wynik symulacji dynamicznej

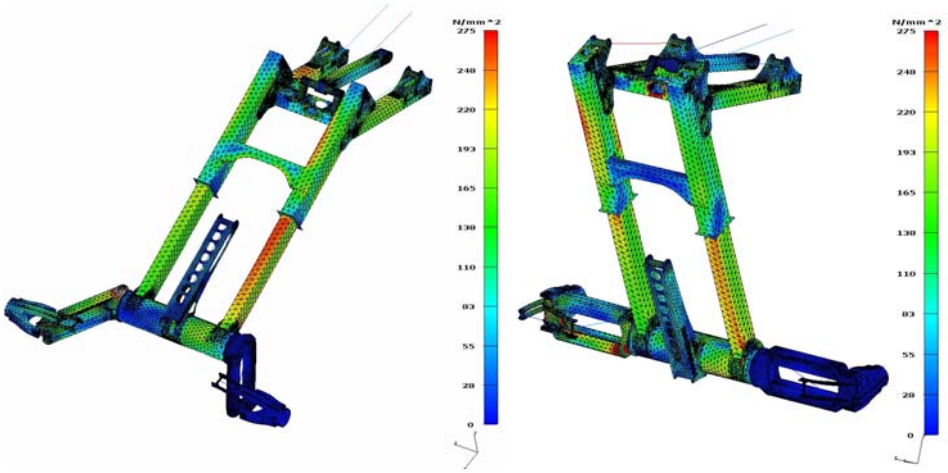


Rys. 6. Trajektoria ruchu ramienia, uzyskana jako wynik symulacji dynamicznej

Przykład analizy MES

Po przeprowadzeniu symulacji dynamicznej przeprowadzono analizę wytrzymałościową MES. Zamodelowane przypadki obciążeń powinny umożliwiać symulację rzeczywistych obciążeń występujących w ramionach podczas ich pracy. Pełne odwzorowanie wymagałoby jednak uwzględniania w obliczeniach nieskończonej liczby przypadków, dlatego obliczenia zostały oparte o zestaw kilku teoretycznych, charakterystycznych obciążeń uwzględniających również niesymetryczność obciążenia ramienia podporowego.

Jednym z bardziej niebezpiecznych sytuacji eksploatacyjnych ramienia jest oparcie się tylko jednym kołem na gruncie, przy czym ramię jest maksymalnie rozstawione na bok lub podkurczone. Działa wówczas na nie siła ok. 60000 N, działająca niesymetrycznie, co powoduje dodatkowo wichrowanie się ramienia. W tych warunkach konstrukcja jest najbardziej wytężona. Jednak ze względu na rzadkość występowania takiej sytuacji podczas pracy, przyjęto kryterium wytrzymałości doraźnej, co charakteryzuje się maksymalnymi dopuszczalnymi naprężeniami zredukowanymi rzędu 275 MPa (stal S355). Naprężenia uwzględniają tylko poprawkę 20% – w stosunku do granicy plastyczności – na osłabienie materiału w okolicy spoin. Wyniki dla opisanych przypadków obliczeniowych pokazano na rys. 7.



Rys. 7. Mapa naprężeń zredukowanych Hubera – Misesa (skala 275 MPa) dla dwóch przypadków obciążenia: ramię rozstawione maksymalnie na bok (z lewej) i podkurczone pod maszynę (z prawej); w obu przypadkach obciążenie jest przyłożone niesymetrycznie na jednym kole podporowym

Wyniki pokazują ładny, regularny rozkład naprężeń w konstrukcji. Jest to efekt wielorakich kombinacji w zakresie uzyskania optymalnego kształtu konstrukcji z punktu widzenia jej wytężenia i oszczędności masy. Takie zabiegi optymalizujące konstrukcję są najdłuższą fazą obliczeń MES, ponieważ wiążą się ze żmudnymi i czasochłonnymi zabiegami przebudowy modelu obliczeniowego.

W konstrukcji zastosowano materiał S355, jednakże możliwe jest także użycie materiału Domex 700. Ten ostatni jest materiałem z gatunku wysoko wytrzymałych stali stopowych konstrukcyjnych, Jednak wytrzymałość zmęczeniowa jednego i drugiego gatunku stali jest podobna i wynika z osłabienia materiału w spoinach. Badania MES w zakresie wytrzymałości zmęczeniowej obejmują przypadki obciążeń eksploatacyjnych długotrwałych. Najprostszą metodą analizy dla takich warunków jest dostosowanie konstrukcji do wytężenia na poziomie niższych naprężeń, które dla stali S355 wahają się w okolicy 180 MPa (dla obciążeń jednostronnie zmiennych, w warunkach eksploatacji maszyn rolniczych na podłożu glebowym). Z korzyścią dla takich obliczeń jest fakt, że w warunkach typowych obciążeń eksploatacyjnych wymuszenia siłowe są mniejsze niż w sytuacjach nietypowych. W efekcie trudno zdecydować, czy o cechach konstrukcyjnych i wytrzymałości konstrukcji będą decydować przypadki przeciążeń doraźnych czy średniej wielkości obciążenia zmienne długookresowe. To powoduje, że analizy MES wymagają sprawdzenia od kilku do kilkudziesięciu przypadków eksploatacyjnych, aby można było zaufać wynikom.

Ważną rolę zaczyna w tym momencie odgrywać doświadczenie osób prowadzących obliczenia. Można bowiem przewidzieć, które warunki eksploatacyjne należy sprawdzić w pierwszej kolejności i na tej podstawie wykonać gruntowne zmiany w koncepcji konstrukcji. Poszukiwanie właściwych rozwiązań konstrukcyjnych, poprawiających niekorzystne relacje wytrzymałościowe jest żmudne. Przydają się tutaj takie cechy jak: doświadczenie obliczeniowca, intuicja i zmysł konstrukcyjny. Sam program obliczeniowy służy zatem jedynie dostarczaniu informacji o konstrukcji, ale podstawowe zadania kształtowania tej konstrukcji należą do człowieka. Stąd programy CAD, CAE, to nadal tylko narzędzia wspomagające proces projektowania.

Uwagi końcowe

Zaprezentowany powyżej przykład wykorzystania nowoczesnych systemów wspomagania projektowania pozwala na uzyskanie informacji na temat obciążeń w układach mechanicznych, bez uciążliwych obliczeń analitycznych oraz dokonywania kosztownych doświadczeń laboratoryjnych. Istnieje ponadto możliwość przeprowadzenia obliczeń wytrzymałościowych, które już na etapie projektowania pozwalają zabezpieczyć się przed niekorzystnymi skutkami założeń konstrukcyjnych.

Możliwość wymiany danych między różnymi systemami sprawia, że możliwe jest wszechstronne i efektywne analizowanie różnych wariantów konstrukcyjnych. W takich sytuacjach najlepiej sprawdzają się systemy z grupy high-range, gdzie wymiana danych odbywa się w jednym środowisku i nie ma dużego zagrożenia utraty informacji przy przechodzeniu pomiędzy modelami CAD i modelami obliczeniowymi. Tych istotnych cech funkcjonalnych nabierają już systemy z grupy mid-range, czego dobrym przykładem jest system SolidWorks. Narzędzie to odbiega wprawdzie szybkością obliczeń od zaawansowanych solwerów high-range, ale dzięki wprowadzaniu innowacyjnych rozwiązań w modelowaniu, pozwalają te problemy obliczeniowe bądź omijać, bądź usprawniać. Przykładem pierwszego jest wykonywanie symulacji dynamicznych na szkicach parametrycznych 2D – niezwykle wydajna metoda obliczeniowa, a przykładem drugiego jest wykonywanie obliczeń MES konstrukcji na elementach bryłowych, z wykorzystaniem coraz doskonalszych i sprawniejszych preprocesorów do budowy siatki MES. Daje to korzyść w postaci bardzo łatwych i szybkich zmian w konstrukcji z jednoczesnym uzyskiwaniem zmian modelu obliczeniowego. W ten sposób czas tracony na długi czas obliczeń na elementach bryłowych jest rekompensowany krótkim czasem przebudowy modeli bryłowych i zarazem obliczeniowych.

Obserwując postęp w dziedzinie oprogramowania CAD należy się spodziewać, że w niedalekiej przyszłości obecne programy mid-range zaczną uzyskiwać funkcjonalność, jaką do niedawna miały systemy high-range. Natomiast w miejsce

znanych nam systemów mid-range wkroczą coraz powszechniejsze i prężnie rozwijające się programy CAD typu freeware, bazujące na kodach OpenSource i licencji GNU GPL (programy freeCAD do modelowania lub Z88 Aurora do obliczeń MES). I trudno się temu dziwić, skoro aplikacje do obliczeń MES powstają już w wersji na telefon komórkowy [http://feazone.org/news.php].

Bibliografia

Białek P., Szczepaniak J., Pawłowski T. 1994. Modelowanie układów maszyn i urządzeń rolniczych dla potrzeb optymalizacji wytrzymałości konstrukcji i energochłonności eksploatacyjnej. VI Sympozjum im. Prof. Cz. Kanafojskiego "Problemy budowy oraz eksploatacji maszyn i urządzeń rolniczych". Płock.

Frączek J., Wojtyra M. 2008. Kinematyka układów wieloczłonowych. Metody obliczeniowe. Wydawnictwo: WNT.

Pawłowski T., Szczepaniak J. 2005. Współczesna metodyka projektowania i weryfikacji konstrukcji maszyn rolniczych**.** Inżynieria Rolnicza. Nr 14 (74). Kraków.

Szczepaniak J. 2010. Narzędzia wspomagające proces przygotowania produkcji maszyn rolniczych. Technika Rolnicza Ogrodnicza i Leśna. Nr 1. Poznań.

Strony w internecie:
http://feazone.org/news.php
http://www.pimr.poznan.pl

POSTĘP TECHNICZNY W UPRAWIE ROŚLIN OKOPOWYCH

Aleksander Szeptycki

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach
Oddział w Warszawie
e-mail: alszep@ibmer.waw.pl

Wstęp

Dwadzieścia lat transformacji ustrojowej i gospodarczej w Polsce przyniosło istotne, a może nawet drastyczne zmiany w areałach, plonach i sposobach produkcji roślin okopowych oraz poziomie technicznym tej produkcji. Różne są tego przyczyny i różny zakres przemian.

Zmiany w przemyśle mięsnym doprowadziły do całkowitego wstrzymania kontraktacji trzody żywionej ziemniakami. Warto przypomnieć, że jeszcze w latach 80-tych ubiegłego wieku ponad 55% zbieranych ziemniaków przeznaczano w Polsce na paszę dla świń. Obecnie tylko w małych, prymitywnie prowadzonych gospodarstwach świnie na własne spożycie są karmione ziemniakami. W tym należy przede wszystkim upatrywać drastyczne zmniejszenie areału uprawy ziemniaków co zobrazowano w tabeli 1.

Tabela 1. Ziemniaki. Areały, zbiory, plony w latach 1999-2009

Rok	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Areł uprawowy [tys. ha]	1268	1251	1194	803	766	713	588	597	570	549	508
Zbiór ogólny [mln. t]	19,9	24,3	19,3	15,5	13,7	14,0	10,9	8,9	11,8	10,5	9,7
Średni plon [$t \cdot ha^{-1}$]	15,7	19,4	16,2	19,3	17,9	19,6	18,6	15,0	20,7	19,1	19,1

Źródło: Roczniki statystyczne z lat 2000-2010

W tym czasie intensywnie rozwinął się i nadal rozwija przemysł przetwórstwa ziemniaków na różne wyroby spożywcze takie jak frytki, chipsy itp. Przemysł ten, w większości należący do obcego kapitału, dba o swoje zaplecze surowcowe

organizując produkcję polową i przechowalnictwo ziemniaków na bardzo wysokim poziomie. Zarówno agrotechnika jak i mechanizacja produkcji ziemniaków o tym przeznaczeniu nie ustępują stosowanym w krajach Europy Zachodniej, a produkowane bulwy są bardzo dobrej jakości.

Również dla pozostałych kierunków użytkowania dostarczane ziemniaki muszą być bardzo wysokiej jakości bo w pełni wolny, wymagający rynek innych nie zaakceptuje. Stwarza to wymagania, które mogą wypełniać tylko duże i średnie gospodarstwa, z dobrym wyposażeniem technicznym i dobrą organizacją, zarządzane przez dobrze wykształcone kadry.

Gospodarstwa, współpracujące z przemysłem przetwórczym oraz produkujące ziemniaki towarowe o innym przeznaczeniu (jadalne, sadzeniaki) uzyskują plony nie ustępujące plonom osiąganym przez rolników w większości krajów europejskich, może z wyjątkiem Holandii.

Przedstawione w tabeli 1 dane z Roczników Statystycznych wskazujące, iż w Polsce plony średnie ziemniaków stale są bardzo niskie nie odzwierciedlają w pełni sytuacji. Na tak niskie wartości plonów ziemniaka przemożny wpływ wywierają małe, prymitywne gospodarstwa, które zużywają ziemniaki we własnym zakresie nie dostarczając nic na rynek, a jest ich w naszym kraju około 60%.

Nieco inna sytuacja ma miejsce w sektorze buraków cukrowych, choć również i w tym przypadku główną siłą sprawczą przemian są zmiany w przemyśle cukrowym który jest jedynym odbiorcą tego surowca a także regulacja rynku cukru przez organa UE.

Buraki cukrowe są w całej swej masie skupowane przez przemysł i nie występuje ich produkcja na samozaopatrzenie jak to ma miejsce w przypadku ziemniaków.

Systematyczne i szybkie zmniejszenie się liczby cukrowni (z 78 w 2001r do 18 w 2010r) przy jednoczesnym zwiększeniu wydajności tych zakładów wywarły widoczny wpływ na produkcję buraków cukrowych (tab. 2). Pomoc dla plantatorów w postaci dotacji UE, dostępność usług ze strony cukrowni, w tym też doradztwa, spowodowały istotny wzrost plonów buraków (do ponad 50t·ha^{-1} w 2001 roku) przy jednoczesnym zmniejszeniu się liczby plantatorów. Istotnie wzrosła średnia wielkość plantacji u jednego plantatora z 2,7 ha w 1999 roku do 4,75 ha w 2009 roku. Ogólna produkcja buraków zmniejszyła się również, choć w znacznie mniejszym stopniu. Są to zjawiska pozytywne umożliwiające wprowadzenie zupełnie innego poziomu zmechanizowania produkcji buraków cukrowych, który obecnie dorównuje poziomowi spotykanemu w krajach o największej produkcji buraków w Europie. Zaowocowało to decyzją Międzynarodowego Instytutu Buraka Cukrowego (IIRB) o organizacji wielkich pokazów uprawy i zbioru buraków „Beet Europa" przemiennie w Niemczech, Francji, Holandii i w Polsce.

Charakteryzując ogólne aspekty produkcji roślin okopowych w Polsce, mające wpływ na postęp techniczny w tym sektorze produkcji rolniczej trzeba jeszcze zwrócić uwagę na następujące uwarunkowania. Rośliny okopowe stawiają

plantatorom najwyższe wymagania w zakresie prowadzenia plantacji i organizacji pracy. Charakteryzują się one tym, że błędy, czy niestaranność wykonania jednych zabiegów rzutują bardzo silnie na możliwość prawidłowego wykonania zabiegów późniejszych a w efekcie na możliwość zebrania plonu bez nadmiernych strat, zanieczyszczeń i uszkodzeń bulw czy korzeni.

Tabela 2. Buraki. Areały, zbiory, plony w latach 1999-2010

Rok	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Areł ogólny [tys. ha]	371	333	317	303	286	297	286	262	247	187	199	218
Zbiór [mln. t]	12,5	13,1	11,4	13,4	11,7	12,7	11,7	11,5	12,7	8,7	10,8	9,7
Średni plon [t·ha^{-1}]	33,8	39,4	35,8	44,3	41,0	42,8	41,0	43,8	51,3	46,5	54,3	44,3
Średnia powierzchnia plantacji u jednego plantatora [ha]	2,71	2,98	3,19	3,10	3,33	3,81	4,05	4,15	4,07	4,57	4,75	b.d.

Źródło: Roczniki statystyczne z lat 2000-2010

Drugą charakterystyczną cechą uprawy okopowych są ogromne masy zebranych plonów, które trzeba z pola wywieźć i przewieźć do miejsca składowania.

Wreszcie trzeci aspekt, który musi być brany pod uwagę to duże zagrożenie destrukcją struktury gleby i podglebia w wyniku pracy ciężkich maszyn do zbioru oraz środków transportowych poruszających się po nieosłoniętej powierzchni pola, często w warunkach wysokiego nawilgocenia gleby.

Omawiając postęp techniczny w produkcji okopowych ograniczę się do opisu i analizy wprowadzanych unowocześnień tylko w gospodarstwach dużych i średnich prowadzących produkcję towarową. Uzasadnia to fakt, że w maleńkich gospodarstwach produkujących ziemniaki na samozaopatrzenie istotnego postępu wprowadzić się nie da, zaś w wyniku ograniczenia przez cukrownie kontraktacji buraków do plantacji ponad 3-hektarowych produkcja tej rośliny zupełnie w nich zanikła.

Postęp w technologiach produkcji roślin okopowych

Rozmaite czynniki agrotechniczne, ekologiczne, techniczne itp. powodują zmiany i ciągłe uzyskonalanie technologii produkcji roślin okopowych. Celem tych przemian jest przede wszystkim maksymalizacja zysku i minimalizacja nakładów – jak w każdej niemal działalności produkcyjnej człowieka. Pewne mody-

fikacje technologii wynikają też ze zmieniających się wymogów i przepisów związanych np. z ochroną środowiska.

Spróbujemy prześledzić zmiany jakie w ostatnich kilkunastu latach zaszły w technologiach produkcji ziemniaków i buraków cukrowych.

Ziemniaki

W produkcji ziemniaków w naszym kraju widać dość wyraźnie podział na gospodarstwa drobne, w których właściwie żadnego postępu w technologii produkcji tej rośliny nie obserwuje się i gospodarstwa duże gdzie postęp technologiczny jest wyraźny. Przy małej skali produkcji, nawet jeśli ziemniaki są dostarczane na wymagający rynek, np. poprzez grupy producenckie do supermarketów, możliwe jest utrzymanie dobrej jakości przy wykorzystywaniu przestarzałych maszyn i zaangażowaniu nieco więcej pracy ręcznej.

Duże gospodarstwa muszą stosować bardziej wyrafinowaną technikę, zwłaszcza w postaci maszyn do zbioru – najtrudniejszej operacji w cyklu produkcyjnym ziemniaków. Dyktuje to wdrożenie wielu elementów nowoczesnej technologii. Duże, skomplikowane maszyny zbierające stawiają przed producentem ziemniaków wysokie wymagania w zakresie prowadzenia plantacji od przygotowania pola aż do rozpoczęcia zbioru. Dwu- czy czterorzędowe kombajny i kopaczki zbierające mogą pracować z dużą wydajnością, zachowując wysoką jakość pracy tylko na plantacji dobrze przygotowanej.

Jakie są więc cechy takiej, dobrze do zbioru przygotowanej plantacji i jak można je ukształtować.

- Gleba powinna się względnie łatwo odsiewać na przenośnikach maszyny do zbioru. Odsiewanie to można w pewnym zakresie regulować odpowiednio nastawiając mechanizmy kombajnu. Ograniczenie intensywności odsiewania wynika jednak z podatności bulw ziemniaka na uszkodzenia mechaniczne. W tej sytuacji trzeba dołożyć wszelkich starań, żeby odpowiednimi zabiegami uprawowymi, zwłaszcza wykonywanymi przed posadzeniem ziemniaków jesienią i wiosną, doprowadzić glebę do takiego stanu, żeby łatwo odsiała się w kombajnach.
- Na glebach trudnych w uprawie, zbrylonych lub zakamienionych stosowana jest również w Polsce technologia pasowego usuwania brył i kamieni i umieszczanie ich we wcześniej utworzonych, głębokich bruzdach, którymi przez cały czas uprawy ziemniaków poruszają się koła ciągników i maszyn. Dzięki temu ziemniaki rosną na pasach wolnych od brył i kamieni. Trzeba jednak mieć świadomość, że zabieg ten zwiększa nakłady na produkcję i wymaga specjalistycznych, drogich maszyn.
- Rozstawa redlin musi być dostosowana do przejazdu cięższych ciągników na szerokim ogumieniu. W dużych gospodarstwach stosowana obecnie rozstawa

redlin to 75 cm, a w niektórych nawet 90 cm. Oczywiście cały zestaw maszyn musi być też do tej rozstawy dostosowany. Oprócz umożliwienia stosowania ciężkich maszyn o dużej wydajności zwiększenie rozstawy rzędów daje jeszcze inne korzyści jak np. ograniczenie ilości bulw zazielenionych (nawet przy wysokich plonach wszystkie zawiązane ziemniaki mieszczą się w redlinach), mniejsza podatność szerokich redlin na rozmywanie przez deszcz, pewne zwiększenie wydajności pracy maszyn do sadzenia, pielęgnacji i zbioru itp.

- Bardzo staranna pielęgnacja, za pomocą obsypników wyposażonych w blachy kształtujące redliny, a na glebach zwięźlejszych stosowanie obsypników aktywnych. Redliny o jednakowej wysokości i szerokości na całej długości pola, w których wszystkie zawiązane bulwy znajdują się powyżej dna bruzd, pozwalają tak wyregulować kombajn, żeby podbierał minimalną ilość gleby bez wilgotnej i zbrylonej jej części zalegającej w bruzdach, którymi toczą się koła maszyn.
- Sortowanie sadzeniaków na frakcje, w których rozrzut wymiarów bulw nie przekracza 15 mm. Tylko tak posortowane ziemniaki mogą być wysadzone z zachowaniem równomiernych odstępów wzdłuż rzędu, co zapewnia mały rozrzut wymiarów bulw podczas zbioru. Przyspiesza to również ich dojrzewanie, a w konsekwencji pozwala ograniczyć ilość ziemniaków uszkodzonych podczas zbioru.
- Poprzez zabiegi mechaniczne i chemiczne plantacja musi być utrzymana w stanie wolnym od chwastów, które bardzo utrudniają zbiór i opóźniają dojrzewanie ziemniaków.
- Łęciny przed zbiorem powinny być rozdrobnione. Zabieg ten, odsłaniając redliny przyspiesza dojrzewanie bulw i zwiększa ich odporność na uszkodzenia mechaniczne, a także zmniejsza ilość zielonej masy wchodzącej do kombajnu, ułatwiając wydzielanie ziemniaków bez nadmiernie intensywnego działania urządzeń.
- Zbiór należy wykonywać przy pełnej dojrzałości bulw i w temperaturze nie niższej od 10°C [Marks 2009]

Powyższe wskazówki potwierdzają postawioną tezę, że właściwie wszystkie zabiegi wykonywane na plantacji mają wpływ na powodzenie operacji zbioru, w wyniku której mamy otrzymać ziemniaki dobrej jakości, uniknąć strat bulw i oddzielić od nich jak najwięcej stopniu świadomie oddziaływać.

Istotne zmiany można zaobserwować w technologii zbioru ziemniaków na dużych plantacjach. Umiejętne prowadzenie plantacji wg wyżej podanych zasad pozwala użytkować na tych plantacjach 2 – lub nawet 4-rzędowe kopaczki ładujące i kombajny. W maszynie takiej, przy dużym plonie bulw, podaż ziemniaków na ewentualny stół selekcyjny byłaby na tyle duża, że nieracjonalne stało się dokładne przebieranie ziemniaków na maszynie. Przeniesiono więc tę czynność do miejsca wstępnego składowania ziemniaków, gdzie po doczyszczeniu mechanicznym przebierane są na stołach selekcyjnych przez ludzi pracujących w znacznie

lepszych warunkach niż na maszynie poruszającej się po polu. Maszyny zbierające mogą się poruszać z dużą prędkością i osiągać wydajność do 0,5 $ha \cdot h^{-1}$ (2-rzędowe) i 1,0 $ha \cdot h^{-1}$ (4-rzędowe) przy zatrudnieniu na kombajnie 1–2 osób raczej do nadzorowania jego pracy niż do dokładnej selekcji ziemniaków [Jabłoński 2005, 2011].

Większe szerokości maszyn zbierających – 1,5 m 2-rzędowe i 3 m 4-rzędowe ograniczają też liczbę przejazdów po polu co daje efekt ekologiczny w postaci ograniczenia ugniatania gleby i podglebia.

Inne efekty ekologiczne wpisane w takie modernizowane technologie produkcji to ograniczenie do minimum stosowania środków chemicznych np. przez wyłącznie mechaniczne niszczenie łęcin oraz intensywna walka z chwastami metodami mechanicznymi na ściernisku po zebraniu przedplonu w jesieni roku poprzedzającego uprawę ziemniaków.

Na zakończenie omawiania postępu w technologii produkcji ziemniaków warto jeszcze wspomnieć o pewnym renesansie tzw. zbioru dwufazowego. W dążeniu do możliwie największego ograniczenia uszkodzeń bulw ziemniaki wykopuje się prostą kopaczką usypującą podłużny wał ziemniaków powstający z 2 lub 4 rzędów. Tę część zbioru wykonuje się rano lub przed południem. Pozostawione w takim wale ziemniaki obsychają i nagrzewają a skórka ich staje się odporna na uszkodzenia. Po kilku godzinach, po południu bulwy są podbierane odpowiednio przystosowanym kombajnem, doczyszczane i ładowane na przyczepy. Taka organizacja pozwala nastawiać mechanizmy kombajnu na możliwie małą intensywność działania co dodatkowo ogranicza niebezpieczeństwo uszkodzeń.

Buraki cukrowe

W technologiach produkcji buraków cukrowych zaszły bardzo daleko idące zmiany. Są one przykładem synergii różnych rodzajów postępu naukowo-technicznego, w wyniku czego uzyskano znaczące efekty ekonomiczne, energetyczne, ekologiczne i inne.

Uzyskanie, w wyniku postępu biologicznego, genetycznie jednokiełkowych nasion o zdolności kiełkowania 92-95% pozwala siać buraki „na gotowo", tj w odległościach wymaganych dla prawidłowej pracy organów ogławiających i wykopujących korzenie, z całkowitą eliminacją niezwykle uciążliwej ręcznej przerywki czy przecinki wschodów.

Postęp chemiczny, przez zastosowanie otoczkowania tych nasion substancją zawierającą środki ochrony roślin i startowe dawki nawozów przy jednoczesnym nadaniu im kształtu niemal kulistego, stwarza dobre warunki wschodzenia i znakomicie ułatwia uzyskanie wysokiej dokładności siewu.

Postęp techniczny-mechanizacyjny objawił się dopracowaniem siewników punktowych z bardzo precyzyjnymi mechanizmami wysiewającymi, wyposażonych

w redlice i zespoły przykrywające nasiona, dobierane dla każdych niemal warunków glebowych.

Najnowocześniejsze siewniki punktowe mają elektryczny napęd poszczególnych sekcji co znacznie upraszcza konstrukcję i ułatwia obsługę przy wyłączaniu sekcji celem założenia ścieżek technologicznych lub przy obsiewaniu skrajów pól.

Do tych osiągnięć trzeba dodać również, podobnie jak w przypadku ziemniaków, stworzenie możliwości technicznych i nauczenie plantatorów idealnie przygotować pole pod wysoce precyzyjny siew buraków siewnikami 12- a nawet 18-rzędowymi. Pole powinno być dobrze wyrównane i przygotowane do siewu przez spulchnianie tylko na głębokość siewu tj ok. 3 cm z pozostawieniem nienaruszonego systemu kapilarnego pod nasionami. Stwarza to świetne warunki kiełkowania i rozwoju siewek, co jest szczególnie ważne jeśli wziąć pod uwagę, że wysiewa się tylko ok. 100 tys. nasion na hektar.

Założenie ścieżek technologicznych umożliwia stosowanie do dokarmiania i oprysków sprzętu o bardzo dużych szerokościach roboczych, 36÷48m, poruszającego się na kołach o szerokości ogumienia przekraczającej szerokość międzyrzędzi wymagających więc utworzenia ścieżek technologicznych. Takie szerokości ograniczają też ugniatanie gleby czyli przynoszą efekt ekologiczny.

Prawdziwa rewolucja dokonała się w technologiach zbioru buraków [Przybył 2005 i 2006]. Zanik małych plantacji umożliwił powszechne wprowadzenie samobieżnych kombajnów 6-rzędowych. W ostatnich latach na rynku pojawiły się już nawet kombajny 12-rzędowe. Maszyny te ze zbiornikami mieszczącymi 20–30 i więcej ton korzeni nie wymagają asysty środków transportowych. Wywożą zebrane buraki na skraj pola, skąd mogą być ładowarkami o wielkiej wydajności (200 $t \cdot h^{-1}$) załadowane na samochody w dowolnym czasie i wywożone do cukrowni.

Mimo iż maszyny samobieżne 6-rzędowe są bardzo ciężkie, z ładunkiem osiągają masę do 50t, to szkody w strukturze gleby powodowane przez nie są znacznie mniejsze niż, gdy na polu pracowały kombajny 1-2 rzędowe czy maszyny do zbioru 2–3 etapowego oraz znaczna liczba środków transportowych. Można przypomnieć, iż popularne dawniej w PGR-ach maszyny Matrot do 3-etapowego zbioru, wg badań IBMER wymagały do obsługi 18 ciągników z przyczepami. Takie nasilenie ruchu kół po polu w warunkach dużej wilgotności zamieniało je często w grzęzawisko. Obecnie na polu pracuje tylko kombajn na bardzo szerokich, niskociśnieniowych oponach, mający podwozie tak skonstruowane, że każde koło idzie swoim śladem. Przy znakomitych własnościach trakcyjnych takiej maszyny pole pozostaje wyrównane, bez bruzd.

Nowe maszyny wprowadziły jeszcze jedną istotną zmianę w technologii zbioru i jej znaczące uproszczenie przez rezygnację ze zbierania liści buraków. Uznano, że wartość nawozowa liści jest większa niż ich wartość paszowa, są więc one rozdrabniane i pozostawione na polu do przyorania. Uzyskano przy tym kolejny efekt ekologiczny – wyeliminowano wycieki soku z pryzm kiszonkowych.

Jak już wspomniano samobieżne kombajny są bardzo drogie, ale przy odpowiednio dużych areałach obrabianych rocznie, koszt ich użytkowania może być

niższy od użytkowania wielokrotnie tańszych maszyn 1-2 rzędowych. Wobec tego rozwinął się w Polsce rynek usług świadczonych tymi maszynami przez cukrownie lub prywatne firmy usługowe. Rekordowe, roczne przebiegi, przy dobrej organizacji, sięgają ponad 600 ha, przy pracy na 3 zmiany.

Maszyny o tak wielkich wydajnościach pozwalają rezygnować ze zbioru w dniach o wyjątkowo niesprzyjającej pogodzie. Kombajn pracujący w lepszych warunkach daje buraki czyste, nieuszkodzone i nie powoduje nadmiernego zniszczenia struktury gleby.

Postęp techniczny konstrukcyjny – doskonalenie maszyn

Najbardziej spektakularny postęp dokonał się i nadal dokonuje w skomplikowanych maszynach do zbioru. Wielorzędowe kombajny do zbioru ziemniaków i buraków wykonują wiele czynności i pracują w warunkach zmieniających się szybko i w dużych zakresach. Przez wiele lat próbowano konstruować i wytwarzać maszyny możliwie uniwersalne, mające dobrze wypełniać swe zadania w bardzo szerokim spektrum warunków środowiska, w którym pracują i materiałów, które obrabiają. W efekcie maszyny takie tylko wyjątkowo pracowały naprawdę dobrze uzyskując wysoką jakość pracy i dużą wydajność. Zmieniono więc całkowicie podejście do unowocześnienia maszyn. Opracowywana jest wersja podstawowa z dużą gamą wariantowego wyposażenia dostosowanego do dość wąskiego zakresu zmienności warunków pracy. W efekcie rolnik może, kupując maszynę, wybrać jej wariant najlepiej dostosowany do jego potrzeb. Jako przykład można podać kopaczkę ładującą do zbioru ziemniaków oferowaną przez firmę Grimme w 9 wersjach wyposażenia o różnej intensywności odsiewania gleby i oddzielania części zielonych. Przy takim podejściu niezwykle wzrasta rola doradztwa. Rolnik powinien uzyskać pełną informację o możliwościach wyboru i rzetelną poradę, która wersja maszyny jest dla niego najkorzystniejsza. Nietrafiony wybór będzie się mścił przez wiele lat, utrudniając pracę i zmniejszając efektywność modernizacji wyposażenia gospodarstwa.

Najczęściej, przy takiej „klockowej" budowie maszyn zespoły robocze nabudowywane są na podwoziu stanowiącym podstawę konstrukcji. Niektóre firmy dopracowały się maszyn do zbioru ziemniaków i buraków cukrowych opartych na tym samym podwoziu, silniku, kabinie itp. (np. Holmer, Grimme).

Zasady ochrony gleby i podglebia przed nadmiernym ugniataniem w przypadku zbioru roślin okopowych samobieżnymi maszynami o masie brutto (z wypełnionym zbiornikiem) przekraczającej już nawet 50 ton są trudne do spełnienia. Podwozia tych wielkich kombajnów są 4 – lub 6-kołowe z ogumieniem niskociśnieniowym o szerokości ponad 1m i średnicy ok. 2 m. Koła te, dzięki specjalnym mechanizmom ustawiającym całą maszynę nieco ukośnie względem kierunku jazdy, toczą się każde własnym śladem nie tworząc bruzd. Jedna z firm (Grimme)

zastosowała w miejsce kół w przedniej części kombajnu szerokie gumowe gąsienice co jeszcze bardziej ogranicza naciski jednostkowe.

Rozwiązania techniczne podwozi świadczą w każdym razie o trosce konstruktorów o zachowanie struktury gleby w jak najlepszym stanie.

W maszynach do produkcji okopowych coraz bardziej widoczne jest zastosowanie elektroniki i mechatroniki. W maszynach mało skomplikowanych są to ułatwienia w regulacji czy zmianie nastawień, np. w sadzarkach nastawianie rozstawu ziemniaków wzdłuż rzędu z miejsca kierowcy ciągnika czy samoczynna korekta przepustów. W siewnikach do buraków elektryczny napęd poszczególnych sekcji upraszcza budowę siewnika przez wyeliminowanie skrzyni przekładniowej i zwiększa dokładność rozmieszczenia nasion wzdłuż rzędu bo poślizg kół siewnika nie ma wpływu na ten wskaźnik; elektryczny napęd ułatwia też pracę operatora np. przy zakładaniu ścieżek technologicznych lub przy obsiewaniu skrajów pól, gdy trzeba wyłączyć napęd na część sekcji siewnika.

Znacznie szersze zastosowanie znalazły techniki mechatroniczne i informacyjne w skomplikowanych maszynach do zbioru roślin okopowych. Trudno sobie wyobrazić wielorzędowe maszyny zbierające ziemniaki i buraki bez tej techniki. Zapewnienie zbioru bez strat i uszkodzeń byłoby przy tak dużych maszynach, pracujących często przy jednoosobowej obsłudze, niemożliwe. Maszyny te są z reguły wyposażone w komputer pokładowy dający operatorowi, informacje o pracy najważniejszych zespołów roboczych pochodzące z odpowiednio rozmieszczonych czujników. Poprzez przyjazny użytkownikowi ekran dotykowy, operator może wybrać zespół, który pracuje niezadowalająco i dokonać jego regulacji.

Standardem jest w tych wielkich maszynach regulacja wysokości spadku ziemniaków na środek transportu a buraków na pryzmę – pozwala to unikać nadmiernych uszkodzeń zbieranych bulw i korzeni. Często stosowana jest samoczynna lub sterowana z kabiny regulacja głębokości pracy elementów wyorujących, regulacja wysokości ogławiania i docinania główek buraków, regulacja intensywności pracy zespołów oddzielających glebę itp.

Przy zbiorze ziemniaków jednym z trudniejszych zadań jest separacja bulw od kamieni i brył ziemi. W nowoczesnych separatorach wykorzystywana jest elektronika do identyfikacji separowanych obiektów, a także do regulacji elementów roboczych urządzenia.

Pełny monitoring pracy zespołów kombajnów do okopowych pozwala na pracę tych maszyn również po zapadnięciu zmroku co umożliwia znaczne zwiększenie ich rocznych przebiegów, a także dzięki tej wielkiej wydajności pracę maszyn tylko w okresie sprzyjającej pogody. W okresie jesieni, przy krótkich dniach i często złej pogodzie można mimo to zdążyć ze zbiorem przed nastaniem niskich temperatur.

Istotnym elementem optymalizacji pracy tych maszyn jest automatyczne dostosowanie mocy nowoczesnych silników do obciążenia zespołów roboczych.

Pozwala to obniżyć o kilkanaście procent jednostkowe zużycie paliwa – najnowsze z tych kombajnów zużywają ok. 30 $kg \cdot h^{-1}$ oleju napędowego.

Samobieżne kombajny do zbioru okopowych zapewniają też operatorom komfortowe warunki pracy w pyłoszczelnej, ogrzewanej kabinie wyposażonej w komputer pokładowy z monitorem, na którym wyświetlana jest informacja o pracy kluczowych zespołów roboczych i silnika. Większość regulacji można wykonać zdalnie, bez wychodzenia z kabiny.

Efektywność postępu technicznego

Na koniec spróbujemy odpowiedzieć na pytanie czy postęp techniczny wprowadzony do polskiego rolnictwa przez wdrożenie do produkcji rolnej maszyn, których ceny, w przypadku opisywanych kombajnów, dochodzą do 500 tys. euro, jest efektywny tzn. czy za 1ha obrobionej, zebranej powierzchni rolnik ma szansę płacić mniej niż w przypadku użytkowania maszyn dotychczas stosowanych, np. kombajnów jednorzędowych, nieporównywalnie tańszych.

Zagadnieniem ekonomicznej efektywności postępu naukowo-technicznego zajmował się zespół pod kierownictwem prof. R. Michałka [Michałek 1999]. Wyróżnili oni dwa rodzaje tego postępu: technologiczny – polegający na zastępowaniu siły roboczej technicznymi środkami pracy i konstrukcyjny – polegający na modernizacji stosowanych technicznych środków pracy. Jako miernik efektywności postępu technicznego technologicznego przyjęto stosunek przyrostu produkcji, do przyrostu wskaźnika technicznego uzbrojenia pracy w tym samym okresie czasu. Miernikiem zaś postępu konstrukcyjnego jest wydajność maszyny odniesiona do jednostkowego jej kosztu eksploatacji.

Szczegółowe rozważania nad wykorzystaniem tej metody oceny postępu w zastosowaniu do technologii produkcji ziemniaków przeprowadził Szeptycki [2002] a w zastosowaniu do technologii produkcji buraków cukrowych Gawryś [2005]. W obu tych opracowaniach wykazano wyraźnie, że nowoczesne technologie, od uprawy pola do zbioru oparte na nowych, wysokowydajnych maszynach w porównaniu z technologiami opartymi na małych maszynach o niskiej wydajności są znacznie bardziej efektywne. Uwzględniono w tych rozważaniach nie tylko większą wydajność nowych maszyn ale również lepszą jakość wyprodukowanych ziemniaków czy buraków. Nowoczesne maszyny ograniczają ubytek wartości plonu wskutek mniejszych strat i mniejszych uszkodzeń bulw i korzeni.

W wymienionych opracowaniach dokonano też analizy postępu technicznego konstrukcyjnego wprowadzanego np. z samobieżnym kombajnem 6-rzędowym do zbioru buraków. Wykazano, że za 1000 zł wydatkowanych na wykonanie zbioru można zebrać buraki tą nowoczesną maszyną z około dwa razy większej powierzchni niż kombajnem 1-rzędowym.

Można więc jednoznacznie stwierdzić, że postęp techniczny wprowadzony poprzez nowoczesne, bardzo drogie, wielorzędowe maszyny jest wysoce efek-

tywny ekonomicznie. Warunkiem jest wszakże zapewnienie pełnego wykorzystania maszyn w ciągu roku co jest możliwe tylko przy ich użytkowaniu usługowym albo wspólnym przez kilku plantatorów.

Podsumowanie

Przemiany polskiej wsi i przemysłu przetwórczego jakie dokonały się poprzez wprowadzenie gospodarki wolnorynkowej, oraz dotacje UE do zakupów sprzętu rolniczego wywołały istotne i daleko idące unowocześnienie produkcji roślin okopowych gospodarstwach towarowych. To unowocześnienie objawia się w wielu aspektach takich jak: zwiększenie plonów, poprawa jakości zbieranych ziemniaków i buraków, ograniczenie niekorzystnego wpływu maszyn na strukturę gleby, poprawa organizacji i warunków pracy ludzi zatrudnionych przy pracach polowych, zwiększenie wydajności pracy maszyn i ludzi oraz co może najważniejsze wyraźnymi korzyściami ekonomicznymi.

Bibliografia

Gawryś J. 2005. Efektywność postępu technicznego w produkcji buraka cukrowego, Niepublikowana rozprawa doktorska.

Jabłoński K. 2005. Przegląd krajowych maszyn specjalistycznych do produkcji ziemniaka. Wieś Jutra. Nr 2.

Jabłoński K. 2011. Mechanizacja zbioru ziemniaków na małych i dużych plantacjach. Wieś Jutra. Nr 1-2.

Marks N. 2009. Mechaniczne uszkodzenia bulw ziemniaka. Wyd. PTIR, Kraków.

Michałek R. i in. 1999. Uwarunkowania technicznej rekonstrukcji rolnictwa, Wyd. PTIR, Kraków.

Przybył J. 2005. Nowe maszyny w uprawie buraka cukrowego. Wieś Jutra. Nr 2.

Przybył J. 2006. Rozwój samojezdnych kombajnów buraczanych. Wieś Jutra. Nr 2.

Szeptycki A. 2002. Efektywność postępu technicznego w technologiach towarowej produkcji ziemniaków. Inżynieria Rolnicza. Nr 10. PTIR. Kraków.

Roczniki statystyczne z lat 1999-2010.

INŻYNIERIA W PRODUKCJI ZWIERZĘCEJ – ROZWÓJ – ZASTOSOWANIE PRAKTYCZNE

Józef Szlachta

Instytut inżynierii Rolniczej
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
e-mail: jozef.szlachta@up.wroc.pl

Wstęp

Dynamiczny rozwój produkcji zwierzęcej sprawia, że od nauki oczekuje się nowych technologii oraz nowoczesnych maszyn i urządzeń wpływających na efektywność ekonomiczną produkcji, poprawę komfortu pracy ludzi i dobrostanu zwierzą oraz mających bezpośredni wpływ na wzrost postępu technicznego, jakość i bezpieczeństwo życia. Nauka poprzez wdrażanie wyników badań powinna w coraz większym stopniu przyczyniać się rozwoju gospodarczego kraju, podniesienia konkurencyjności przedsiębiorstw oraz zwiększenia ich udziału w rynku.

Mając powyższe na uwadze, inżynieria rolnicza jako dyscyplina nauk rolniczych staje przed dużym wyzwaniem na rynku badań, ukierunkowanych na doskonalenie technologii produkcji zwierzęcej z uwzględnieniem całokształtu czynników determinujących jej efektywność. Dla rozwoju każdej dziedziny nauki istotne znaczenie ma postęp badań podstawowych, jednakże w przypadku inżynierii rolniczej w produkcji zwierzęcej, dużą rolę odgrywa także innowacyjność badań oraz tworzenie nowych technologii możliwych do wdrożenia w rolnictwie polskim.

Doświadczenia krajów – członków UE wskazują na silny wzrost integracji merytorycznej i organizacyjnej jednostek badawczych zajmujących się zagadnieniami: inżynierii rolniczej, zootechniki, biologii komórki, technik przetwarzania produktów rolniczych z postrzeganiem zmian w strukturze budowy komórek w aspekcie: wytrzymałości mechanicznej, zdolności do przetwarzania na cele żywieniowe i techniczne, walorów smakowych i żywieniowych oraz ochrony środowiska naturalnego. Dziś z pełnym przekonaniem można przywołać słowa Prof. Hamana, wyrażone w wykładzie okolicznościowym z okazji nadania Mu doktoratu Honoris Causa przez AR we Wrocławiu w 1994 r., że cyt. „*Inżynieria rolnicza jest szczególną dziedziną techniki ingerującą w żywą materią, a więc poddanej wszystkim rygorom i ograniczeniom biologii w teorii jak i praktyce*".

Nowoczesna produkcja zwierzęca wymaga głębokiej wiedzy z zakresu bioinżynierii, zootechniki, ochrony środowiska, ekonomiki ora organizacji i zarządzania produkcją. W ostatnim okresie, a w szczególności w okresie ostatniego dziesięciolecia uzyskano znaczący postęp w produkcji zwierzęcej oraz żywności, głównie poprzez wzrost wydajności pracy oraz wzrost postępu technicznego. Uzyskano znaczący postęp w zakresie poprawy jakości produktów żywnościowych (mięsa, mleka), opanowano i wprowadzono systemy konserwacji pasz i produktów żywnościowych (np. chłodnictwo, pasteryzacja, itp.).

Najbliższa przyszłość bioinżynierii będzie dotyczyć dalszego doskonalenia zaawansowanych systemów w produkcji zwierzęcej, w znacznym stopniu opartych na automatyzacji i robotyzacji procesów produkcji, ze znacznym udziałem inteligentnych systemów sterowania. Już dzisiaj wiele maszyn i urządzeń stosowanych do obsługi krów podczas doju, żywienia oraz zarządzania stadem opartych jest na zaawansowanych systemach informatycznych, zaś elementy wykonawcze w dużym stopniu dostosowane są do cech osobniczych zwierząt, uwzględniają potrzeby ich dobrostanu oraz znacząco obniżają nakład pracy podczas wykonywania zabiegów związanych z obsługą zwierząt. Zastosowane w produkcji zwierzęcej zaawansowane technologie informatyczne oparte na bazach danych, algorytmach, symulacji zjawisk i procesów - pozwalają na analizowanie i sterowanie wieloma złożonymi procesami związanymi z gromadzeniem dużej liczby danych pomiarowych podczas wykonywania licznych czynności obsługowych jak: dój maszynowego krów w dojarniach, za pomocą robotów udojowych, identyfikacją krów podczas wydawania pasz treściwej w stacji paszowej, zbieranie informacji o wydajności mlecznej krów, ich zdrowotności itp. Pozwalają na to zaawansowane informatycznie systemy monitorowania parametrów, procesów produkcji (inteligentne układy pomiarowe i wykonawcze). Rozwój technologii materiałowej [Haman 2002] w aspekcie wytwarzania inteligentnych układów pomiarowych w biosystemach pozwala już dzisiaj na wzrost poziomu identyfikacji zwierzą oraz analizowania ich cech osobniczych istotnych do doskonalenia przebiegu procesu jak dój maszynowy krów, poprzez np. wszczepianie nowoczesnych implantów, pozwalających na pełny monitoring zwierząt, analizę procesów przemiany materii, stopnia pobudzenia gruczołu mlekowego poprzez pomiar ciśnienia wewnątrz wymienia itp.

Tendencje rozwojowe techniki w produkcji zwierzęcej

Dalszy rozwój inżynierii w produkcji zwierzęcej wymaga dalszego doskonalenia parametrów funkcjonalnych urządzeń związanych z poprawą komfortu pracy ludzi, dobrostanu zwierząt oraz poprawą jakości i bezpieczeństwa produktów pochodzenia zwierzęcego. Konieczne zatem będzie:

– porównywanie i weryfikacje projektów technicznych w aspekcie poprawy mikroklimatu i dobrostanu zwierząt (chociażby ze względu na zmiany genetyczne zwierząt – dostosowanie wymiarów, parametrów elementów technicznych do żywego organizmu),

- doskonalenie systemów automatyzacji procesu żywienia z uwzględnieniem procesów przemiany materii, cech osobniczych zwierząt, efektywności produkcji,
- doskonalenie procesu doju z uwzględnienie automatyzacji i robotyzacji z uwzględnieniem pełnego biomonitoringu uwzględniającego fizjologię, etologię, patologię krowy,
- doskonalenie technologii utylizacji odchodów, ograniczenie emisji gazów cieplarnianych (amoniaku, zapachów, ścieków kiszonkowych, pyłów, CO_2),
- poprawa dobrostanu zwierząt (uwzględnienie zaostrzonych norm UE utrzymania zwierząt np. niosek w chowie klatkowym),

Inżynieria w produkcji zwierzęcej jest klasycznym obszarem wzajemnego uzupełniania się postępu technicznego i biologicznego, bowiem nie sposób wyobrazić sobie nowoczesne urządzenia techniczne występujące w procesach produkcji zwierzęcej bez uwzględnienia szeroko pojętej biologii lub fizjologii zwierzęcia. Urządzenia pracujące w pomieszczeniach inwentarskich zawierają zespoły wykonawcze służące do automatyzacji procesów produkcji, przy czym ciągle nie w pełni są one przystosowane do anatomii i fizjologii zwierząt. Klasycznym przykładem jest stosowanie robotów do doju krów, głównie w aspekcie zmniejszenia nakładu robocizny, tymczasem główną domeną automatyzacji czy robotyzacji doju powinna być poprawa dobrostanu zwierząt (poprzez optymalizację procesu doju, doskonalenie procesu stymulacji wymienia, poprawa jakości mleka, eliminacja wahań podciśnienia oraz powstawania nowych przypadków mastitis, zwiększenie częstotliwości doju krów. Elektronika o wysokim stopniu integracji stworzyła podwaliny do wprowadzania zaawansowanych systemów automatyzacji i robotyzacji procesów w produkcji zwierzęcej.

Postęp techniczny i technologiczny w tym zakresie jest niewątpliwy, jednakże najtrudniejszymi elementami budowy systemów w pełni zautomatyzowanych oraz robotów jest opracowanie precyzyjnych czujników i układów do pomiaru określonych parametrów wchodzących w skład systemów monitorowania i sterowania zespołami wykonawczymi np. podczas automatyzacji procesu doju krów, zintegrowanych systemów zadawania pasz dla trzody.

Na szczególną uwagę zasługują zaawansowane technologicznie systemy sterowania procesami technologicznymi jak np. komputerowe systemy zarządzania stadem, które wspomagają prace człowieka, pozwalają na optymalizację szeregu zabiegów technologicznych z uwzględnieniem cech osobniczych zwierząt, parametrów mikroklimatu i ochrony środowiska, okresu laktacji i innych szybkozmiennych czynników losowych decydujących o przebiegu i efektach produkcji zwierzęcej. Znaczny rozwój inżynierii w produkcji zwierzęcej w ostatnim okresie jest możliwy tylko w warunkach ścisłej współpracy badaczy reprezentujących nauki biologiczne, rolnicze, techniczne i informatyczne.

Inżynieria produkcji zwierzęcej stała się klasycznym przykładem bioinżynierii znajdując swoje miejsce w praktyce jako kompleksowe postrzeganie procesów biotechnicznych.

Aktualne oraz przewidywane na najbliższą przyszłość kierunki rozwoju inżynierii w produkcji zwierzęcej będą głównie prowadzone w zakresie:
- doskonalenie elementów techniki i technologii w produkcji zwierzęcej w celu zwiększenia efektywności produkcji,
- poprawę dobrostanu zwierząt,
- ograniczenie nakładów robocizny,
- ochrony środowiska naturalnego; co umożliwiają nowoczesne systemy utrzymania zwierząt – zapewniające całodobowy monitoring stada, zintegrowane systemy utrzymania zwierząt i regulacji mikroklimatu – wyposażone w inteligentne układy sterowania procesami przemiany materii np. u przeżuwaczy, co pozwoli na ograniczenie emisji amoniaku i innych gazów do atmosfery

Przykładowe kierunki rozwoju inżynierii w produkcji zwierzęcej dotyczą doskonalenia techniki i technologii w poszczególnych zabiegach w produkcji zwierzęcej jak:

a) żywienie – zintegrowane systemy identyfikacji zwierząt niezależnie od systemów utrzymania i rodzaju paszy, a to: rozbudowane programy zarządzania stadem krów, oparte na układach identyfikacji zwierząt bez względu na strefę przebywania pozwolą na optymalizację indywidualnego żywienia bazującego na cechach osobniczych zwierząt (baza danych zawierająca dane charakteryzujące zwierzę pod względem: okresu laktacji (systemy zarządzania stadem jak: Alpro, Afifarm, Dairy Plan itp.). Ważnym postępem w żywieniu trzody chlewnej będą zaawansowane technologicznie systemy bazujące na algorytmach przemiany materii, zdolności przyswajania składników pasz – np. błonnika, stanu zdrowia, produkcyjności) oraz pod względem innych priorytetów optymalnego żywienia, współdziałających z systemami zarządzania stadem z uwzględnieniem aktualnego zapotrzebowania organizmu zwierzęcia na białko (zróżnicowanie dla grup zwierząt) bez nadmiaru niektórych aminokwasów np. z wykorzystaniem interwałowego udostępniania paszy,
b) elektronicznie sterowane stacje żywieniowe dla poszczególnych grup zwierząt z możliwością dozowania aminokwasów syntetycznych, pomiar procesów przyswajania składników pasz itp. Przyszłość należy do bezobsługowych wozów paszowych mieszających,
c) dój mechaniczny – inteligentne systemy do automatyzacji doju krów – roboty udojowe, o wysokim stopniu integracji pozwalające na kompleksowe, indywidualne traktowanie każdej krowy i dostosowanie parametrów doju z uwzględnieniem cech osobniczych krowy pod względem:
   - stopnia pobudzenia gruczołu mlekowego przed dojem i podczas doju,
   - dostosowania parametrów ciśnienia i pulsacji do danej krowy, fazy doju, przebiegu kontrakcji mięśni gładkich strzyka (oscylacje) i stanu przewodu kanału strzykowego,
   - monitorowania jakości pozyskiwanego mleka pod względem zawartości oczekiwanych składników (co może zostać wykorzystane w module

sterowanego żywienia i przebiegu procesów przemiany materii), mikrobiologicznym i zawartości komórek somatycznych,
- monitorowania cech fizyko-mechanicznych mleka w aspekcie diagnozowania mastitis, badania zawartości określonych enzymów, hormonów z ewentualnie automatyczną inseminacją krów.

d) poprawa warunków bytowania zwierząt (dobrostanu) zmierzająca do ograniczenia zagrożenia środowiska, obniżenia nakładów robocizny i poprawy efektów ekonomicznych poprzez doskonalenie systemów sterowania mikroklimatem z pełnym monitoringiem i automatycznym sterowaniem zespołami odpowiadającymi za mikroklimat – tj. wentylacją i ogrzewaniem budynków z pomiarem emisji gazów szkodliwych wraz z automatycznym podawaniem preparatów biotechnologicznych i zapobiegających.

Przykłady zastosowania praktycznego w dzisiejszych oborach

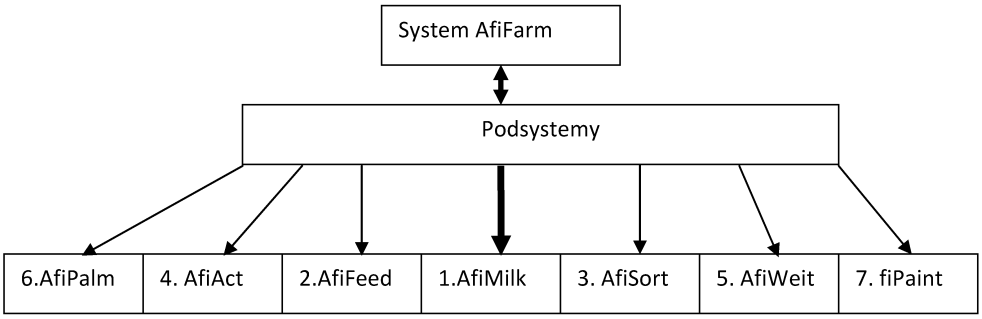
Nowoczesna obora – wymaga form utrzymania i obsługi krów mlecznych z zaangażowaniem wiedzy z szeregu dyscyplin naukowych w celu zapewnienia optymalnych warunków do produkcji mleka i dobrostanu krów. Występuje konieczność aplikacji najnowszych rozwiązań technicznych, organizacyjnych oraz informatycznych dla zapewnienia nowoczesnej organizacji chowu, żywienia i rozrodu bydła mlecznego. Niezmiernie ważną kwestią dla hodowcy jest umożliwienie pełnego i szybkiego dostępu do bieżących informacji o każdej krowie indywidualnie oraz informacji o grupie krów lub o całym stadzie. Na rynku polskim oferowanych jest kilka systemów, natomiast brak jest informacji dotyczących porównania ich parametrów funkcjonalnych i użytkowych.

Dlatego celem pracy jest dokonanie analizy porównawczej dominujących na rynku systemów zarządzania stadem krów w aspekcie oceny ich przydatności eksploatacyjnej. Zwrócona zostanie także uwaga na łatwość obsługi, wymagania sprzętowe oraz kompleksowości monitorowania krów.

Charakterystyka systemu zarządzania stadem AfiFarm

System AfiFarm - jest popularnym, używanym przez wielu producentów urządzeń udojowych systemem pracującym w środowisku Windows. Organizacja programu sprawia, że jeden program AfiFarm może zarządzać wieloma gospodarstwami. Możliwość komunikacji internetowej zapewnia zdalną analizę i kontrolę danych pochodzących z poszczególnych ferm. Pakiet AfiFarm stanowi kompleksową bazę danych oraz interfejs. Baza danych zawiera oprócz codziennie aktualizowanych informacji o poszczególnych zwierzętach, także dane ogólne dotyczące stada i jego genetyki oraz funkcje zarządzania hodowlą. Podsystemy działają zarówno w czasie rzeczywistym jak i umożliwiają uzupełniania bazy danych w dowolnej chwili. Praca modułów zapewnia automatyczny zapis danych w bazie. Oznacza to, że dane historyczne oraz nowo wprowadzane dane w każ-

dym dniu są kojarzone z danymi wprowadzanymi automatycznie przez poszczególne podsystemy. Dotyczy to ważnych informacji np. wynikających z interwencji lekarza weterynarii, zastosowanym leczeniu, podanych środkach leczniczych, cechach i właściwościach zwierząt, płodność, wykonanej inseminacji i innych zdarzeniach.



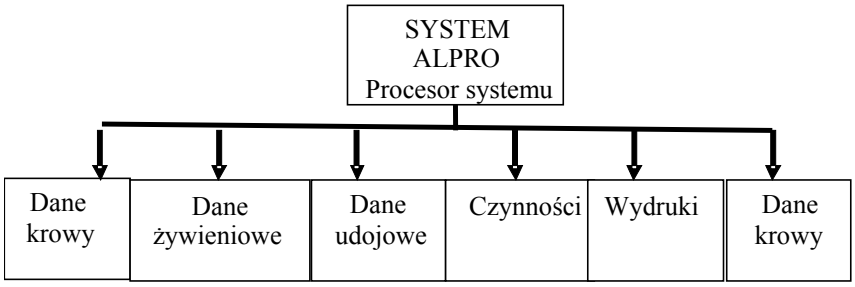
Rys. 1. Koncepcja budowy i przepływu informacji w stemie AfiFarm

Podsystem AfiMilk – jako wiodący w systemie, składa się z zintegrowanych, elektronicznych mierników przepływu mleka, umożliwiających pomiar ilości i strumienia przepływającego mleka indywidualnie dla każdej krowy, z opcją pełnej kontroli produkcji mleka na każdym stanowisku hali udojowej. Oprócz dokładnego pomiaru ilości wydojonego mleka, mierniki pozwalają na bezpośredni pomiar przewodności dielektrycznej mleka w celu kontroli stanu zdrowia krów. AfiMilk jest podstawową jednostką systemu zarządzania stadem, gdyż informacje o ilości pozyskiwanego mleka stanowią podstawowe informacje do tworzenia „Raportów" o stanie zdrowia, produkcyjności, przebiegu laktacji każdej krowy oddzielnie oraz grupy krów. Panel mlekomierza działa jako w pełni zintegrowany interfejs użytkownika do systemu, wyświetla informacje o krowach, zapewnia bieżące alarmy o problemach zdrowotnych oraz umożliwia dojarzowi, za pośrednictwem klawiatury panelu, na przesyłanie wiadomości do komputera, celem dokonania analizy przez zootechnika.

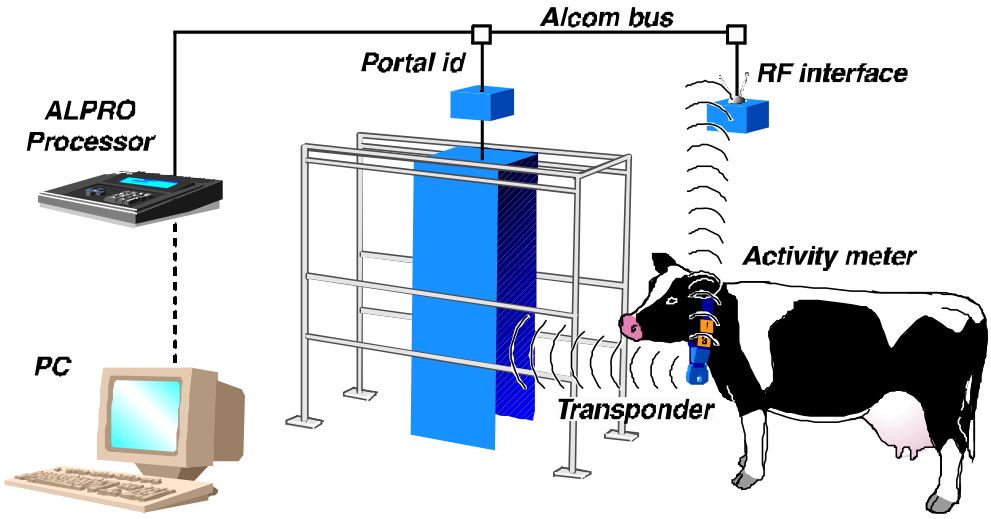
System zarządzania stadem ALPRO

System ALPRO posiada procesor oraz może współpracować z komputerem klasy PC, wykorzystując oprogramowanie pracujące w środowisku Windows. Umożliwia to łatwy dostęp do wszystkich informacji niezbędnych dla aktywnego zarządzania stadem i osiągania zaplanowanych wyników ekonomicznych. Codziennych analiza baz danych umożliwia hodowcy zachowanie równowagi pomiędzy działaniami krótkoterminowymi w aspekcie oczekiwań długoterminowych. Dane znajdujące się w procesorze ALPRO są odpowiednio chronione. Procesor jest przystosowany do trudnych warunków panujących w oborze jak

zapylenie, wilgotność. Konfiguracja systemu jest przyjazna dla użytkownika co sprawia, że posługiwanie się systemem jest dostępne nawet dla osób niezbyt biegle posługujących się komputerem osobistym. Zaletą jest także fakt, że system można dowolnie rozszerzać lub unowocześniać, co umożliwia jego dostosowanie do aktualnych wymogów [System zarządzania stadem ALPRO 2002]. Podstawą funkcjonowania systemu są umieszczony na szyi krowy transponder i aktywometr.



Rys. 1. Schemat budowy i konfiguracja systemu Alpro



Rys. 2. Kompleksowy system monitoringu krów Alpro

Menu Dane krowy- zawiera siedem funkcji umożliwiających programowanie danych dla każdej krowy.

– *Funkcja Krowa / transponder / aktywometr* - używana jest do wprowadzania lub wyszukiwania numeru transpondera, numeru aktywometra, numeru grupy

technologicznej i numeru ID krowy w przypadku określonej krowy, jeżeli znany jest jej numer,

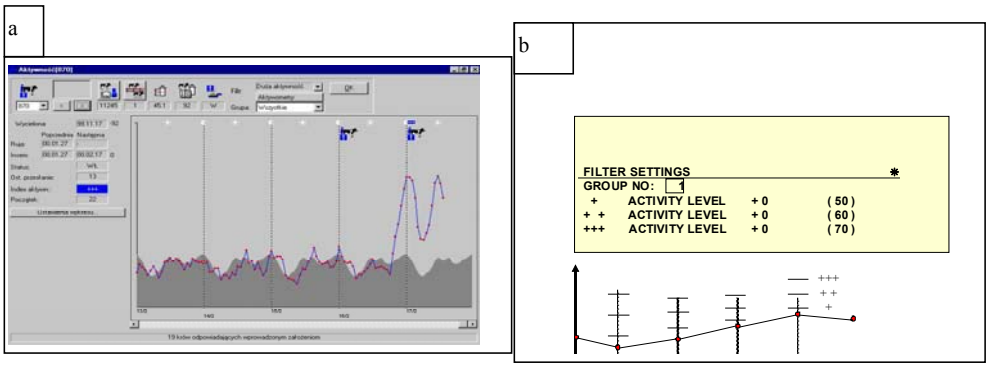
– *Funkcja Aktywność* - zawiera trzy rodzaje informacji o aktywności krowy; przebieg aktywności w postaci wykresów i odpowiadające im dane oraz sprawdzenie stanu aktywometru. Funkcja aktywność jest aktywna w przypadku krów posiadających aktywometry. Pomocna jest ona dla osób zarządzających stadem w momencie identyfikacji rui. Informacje zawarte w tej opcji potwierdzają ruję zaobserwowaną lub wykazywaną na liście alarmowej dotyczącej: Krzywa aktywności, Dane aktywności, Tryb aktywometru.
– *Funkcja Hodowla* - przedstawia kalendarz hodowlany pozwalający śledzić najważniejsze etapy cyklu hodowlanego w przeciągu laktacji i życia krowy. Krowa może znajdować się w siedmiu etapach hodowlanych: *wycielenie – ruja, ruja – inseminacja, inseminacja – sprawdzenie cielności, inseminacja – sprawdzenie cielności 2, inseminacja – zasuszenie, zasuszenie – wzrost płodu, wzrost płodu – wycielenie.*

Funkcja dane krowy – informuje hodowcę na jakim etapie hodowlanym znajduje się krowa oraz pokazuje wszystkie dane hodowlane krowy. W grupie danych udojowych szczególnie cenne są informacje stanowiące podsumowanie w menu udój, a to:

– *alarm niskiej wydajności* – funkcja wykazuje wszystkie krowy z niższą od spodziewanej wydajnością, co może być wywołane wieloma czynnikami organizacyjnymi, żywieniowymi, zdrowotnościowymi lub rują krowy.

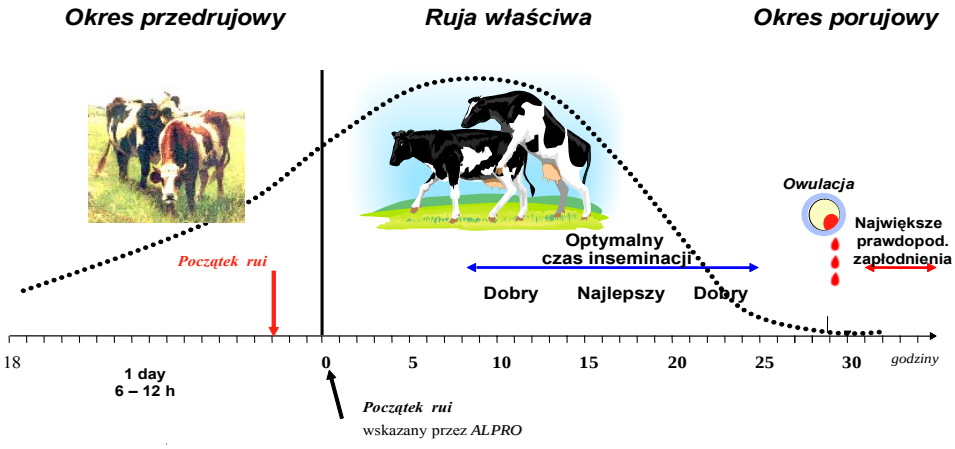
Bardzo pomocna dla hodowcy jest *opcja podsumowanie* — która wykazuje krowy w określonym etapie hodowlanym, dla których przypisane są alarmy: mały udój, małe spożycie paszy, wysoka aktywność ale także sumaryczne wydajności mleka dla krowy, grupy lub stada w danym okresie oceny.

Obliczanie małego udoju oparte jest na zasadzie ciągłości sekrecji mleka przez gruczoł mlekowy krowy. Program analizuje czas jaki upłynął od ostatniego udoju i oblicza wielkość spodziewanego udoju bazując na średniej w ciągu ostatnich siedmiu dni. W ten sposób użytkownik otrzymuje szybką informację o ewentualnych zaburzeniach sekrecji mleka danej krowy. Alarm małego udoju może być jednym z symptomów rui krowy, co system wykorzystuje uwzględniając dalsze informacje dotyczące danej krowy. Przede wszystkim oceniana jest zmiana aktywności krowy oraz zmiana ilości pobieranej paszy. Zmiana aktywności powyżej normy dla danej krowy jest ważną informacją systemu systemie biologii krowy. Po wprowadzeniu krowy do systemu, po 5 dniach śledzenia jej zachowania system jest gotowy do alarmowania zmian aktywności (rys. 3). Wystąpienie poziomu aktywności krowy, który wykazuje tendencję wzrostową aż do wysokiego (rys. 3b), alarmowanego symbolem „+++" co daje 70% pewność, że w danej godzinie następuje najlepszy czas do inseminacji.



Rys. 3. Funkcja aktywność krowy w systemie Alpro; a) – zmiana aktywności krowy, b) – ustawienie filtra do wyznaczania optymalnego poziomu aktywności krowy w systemie

Informacje są szczególnie przydatne po ustawieniu odpowiedniego poziomu filtra, aby informacje pozwoliły na określenie najlepszego terminu inseminacji, zgodnie z biologią krowy (rys. 4).



Rys. 4. Prezentacja biologii krowy w systemie Alpro; wersja 6.0

Trendy rozwojowe – roboty udojowe – stanowią znaczący postęp w obsłudze krów mlecznych, zwłaszcza pod względem zapewnienia warunków doju maszynowego krowy maksymalnie zbliżonych dla do jej cech osobniczych (tzw. naturalny (dobrowolny) sposób dój), ograniczenia pracochłonności podczas doju oraz wraz z ich doskonaleniem także zapewnienia wysokiej jakości mleka.

Rys. 5. Jedno- i wielostanowiskowy robot udojowy

Współczesne roboty udojowe zapewniają najwyższą jakość mleka oraz zapewniają kompleksowe zarządzanie i kontrolę całego stada krów, podobnie jak komputerowe systemy zarządzania stadem w przypadku doju krów w dojarniach.

Roboty udojowe zapewniają bardzo zaawansowane systemy wykrywania mastitis, dobowy sposób oznaczania zawartość tłuszczu i białka u każdej krowy, co z kolei może być wykorzystane programie dynamicznego żywienia w celu optymalizacji dochodów w gospodarstwa. W robotach Lely na uwagę zasługuje zastosowanie nowego typu czujników z wyjątkowo delikatnym postępowaniu z mlekiem w instalacji mlecznej oraz metody czyszczenia strzyków i wymienia, co zapewnia uzyskanie mleka najwyższej jakości. Godnym podkreślenia jest także zastosowana metoda kontroli jakości mleka (MQC -Milk Quality Control) – kontrola jakości znajduje się w ramieniu robota w pobliżu wymienia. Takie rozwiązanie sprawia , że podczas doju, mleko z każdej ćwiartki jest stale kontrolowane. MQC dostarcza do systemu podstawowych informacji o mastitis, tłuszczu, białku i laktozie w celu zarządzania jakością mleka i zdrowiem krów oraz zapewnia indywidualną pulsację dostosowaną do każdej ćwiartki.

System Lely MQC - mierzy w każdej ćwiartce następujące parametry:

– barwę mleka,
– przewodność dielektryczną,
– czas doju maszynowego ćwiartki wymienia,
– czas pustodoju,
– szybkość wypływu mleka z każdej ćwiartki,
– temperaturę mleka.

Do czyszczenia strzyków zastosowano system wirujących szczotek, które i czyszczą nie tylko strzyki, ale również dolne partie wymienia, na które w trakcie doju oddziałuje główka gumy strzykowej. Ważną funkcją szczotek jest efektywne i dotykowe masowanie wymienia wpływające pozytywnie na poziom wydzielania oksytocyny. Tej funkcji pozbawione są inne rozwiązania robotów udojowych, bowiem lepsza stymulacja wymienia przed dojem skraca czas doju, zwiększa prędkość oddawania mleka oraz zwiększa przepustowość robota.

Bardzo zaawansowany technologicznie jest system monitorowania strzyków i zakładania kubków udojowych z wykorzystaniem kamery 3D. System ten jest odpowiedzialny za ruch ramieniem podczas zakładania kubków co przy udziale systemu TDS – tj. trzywarstwowej technologii skanowania strzyków, zapewnia szybką i dokładną lokalizację strzyka. Dzięki temu, że ramię robota zawiera w sobie większość podzespołów udojowych, wystarcza zaledwie kilka ruchów do założenia kubków udojowego. Pozwala to na wyeliminowanie zbędnych ruchów, co istotnie wpływa na wzrost przepustowości robota.

Rys. 6. System szczotek wirujących do mycia i masowania strzyków oraz wymienia

Łącznie podczas doju nowoczesny robot udojowy Lely A4 rejestruje szereg wskaźników jak:
- barwa mleka (w każdej ćwiartce),
- zawartość tłuszczu i białka w mleku,
- zawartość laktozy w mleku,
- przewodność mleka (w każdej ćwiartce),
- temperatura mleka,
- liczba komórek somatycznych w mleku (w każdej ćwiartce),
- przeżuwanie minutowe krowy,
- aktywność krowy,
- masa ciała krowy,
- produkcja mleka od krowy,
- spożycie paszy treściwej krowy,
- nie pobraną masę paszy treściwej przez krowę,
- czas doju / czas pusto doju,
- maksymalna prędkość doju.

Źródło: materiały Lely

Rys. 7. Nowoczesna obora zarządzana robotem

W nowoczesnych oborach w niedalekiej przyszłości należy oczekiwać wdrażania osiągnięć nanotechniki, co pozwoli na zastosowanie antybakteryjnych powłok w instalacji udojowej kontaktującej się z mlekiem, samooczyszczające się powierzchnie kontaktujące się z paszą oraz być może znajdą zastosowanie w termoizolacji nanopianki bazujące na grafenie (za co w 2010 roku Andre Geim i Konstantin Novoselov dostali nagrodę Nobla) [Lipiński 2011].

Przykładem potwierdzającym słuszność wyrażanej tu prognozy postępu w uzbrajaniu technicznym obór była wystawa EuroTier 2010 w Hanowerze, gdzie 1700 wystawców z całego świata zaprezentowało ciekawe rozwiązania. Na szczególne uznanie, oprócz wielu ciekawych rozwiązań maszyn i urządzeń do żywienia, doju, pielęgnacji itp., było zaprezentowanie rozwiązań o charakterze pionierskim w stosunku do nawet nowoczesnych urządzeń jak roboty i inne.

Należy do nich zrobotyzowana dojarnia karuzelowa DeLaval AMR, w której do obsługi krów zastosowano pięć robotów (manipulatorów), umieszczonych wewnątrz obracającej się platformy.

Dwa manipulatory realizują przedudojowe zabiegi sanitarne, dwa następne zakładają i zdejmują kubki udojowe oraz piąty wykonuje zraszanie wymienia po doju środkiem dezynfekującym. W pracy dojarni występują cykliczne, krótko-

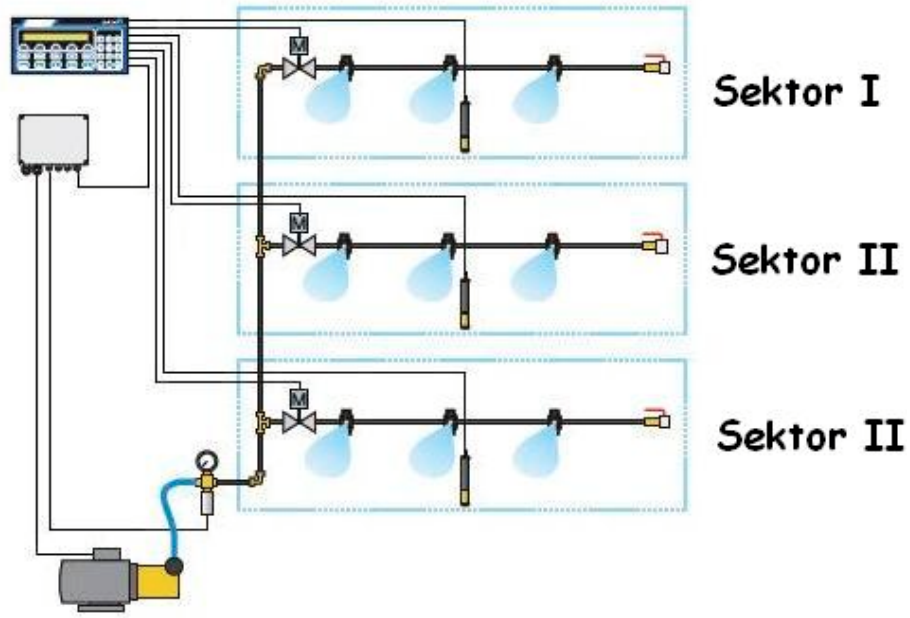
okresowe postoje, kiedy roboty wykonują przewidziane do nich zabiegi technologiczne. Dojarnia jest wyposażona w inteligentny system pomiaru jakości mleka – przewodność elektryczna, barwa mleka co pozwala na identyfikację stanów zapalnych wymienia (mastitis),

Nowoczesna chlewnia – przewiduje się dalszy rozwój i udoskonalanie systemów żywienia świń, ukierunkowanych na rozwój systemów żywienia pełnoporcjowego *ad libitum* dla warchlaków i tuczników za pomocą różnego rodzaju inteligentnych automatów paszowych, dozujących paszę adekwatnie do grupy wiekowej tuczników z doborem składników żywieniowych. Dobrym wzorem są już promowane i stosowane w niektórych krajach europejskich systemy żywienia paszą płynną wcześniej fermentowaną w specjalnych zbiornikach fermentacji za pomocą specjalnych bakterii. Fermentacja wstępna powoduje znaczne obniżenie pH paszy, poprawia jej strawność i wykorzystanie, ogranicza występowanie biegunek, co sprawia, że system żywienia z prefermentacją paszy może być alternatywę do wycofywanych antybiotykowych stymulatorów wzrostu.

Znaczący postęp nastąpił w zakresie sterowania warunkami mikroklimatu w budynkach inwentarskich dla trzody chlewnej, który w znacznym stopniu jest uzależniony od obsady zwierząt, rozwiązania konstrukcyjnego budynku, termoizolacji ścian, systemem wentylacji i ogrzewania. Na uwagę zasługuje postęp technologiczny w zakresie wentylacji budynków, gdzie wprowadza nowe systemy wentylacji mechanicznej, sterowanej automatycznie w oparciu o optymalną dla danej grupy zwierząt temperaturę, a niekiedy także w oparciu o wilgotność powietrza. Służą do tego automatycznie sterowane za pomocą specjalnych sterowników klapy. Wśród najczęściej spotykanych ostatnio systemów wentylacji mechanicznej należą: wentylacja podsufitowa, poprzeczna, podłużna, drzwiowa i kominowa.

Znaczącą poprawę warunków mikroklimatu może zapewnić wielofunkcyjny system chłodzenia wysokociśnieniowego HPC (firmy MardaR), który jest rozwiązaniem pozwalającym na zmniejszenie stresu cieplnego zwierząt hodowlanych. Poza możliwością znacznego obniżenia temperatury w budynku inwentarskim, system daje możliwość odpowiedniego nawilżenia powietrza oraz dezynfekcji (www.1). Strumień rozpylanej cieczy chłodzącej wytwarzany przez układ HPC jest rozprowadzany za pomocą ruchu powietrza wytwarzany przez system wentylacji. System chłodzenia pracować może z podziałem na kilka stref zasilanych z niezależnych linii, co umożliwia stosowanie systemu także w bardziej złożonych budynkach z wieloma pomieszczeniami, np. w dużych kompleksach loch z różną liczbą zwierząt w poszczególnych sektorach.

W żywieniu trzody – na uwagę zasługuje opracowany przez firmę Big Dutchman systemu USG, pozwalającego na bezstresowe skanowanie ultrasonografem i sprawdzanie ciąży loch utrzymywanych grupowo. Należy dodać, że główna część systemu została dostosowana do przyszłościowego elektronicznego systemu żywienia CallMatic Pro Big Dutchman. Obraz ze skanera jest nagrywany w systemie video a następnie może być analizowany w komputerze.



Rys. 8. Nowoczesny system chłodzenia wysokociśnieniowego HPC

Wielofazowy system żywienia trzody firmy Roxell - MULTIfast może być ciekawym i przyszłościowym automatycznym systemem żywienia. System ten pozwala dostosować ilość i skład paszy dla potrzeb każdej grupy żywieniowej świń i pozwala na monitorowanie i mieszanie do 20 różnych rodzajów pasz. Cechą charakterystyczną systemu, że pasza jest ważona, mieszana i rozprowadzana zgodnie z indywidualnymi wymogami każdej grupy świń. Sercem systemu jest panel kontrolny na którym graficznie przedstawiane są wszystkie aktualnie wykonywane działania. To pozwala hodowcy podgląd na proces przygotowywania i zadawania paszy.Podłączenie systemu do internetu, pozwala na optymalne, zdalne zarządzanie i kontrolę procesu. Ważną techniczną cechą systemu MULTIfast jest duża prędkość przesyłania indywidualnych porcji paszy do automatów paszowych – nawet do 496 sztuk. Wydajność systemu jest wysoka i wynosi 3600 kilogramów na godzinę. Inteligentny nadzór nad procesem wysypywania się paszy daje natychmiastową informację o stanie otwarcia lub zamknięcia zsypu paszy. Brak mechanicznych czujników podnosi niezawodność procesu karmienia. Zastosowanie tylko rur prostych w systemie transportu zwiększa trwałość i wydajność.

Podsumowanie

Inżynieria w produkcji zwierzęcej jest szczególnie wymagającą dyscypliną aplikacji techniki ze względu na bezpośredni związek z żywym organizmem zwierząt. Relacje te szczególnie manifestują się podczas rozwiązywania procesów doju maszynowego krów, kiedy wprowadzane rozwiązania techniczne oprócz zmniejszenia pracochłonności muszą jednocześnie zapewnić pełne bezpieczeństwo dla gruczołu mlekowego. Zauważalny i znaczący postęp nastąpił w badaniach nad unowocześnianiem techniki udojowej, zwłaszcza mając na uwadze zdecydowanie większą wydajność mleczną krów w Polsce a także wzrastające wymagania odnośnie dobrostanu zwierząt. Temu aspektowi poświęcono wiele miejsca po wejściu Polski do struktur UE, w związku z koniecznością wdrożenia standardów utrzymania zwierząt gospodarskich. W procesach produkcji zwierzęcej dominującymi stają się zarówno układy automatyki jako elementy wykonawcze, ale także wspomagające podejmowanie decyzji w procesach żywienia, zarządzania stadem oraz zdalnego sterowania ruchem zwierząt w obrębie budynku inwentarskiego. Na tle postępu światowego szczególnie wysoko należy ocenić krajowe badania nad doskonaleniem techniki udojowej w aspekcie poprawy parametrów doju krów o zwiększonej wydajności mlecznej. Ważnym osiągnięciem naukowym było opracowanie modeli matematycznych opisujących wpływ strumienia wypływu mleka na: stabilność i wahania podciśnienia w aparacie udojowych z uwzględnieniem elastyczności gum strzykowych, stymulacyjną funkcję gumy strzykowej, dynamikę przepływu powrotnego w krótkim przewodzie oraz na zmiany zawartości komórek somatycznych w mleku, budową inteligentnych systemów udojowych, wizualizacją pracy aparatu udojowego.

Wiele cennych wyników badań uzyskano w zakresie poprawy dobrostanu zwierząt, a zwłaszcza ograniczenia emisji amoniaku. Należą do nich prace nad doskonaleniem systemów odzysku ciepła z produkcji zwierzęce oraz wdrażanie opracowanych rozwiązań w gospodarstwach wiejskich. Obecnie badania koncentrują się na opracowaniu systemów odzysku ciepła ze ściółki i systemów wentylacji do klimatyzowania pomieszczeń inwentarskich i socjalnych oraz do innych potrzeb grzewczych. Podstawowym celem badań jest opracowanie systemów umożliwiających obniżenie kosztów zużycia energii elektrycznej w gospodarstwach wiejskich oraz kształtowania właściwego klimatu w budynkach inwentarskich. Ponadto wykonano liczne badania laboratoryjne procesów fermentacyjnych i egzotermicznych w odchodach w celu opracowania założeń do optymalizacji parametrów technicznych instalacji do odzysku ciepła oraz ograniczenia emisji zanieczyszczeń powietrza.

Bibliografia

Ekdahl H. 2000. Agricultural Technology and the total system. J. Agric. Eng. Res.76.
Haman J. 1994. Od inżynierii do bioinżynierii. Wykład inauguracyjny w AR we Wrocławiu. Wrocław.
Haman J. 2002. W stronę bioinżynierii. Inżynieria Rolnicza 5. Warszawa.
Lipiński M. 2011. Prognoza postępu technicznego uzbrojenia obór. Referat na XI. Międzynarodową fermę bydła. Poznań.
Szlachta J. 2002. Miejsce i rola inżynierii rolniczej po integracji z UE. Inżynieria Rolnicza Nr 5/38. Warszawa.
Strony w internecie:
http://www.mardar.eu/pl/oferta/chlodzenie_wysokocisnieniowe/1/opis/HPC_chlodzenie

TECHNIKA WYTWARZANIA MIESZANEK PASZOWYCH

Marek Tukiendorf

Katedra Techniki Rolniczej i Leśnej
Politechnika Opolska
e-mail: m.tukiendorf@po.opole.pl

„Potem Bóg rzekł: „Niechaj ziemia wyda istoty żywe różnego rodzaju: bydło, zwierzęta pełzające i dzikie zwierzęta według ich rodzajów!" I stało się tak. Bóg uczynił różne rodzaje dzikich zwierząt, bydła i wszelkich zwierząt pełzających po ziemi.

I widział Bóg, że były dobre. A wreszcie rzekł Bóg: „Uczyńmy człowieka na Nasz obraz, podobnego Nam. Niech panuje nad rybami morskimi, nad ptactwem powietrznym, nad bydłem, nad ziemią i nad wszystkimi zwierzętami pełzającymi po ziemi!". Stworzył więc Bóg człowieka na swój obraz, na obraz Boży go stworzył: stworzył mężczyznę i niewiastę. Po czym Bóg im błogosławił, mówiąc do nich: „Bądźcie płodni i rozmnażajcie się, abyście zaludnili ziemię i uczynili ją sobie poddaną; abyście panowali nad rybami morskimi, nad ptactwem powietrznym i nad wszystkimi zwierzętami pełzającymi po ziemi". I rzekł Bóg: „Oto wam daję wszelką roślinę przynoszącą ziarno po całej ziemi i wszelkie drzewo, którego owoc ma w sobie nasienie: dla was będą one pokarmem". A dla wszelkiego zwierzęcia polnego i dla wszelkiego ptactwa w powietrzu, i dla wszystkiego, co się porusza po ziemi i ma w sobie pierwiastek życia, będzie pokarmem wszelka trawa zielona". I stało się tak. [Biblia Tysiąclecia]

Wstęp

Od czasu, kiedy człowiek przysposobił inne stworzenia do koegzystencji, stanął przed koniecznością zapewnienia swojemu żywemu inwentarzowi pożywienia. W trakcie poznawania wymagań żywieniowych i technik udoskonalania pokarmu dla zwierząt, rozpoczęła się ewolucja gałęzi wiedzy zwanej dzisiaj paszoznawstwem. Wiedza przekuwana w praktykę pozwoliła rozwinąć przemysł paszowy, który stanowi bardzo silną sferę gospodarki szczególnie w krajach o dużym potencjale rolniczym. Paszoznawstwo w czasach dzisiejszych pozwala na żywienie zwierząt w sposób racjonalny, doprowadzając w efekcie do pełnego wykorzystania zdolności produkcyjnych, jakimi zwierzęta są obdarzone. Oprócz wiedzy „jak żywić" i „czym żywić", paszoznawstwo w swoim zakresie posiada również ważne informacje dotyczące wiedzy „jak produkować". Dokonuje

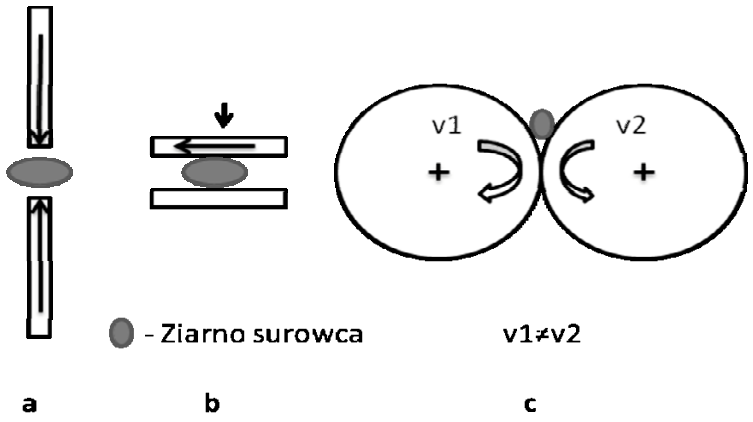
również pewnego rodzaju uporządkowania, aby wiedza o przygotowywaniu pasz była spójna. W podręcznikach dotyczących żywienia zwierząt możemy zauważyć wyraźne podziały pasz na dwie główne grupy: grupę pierwszą stanowią pasze gospodarskie, czyli takie, które są wytwarzane i skarmiane, jako oddzielne składniki, natomiast grupa druga to wieloskładnikowe mieszanki przemysłowe [Roszkowski 1997]. Aspekt techniczny zawarty w tytule artykułu możemy znaleźć w każdej ze składowych paszoznawstwa. Aspekt techniczny stanowią zarówno urządzenia wykorzystywane do zasiewu i zbioru roślin, z których pasze się wytwarza, urządzenia do przeprowadzania reakcji biotechnologicznych w celach wytwarzania, bądź polepszania jakości karmy, lub pozbywania się odpadów z produkcji pasz [Szlachta, Fugol 2009], jak i sam sposób skarmiania (paszociągi, systemy paszowe). Aby nie umniejszyć wagi żadnego z etapów pozyskiwania żywności dla zwierząt, należy omówić szczegółowo aspekty techniczne przygotowania pasz zarówno dla pierwszego, jak i drugiego rodzaju pasz. Wszelako nie jest to jednak możliwe ze względu na ramy objętościowe artykułu. Dodatkowo temat może dotyczyć wytwarzania pasz zarówno dla bydła i drobiu, ryb czy zwierząt futerkowych. Z tego powodu dokonano tu tylko pewnego przybliżenia dotyczącego tylko przygotowywania przemysłowych mieszanek paszowych w mieszalniach pasz. Omówiono etapy produkcji od momentu dostarczenia surowców do końca procesu technologicznego bez pokazywania charakterystyk fizykochemicznych surowców.

Rozdrabnianie surowców

Przygotowywanie mieszanek paszowych to proces, który najogólniej można przedstawić, jako zmieszanie odpowiednio przygotowanych surowców w urządzeniu mieszającym według określonej receptury. Technologia wytwarzania mieszanek paszowych w wytwórniach pasz obejmuje następujące etapy: przyjęcie surowca, czyszczenie surowca, rozdrabnianie, dozowanie, mieszanie, uszlachetnianie, pakowanie, wysyłka. Każdy z tych etapów jest niezwykle ważny dla uzyskania doskonałej jakości produktu końcowego, ale szczególną uwagę należy zwrócić na rozdrabnianie surowca i jego dozowanie, jako na operacje wykonywane przed samym mieszaniem komponentów paszy. Te trzy etapy produkcji decydują bezpośrednio o jakości otrzymanego produktu końcowego. Trafiający do zakładu surowiec musi zostać na początku oczyszczony ze względu na bezpieczeństwo przyszłego skarmiania zwierząt, ale także ze względu na bezpieczeństwo urządzeń przetwarzających surowiec w paszę. W surowcu nieoczyszczonym znajdować się mogą rozmaite zanieczyszczenia od nasion roślin niepożądanych w paszach, przez różnego rodzaju sznurki i odpadki papierowe na metalowych zanieczyszczeniach kończąc. Czyszczenie surowca można podzielić następująco: wstępne czyszczenie w trakcie przyjęcia surowca przed składowaniem, odseparowywanie zanieczyszczeń metalowych, obłuskiwanie surowców (ten etap zależy

od rodzaju surowca). Podczas przyjmowania do zakładu surowca w postaci sypkiej zsypywany jest on do wózków przyjęciowych przez kraty, których zadaniem jest oddzielenie dużych, stałych zanieczyszczeń od surowca. Surowiec dostarczany do zakładu w workach również przesypywany jest do wózków przyjęciowych przez elementy odseparowujące duże zanieczyszczenia. Często, szczególnie w małych zakładach zamiast krat stosowane są poprzeczne pręty (ruszty), jednak nie spełniają one swej roli tak dobrze jak kraty [Grochowicz 1996]. Dalsze czyszczenie surowca polega na przesianiu go przez sita, których oczka mają większe wymiary od surowca, lecz mniejsze od zanieczyszczeń. Surowiec przed składowaniem w silosach przechodzi przez zapory magnetyczne, które usuwają zanieczyszczenia metalami. Zarówno kraty, sita jak i zapory magnetyczne muszą być często sprawdzane przez pracowników zakładu i oczyszczane ze wszelkich zatrzymanych nań zanieczyszczeń. Obłuskiwanie surowca ma na celu zwiększenie wartości odżywczej surowca i polega na pozbyciu się ciężkostrawnych dla inwentarza włókien i łusek [Grochowicz 1996]. Prowadzone jest poprzez szereg etapów dobranych odpowiednio do rodzaju surowca. Dopiero tak przygotowany surowiec może zostać poddany rozdrabnianiu. Z teoretycznego punktu widzenia najlepsze wymieszanie składników można uzyskać przy jednakowym wymiarze wszystkich cząstek, niezależnie od rodzaju surowca, przy zachowaniu cech materiału ziarnistego u każdego z tych surowców, tj. bez nadmiernego ich rozdrobnienia [Grochowicz 1996]. W procesie rozdrabniania uzyskuje się cząstki surowców o wymiarach mniejszych od wymiarów początkowych materiału, a w przypadku surowców pochodzenia roślinnego ich kształt może być różny i nieregularny [Opielak 2000]. W literaturze dotyczącej paszoznawstwa można znaleźć informacje świadczące o tym, że zwierzęta skarmiane paszami o zwiększonym stopniu rozdrobnienia wykazują wyższy wzrost przyrostów dobowych, wyższą wydajność rzeźną i mniejsze zapotrzebowanie na paszę [Grochowicz, Roszkowski 1997; Rynkiewicz 2008]. Właściwe rozdrobnienie surowców ma też znaczenie w późniejszej granulacji mieszanki paszowej [Rynkiewicz 2008]. Dodatkowo niewłaściwe rozdrobnienie surowców może niekorzystnie wpłynąć na ich dozowanie jak i późniejsze mieszanie składników w zakładach produkujących pasze [Zawiślak, Sobczak, Panasiewicz 2009]. Ten etap obróbki surowców jest istotnie szeroki pod kątem technologicznym. Głównie z tego względu, że istnieje bardzo wiele różnych surowców, które stanowią późniejsze komponenty pasz i tyle samo urządzeń oraz technik prowadzenia procesu rozdrabniania. Cechy fizyczne surowców decydują o wyborze metody oraz urządzenia do rozdrabniania. Prawidłowy dobór tych elementów decyduje z kolei o ogólnym bilansie opłacalności produkcji. Do głównych cech fizycznych, mających wpływ na proces rozdrabniania surowców należy wilgotność surowca, cechy gatunkowe i odmianowe, szklistość i twardość surowców. Nie bez znaczenia są także parametry eksploatacyjne urządzenia, w którym przeprowadzane jest rozdrabnianie. Porównanie ponoszonych nakładów energii do rozdrabniania tego samego ziarna w dwóch różnych

urządzeniach często wykazuje znaczne różnice [Wiercioch, Niemiec 2006]. Najbardziej popularnymi urządzeniami służącymi do rozdrabniania ziaren są śrutowniki, rozdrabniacze bijakowe, rozdrabniacze tarczowe oraz gniotowniki i mlewniki walcowe. Idea ich działania sprowadza się do przepuszczenia ziaren między elementami roboczymi urządzenia, co powoduje zmianę wymiarów ziaren surowca. Stan techniczny ruchomych elementów roboczych powinien podlegać częstym kontrolom. Gwarantuje to ich poprawne działanie, a tym samym pożądaną jakość uzyskiwanego produktu. Operacje rozdrabniania surowców zostały przedstawione na rysunku 1.



Źródło: [Grochowicz 1996]

Rys. 1. Operacje rozdrabniania surowca: a) rozgniatanie, b) rozcieranie, c) kruszenie

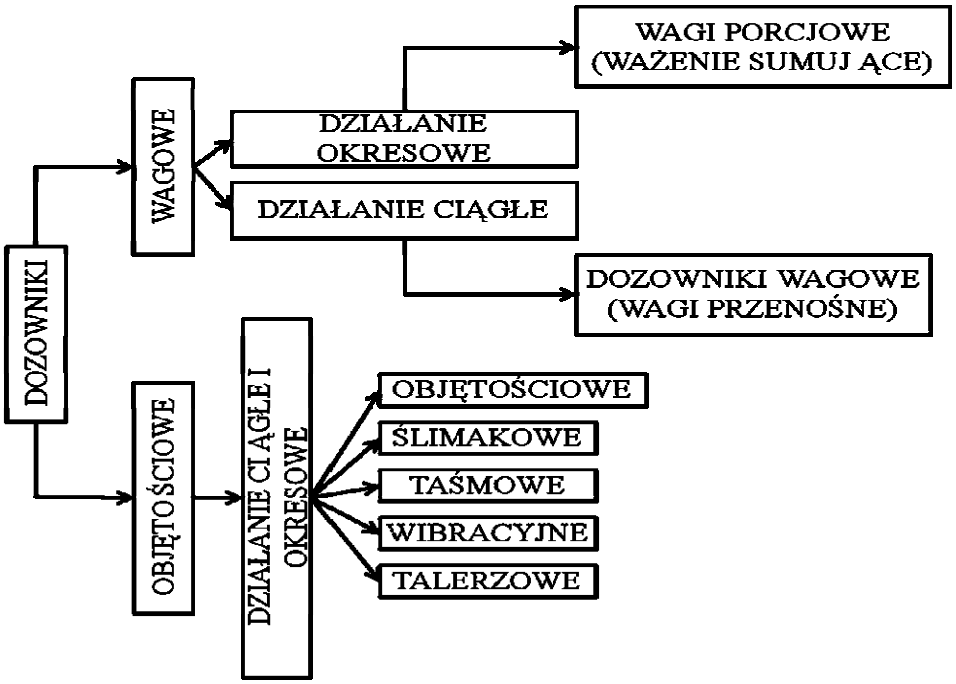
Dozowanie surowców

Jednym z warunków prawidłowego przebiegu dowolnego procesu technologicznego w przemyśle zbożowo młynarskim i paszowym jest konieczność doprowadzenia założonej i wymaganej ilości różnych surowców i dodatków w danej linii produkcji [Zawiślak, Sobczak, Panasiewicz 2009].

W paszoznawstwie wyróżniamy dwie metody dozowania surowców. Metoda ręczna szczególnie spotykana w małych zakładach wytwarzających mieszanki paszowe lub w fermach, gdzie skarmia się zwierzęta paszami własnoręcznie przygotowywanymi. Drugą metodą jest metoda automatyczna dozowania surowców. Pomiędzy tymi metodami można wyróżnić dodatkowo metodę półautomatyczną [Grochowicz 1996]. Nowoczesne mieszalnie pasz wykorzystują w produkcji systemy zautomatyzowanego dozowania surowców sterowane komputerowo.

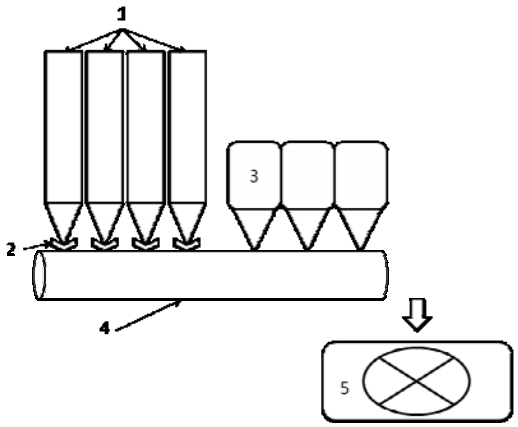
Postęp technologiczny w kierunku komputeryzacji zakładów paszowych sprawił, że dozowane mogą być obecnie nawet mikrodawki surowców, a tworzone mieszanki paszowe mogą być idealnie dobrane do potrzeb żywieniowych zwierząt inwentarskich. Automatyzacja sterowania i kontroli procesów produkcyjnych w przemyśle paszowym wymaga stosowania odpowiednio dobranych i prawidłowo wdrożonych systemów informatycznych, które odpowiednio wdrożone zapewniają optymalne możliwości wytwarzania produktu [Mościcki 2008].

Urządzenia dozujące surowce w zakładzie wytwarzającym paszę dla zwierząt można podzielić na dwie grupy, co uwidacznia rysunek 2. Grupa pierwsza obejmuje urządzenia odmierzające określoną objętość surowców, zapewniając tym samym możliwość uzyskiwania strumienia materiału sypkiego o stałym (w przybliżeniu) natężeniu przepływu [Grochowicz 1996]. Na rysunku 3 został przedstawiony schemat instalacji ciągłego dozowania objętościowego surowców.



Źródło: [Grochowicz 1996]

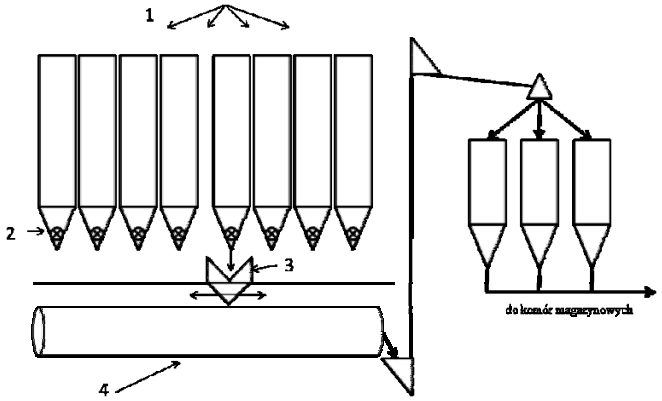
Rys. 2. Podział dozowników i urządzeń dozujących



Źródło: [Grochowicz 1996]

Rys. 3. Schemat instalacji ciągłego dozowania objętościowego surowców:
1 – komory dozownikowe, 2 – dozowniki objętościowe, 3 – mikrodozowniki,
4 – przenośnik ślimakowy, 5 – mieszarka ciągłego działania

Do drugiej grupy należą dozowniki wagowe, które mogą być urządzeniami mniej lub bardziej skomplikowanymi. Na rysunku 4 przedstawiono zastosowanie dozowników wagowych w linii ręcznego dozowania surowców.



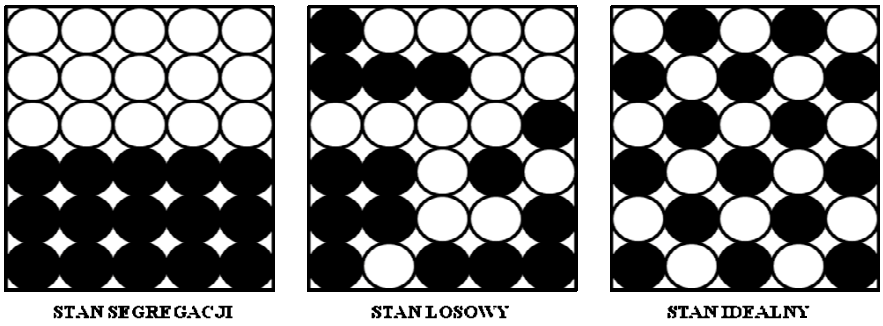
Źródło: [Grochowicz 1996]

Rys. 4. Linia dozowania ręcznego z wózkiem wagowym na szynie: 1 – komory dozownikowe, 2 – ręcznie otwierane króćce wylotowe surowca, 3 – wózek wagowy na szynie,
4 – przenośnik ślimakowy

Mieszanie surowców

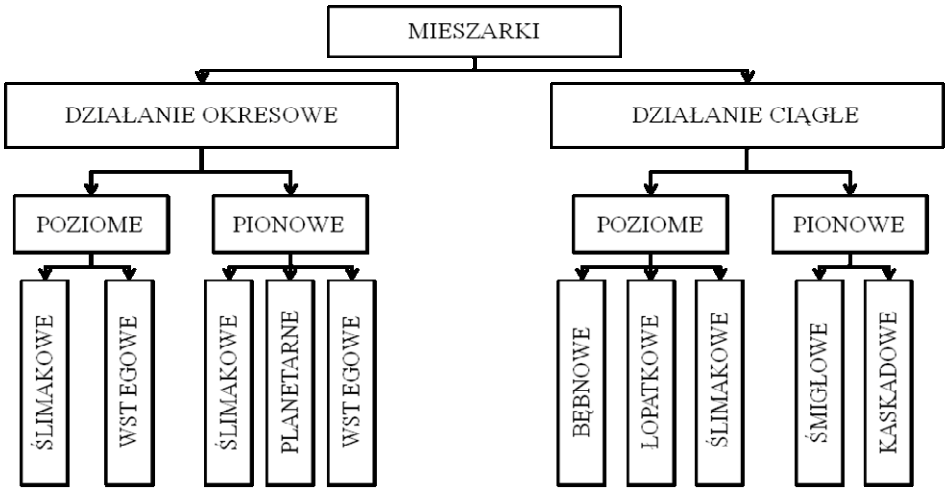
Mieszanie niejednorodnych, wieloskładnikowych układów ziarnistych jest procesem niezwykle złożonym. Mieszaniny ziarniste to układy złożone najczęściej z komponentów różniących się takimi cechami, jak wymiary ziaren i średnic. Parametry te mają decydujący wpływ na jakość mieszanin w procesach technologicznych przemysłu rolno-spożywczego [Boss 1987; Tukiendorf 2003]. Decydują one znacząco o stopniu homogeniczności układów niejednorodnych, które uzyskuje się na drodze mieszania, jednej z najważniejszych operacji stosowanych w tym przemyśle. Większość układów spotykanych w praktyce przemysłowej to układy niejednorodne. Jako przykład mieszania niejednorodnego, wieloskładnikowego układu można podać proces produkcji pasz i mieszanek paszowych [Matuszek, Tukiendorf, Doležal 2009]. Różnice cech mieszanych ziaren, prowadzenie procesu mieszania w określonym typie urządzenia mieszającego oraz warunki prowadzenia procesu mają wpływ na stan takiej mieszaniny oraz na sam przebieg procesu. Jedne substancje ziarniste mieszają się lepiej, inne gorzej. Są także takie materiały, które mieszają się ze sobą tak słabo, że pozyskiwane układy trudno uważać za zmieszane (skala wartości stopnia zmieszania wg Bossa [1987]). Pasze i mieszanki paszowe to układy, które mogą składać się ze składników organicznych (nasiona i ziarna) oraz nieorganicznych (np. kreda, wapno) zmieszanych na potrzeby określonych zastosowań jak: karmienie zwierząt, czy też dla przygotowania prefabrykatów do dalszej obróbki [Grochowicz 1996]. Spotykane postaci ułożenia ziaren w złożach zbiorników magazynowych mają często różny charakter. Z technologicznego punktu widzenia obrazem najbardziej pożądanym są układy, w których niezależnie od obranego kierunku obserwacji cząstki wymieszanych komponentów dzieli ta sama albo podobna odległość. Mówimy wówczas o stanie randomowym (przypadkowym, ale regularnym uporządkowaniu) [Boss 1987]. Niestety segregacja towarzysząca mieszaniu przeciwdziała takiemu stanowi. Segregacja zachodzi zarówno podczas mieszania, jak i w czasie transportu (wewnątrz- i zewnątrzzakładowego). Może także występować w złożach nieruchomych na skutek działania siły grawitacji, jeżeli układy ziarniste charakteryzują się zbyt dużymi przestrzeniami międzyziarnowymi. Powstaje również na skutek wibracji. Jej wpływ na jakość mieszanin ziarnistych jest istotny, ponieważ w efekcie działania segregacji ziarna poszczególnych składników wykazują tendencje do zajmowania określonych miejsc w zbiorniku, a często są to pozycje bardzo dalekie od stanów randomowych. Opis stanu takich mieszanin, określenie stanu równowagowego i randomowego, a także kinetyka należą do podstawowych problemów procesu przygotowywania mieszanek paszowych [Królczyk, Tukiendorf 2006]. Proces mieszania składników wcześniej dozowanych do części roboczej mieszarek decyduje o jakości mieszanki jako paszy. Celem mieszania jest uzyskanie jednakowego rozłożenia składników paszy w całej objętości mieszaniny. Niezwykle ważne jest, aby mieszanka była jednorodna nawet w małych porcjach ze względu na małą objętość jednorazowo spożywanej przez zwierzęta karmy. W małej porcji przyjmowanej przez inwentarz powinny znaleźć się odpowiednie koncentracje wszystkich komponentów wykorzystanych do produkcji paszy zgodnie z założoną recepturą.

Na rysunku 5 został przedstawiony dwuwymiarowy model mieszania układów ziarnistych. Stan segregacji pokazuje poglądowe rozłożenie ziaren surowca przed procesem mieszania. Ziarna przyjmują losowe położenia w trakcie prowadzenia procesu mieszania, jak i po jego zakończeniu. W praktyce osiągnięcie idealnego rozłożenia koncentracji składników w mieszaninie nie jest możliwe. Czas trwania procesu mieszania jest tak dobierany, aby uzyskać optymalną mieszaninę i nie doprowadzić do procesu segregacji, czyli degradacji procesu mieszania. W wytwórniach paszowych możemy się spotkać z różnymi rodzajami mieszalników zarówno o działaniu ciągłym jak i okresowym, co przedstawia rysunek 6.



Źródło [Boss 1987]

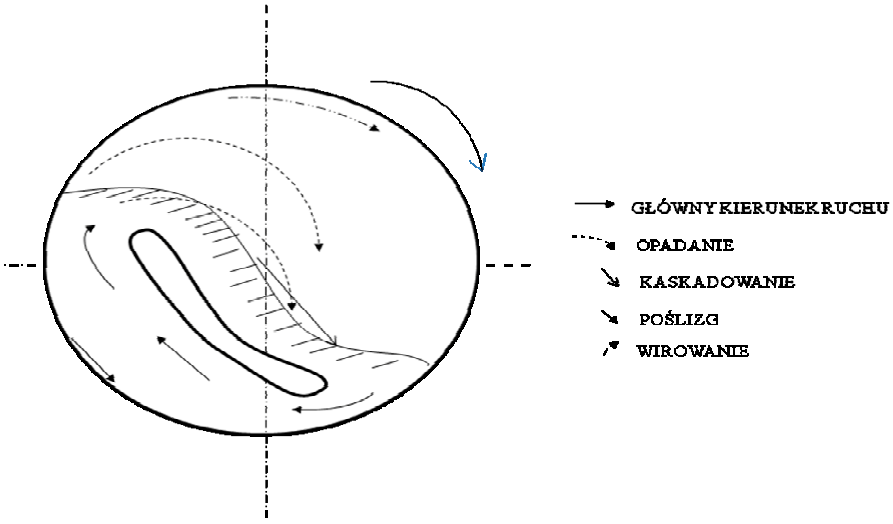
Rys. 5 Dwuwymiarowy model mieszania układu ziarnistego



Źródło: [Grochowicz 1996]

Rys. 6 Ogólna klasyfikacja mieszarek w przemyśle paszowym

Ziarna kilku składników podczas mieszania są rozpraszane w mieszalniku przez chaotyczny, przypadkowy ruch ziaren, a ich trajektoria może przybierać w trakcie mieszania różne kształty. Rysunek 7 obrazuje ruchy cząstek mieszanych składników w trakcie mieszania w mieszalniku obrotowym. Podczas mieszania dochodzi również do zderzania się cząstek między sobą, co dodatkowo utrudnia opis procesu



Źródło [Boss 1987]

Rys 7. Model mieszania w bębnie z zaznaczonym ruchem mieszanych cząstek

Mieszaniem materiałów ziarnistych rządzą skomplikowane zależności, łączące zagadnienia co najmniej kilku dziedzin nauki. Do opisu procesów mieszania, zastosowano dotychczas trzy znane modele: kinetyczny, dyfuzyjny, stochastyczny [Boss 1987] oraz modelowanie neuronowe [Tukiendorf 2002]. Przegląd opisu procesów prowadzi do stwierdzenia, że nie można stosować uniwersalnych metod zawsze słusznych dla wszystkich procesów. Większość przypadków należy rozpatrywać indywidualnie. Relacje pomiędzy efektami mieszania, a własnościami fizycznymi składników dają się opisać prostymi zależnościami. Głównym celem mieszania jest szybkie przeprowadzenie procesu przy stosunkowo niskich kosztach. Do oceny jakości mieszanin ziarnistych opracowano wiele miar. Miary wynikające z używanych dotychczas wskaźników przedstawionych m.in. przez Rose'a, Danckwertsa, Laceya [Boss 1987] nie są zasadne we wszystkich warunkach prowadzenia procesu mieszania i mogą przez to wprowadzać nieprawdziwe informacje [Tukiendorf 2002]. Ocena jakości oparta tylko na podstawie analizy sitowej trasera w kolejnych przekrojach mieszaniny może prowadzić do formułowania

fałszywych twierdzeń. Udział objętościowy trasera może być bowiem jednakowy we wszystkich przekrojach mieszalnika, ale równie ważny jest również rozkład samego trasera na powierzchni przekroju. Traser może gromadzić się w rdzeniu zbiornika, na jego obrzeżach, jak również może mieć rozkład losowy [Tukiendorf 2002]. Niedoskonałość oraz ograniczony zakres stosowania poszczególnych metod oceny jakości skłania do poszukiwania nowych, uniwersalnych sposobów opisu stanu i jakości mieszanin ziarnistych. Jednym z nowych sposobów do opisu jakości mieszaniny jest wykorzystanie komputerowej analizy obrazu, która wspomaga ocenę koncentracji składników mieszaniny w przekrojach mieszalnika [Szwedziak, Krótkiewicz 2006; Matuszek, Tukiendorf, Doležal 2009].

W wyniku operacji mieszania powstają pasze różnego typu, jak:

- koncentraty, tj. mieszaniny zawierające jakiś składnik w zbyt dużej ilości, aby można je było użyć do bezpośredniego skarmiania. W paszach tych występuje konieczność rozcieńczania paszami gospodarskimi
- pasze pełnoporcjowe, stanowiące pełną dawkę żywieniową dla danej grupy zwierząt,
- pasze specjalne (lecznicze) [Grochowicz 1996].

Wzbogacanie mieszanek paszowych

Zakłady realizujące przygotowanie pasz bazując wyłącznie na trzech wyżej opisanych etapach nazywamy mieszalniami pasz. Jeżeli ciąg technologiczny produkcji mieszanek paszowych jest doposażony o urządzenia służące do wzbogacania, czy też uszlachetniania ziaren składników mamy wtedy do czynienia z wytwórnią pasz.

Dodatkowe etapy wzbogacania mieszanek paszowych to melasowanie i natłuszczanie a oprócz tego granulowanie przygotowanych wcześniej mieszanin. Melasowanie i natłuszczanie stosuje się chcąc polepszyć kaloryczność mieszanki paszowej jak i jej smak. Uboczną korzyścią w stosowaniu uszlachetniania jest zmniejszenie pylistości procesu technologicznego i wykorzystanie odpadów z przetwórstwa spożywczego. Melasowanie może być stosowane podczas mieszania, jednak, jeżeli chodzi o natłuszczanie pasz to wielokrotnie konieczna jest osobna linia do natłuszczania, lub realizacja tego procesu bezpośrednio po lub w trakcie granulowania. Powodem jest zwiększenie zdolności do aglomeracji ziaren po zastosowaniu tłuszczu. W przypadku mieszania jest to zjawisko niekorzystne, natomiast, jeżeli chodzi o granulowanie to zjawisko jest wręcz pożądane.

Granulowanie pasz poprawia zdecydowanie walory spożywcze i zapewnia stały skład wartości odżywczych i witamin przy skarmianiu zwierząt. Dodatkowo pasze aglomerowane zajmują mniejszą powierzchnię składowania i mogą być dłużej składowane.

Podsumowanie

Wykorzystanie i zrealizowanie wszystkich etapów ciągu technologicznego w mieszalni, czy wytwórni pasz powoduje, że surowce stają się mieszaniną wzbogaconą o witaminy minerały, posiadającą wysokie walory smakowe i długi okres składowania. Na skutek tego są odporne na działanie mikroorganizmów i mogą być z pełnym zaufaniem stosowane przez hodowców do karmienia zwierząt inwentarskich. Badania dotyczące paszoznawstwa są realizowane przez naukowców związanych z różnymi dziedzinami nauki, co sprawia, że wiedza o produkcji pasz do karmienia zwierząt hodowlanych staje się interdyscyplinarna. Udział wielu dyscyplin nauki w opisywaniu i unowocześnianiu paszoznawstwa sprawia, że opisanie technologii przygotowania pasz jest tematem bardzo obszernym i trudnym do streszczenia na kartach niniejszej pracy. Jest to tym bardziej zrozumiałe, że klasyfikacja paszoznawstwa jako nauki, obejmuje wszystkie trzy kategorie badań naukowych: badania podstawowe, stosowane oraz badania rozwojowe. W tak dobrze zorganizowanej nauce wszystkie kategorie są potrzebne, ważne i nie mogą bez siebie funkcjonować [Michałek 2009].

Bibliografia

Biblia Tysiąclecia (Rdz.1,24 -31), Wydanie V.

Boss J. 1987. Mieszanie materiałów ziarnistych. PWN Warszawa-Wrocław.

Grochowicz J. 1996. Technologia produkcji mieszanek paszowych. PWRiL. Warszawa.

Kaliniewicz Z., Markowski P., Rawa T. 2005. Analiza rozkładów podstawowych cech fizycznych ziaren gryki i łuszczyn rzodkiewki świrzepy w aspekcie modelowania. Inżynieria Rolnicza. Nr 1 (61). Kraków.

Królczyk J., Tukiendorf M. 2006. Modelowanie udziałów wieloskładnikowej paszy za pomocą funkcji harmonicznej. Inżynieria Rolnicza. Nr 3 (78). Kraków.

Matuszek D., Tukiendorf M., Doležal P. 2009. Analiza zastosowania wkładek daszkowych w mieszaniu komponentów ziarnistych. Inżynieria Rolnicza. Nr 1 (110). Kraków.

Michałek R. 2009. Nauka bliżej praktyki – potrzeba reorientacji badań w inżynierii rolniczej. Inżynieria Rolnicza. Nr 5 (114). Kraków.

Mościcki L. 2008. Koncepcja komputeryzacji wytwórni pasz o wydajności 30 t·h-1. Inżynieria Rolnicza. Nr 7 (105). s. 151-157. Kraków.

Opielak M. 2000. Wybrane zagadnienia rozdrabniania materiałów w przemyśle rolno-spożywczym. Rozprawy naukowe. Wyd. AR, Lublin.

Roszkowski Z. 1997. Elementy produkcji rolnej - Rolnictwo jako system gospodarczy część I, Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku, Białystok.

Rynkiewicz M. 2008. Wpływ stopnia rozdrobnienia granulowanej mieszanki paszowej na wytrzymałość kinetyczną granul i wydajność produkcji zwierzęcej. Inżynieria Rolnicza. Nr 5 (103). Kraków.

Szlachta J., Fugol M. 2009. Analiza możliwości produkcji biogazu na bazie gnojowicy oraz kiszonki z kukurydzy. Inżynieria Rolnicza. Nr 5 (114). Kraków.

Szwedziak K., Krótkiewicz M. 2006. Stanowisko do komputerowej analizy jakości produktów rolno-spożywczych. Inżynieria Rolnicza. Nr 13 (88). Kraków.

Tukiendorf M. 2003. Characteristic of mixing granular material achieved by using methods of variance analysis and feostatical function. EJPAU, Vol. 6, Issue 1, 2003. Dostępny w internecine: www.ejpau.media.pl/series/volume6/issue1/engineering/art-03.html.

Tukiendorf M. 2002. Porównanie sposobów modelowania procesu mieszania jednorodnych układów ziarnistych przy użyciu modelu stochastycznego oraz metody wstecznej propagacji w technice sztucznych sieci neuronowych. Inżynieria Rolnicza. Nr 2 (35). Kraków.

Wiercioch M., Niemiec A. 2006. Energochłonność procesu rozdrabnia pszenicy ozimej o różnej szklistości przy stosowaniu gniotownika i śrutownika walcowego. Inżynieria Rolnicza. Nr 11 (86). Kraków.

Zawiślak K., Sobczak P., Panasiewicz M. 2009. Wpływ rozdrobnienia materiału na proces dozowania. Inżynieria Rolnicza. Nr 2 (111). Kraków.

INNOWACYJNE ALGORYTMY STEROWANIA MIKROKLIMATEM W PRZECHOWALNIACH PŁODÓW ROLNYCH WYKORZYSTUJĄCE MODELE PROCESÓW

Ewa Wachowicz

Katedra Automatyki
Politechnika Koszalińska
e-mail: ewa.wachowicz@tu.koszalin.pl

Wykaz oznaczeń

a – powierzchnia właściwa [$m^2 \cdot m^{-3}$],
A – powierzchnia ściany zewnętrznej przechowalni [m^2],
c – ciepło właściwe [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$],
e – uchyb regulacji,
e_{max}, – maksymalne wartości różnicy aktualnej i wymaganej przez technologów temperatury ziemniaków podczas pierwszej i drugiej doby prognozy pogody [K],
E(s) – transformata Laplace'a uchybu regulacji e(t),
kp – współczynnik wzmocnienia proporcjonalnego regulatora,
m – masa [kg],
qres – ciepło oddychania ziemniaków [$J \cdot kg^{-1}$],
rp – ciepło parowania wody [$J \cdot kg^{-1}$],
s – operator Laplace'a,
t – czas [s],
T – średnia temperatura [K],
Ti – czas całkowania [s],
Td – czas różniczkowania [s],
T[k] – wartość wielkości regulowanej w chwili k [K],
TM[k+1] – przewidywana wartość wielkości regulowanej w chwili k+1 [K],
ΔT – różnica temperatur ziemniaków i nawiewanego powietrza [K],
ur – wilgotność równowagowa [$kg \cdot kg^{-1}$],
u – średnia zawartość wody w magazynowanych płodach [$kg \cdot kg^{-1}$],

u – sygnał sterujący,
u[k] – sygnał sterujący w chwili k,
U(s) – transformata Laplace'a sygnału sterującego u(t),
v – prędkość przepływającego powietrza [$m \cdot s^{-1}$],
z – wysokość warstwy płodów [m],
x – średnia zawartość wody w powietrzu [$kg \cdot kg^{-1}$],
α – współczynnik wnikania ciepła [$J \cdot m^{-2} \cdot h^{-1} \cdot K^{-1}$],
β – współczynnik wnikania masy [$m \cdot h^{-1}$],
ε – porowatość warstwy,
φ – wilgotność względna [%],
ρ – gęstość [$kg \cdot m^{-3}$],
ξ – wskaźnik, pozwalający oszacować wysokość strat technologicznych,
τ_1, τ_2 – możliwe czasy załączeń urządzeń wentylacji podczas pierwszej i drugiej doby prognozy pogody [h],
ψ – wskaźnik, pozwalający oszacować możliwość załączeń urządzeń wentylacji,
$\mu(\psi)$ – funkcje przynależności elementów zbioru ψ do podzbiorów,
$\mu(\xi)$ – funkcje przynależności elementów zbioru ξ do podzbiorów,
$\mu(\Delta t)$ – funkcje przynależności elementów zbioru Δt do podzbiorów.

Indeksy

k – kanał wentylacyjny,
pm – powietrze mieszane,
pr – magazynowane płody rolne,
pn – powietrze nawiewane,
pw – powietrze wewnętrzne,
pz – powietrze zewnętrzne,
s – ściana,
zi – ziemniaki.

Wprowadzenie

Aby polskie płody rolne mogły być konkurencyjne na rynku konieczna jest ich dobra jakość oraz niska cena. Jakość płodów zostanie zachowana i ich straty technologiczne powstałe podczas magazynowania będą najniższe, jeśli podczas realizacji procesu przechowywania płodów rolnych spełnione zostaną ściśle określone przez technologów wymogi mikroklimatyczne. Wymogi te mogą być spełnione dzięki [Kubicki 1988; Lange 1989; Adamicki i Czerko 2002]:

– wyposażeniu przechowalni w instalacje do zmiany mikroklimatu oraz system sterowania urządzeniami, wchodzącymi w skład tej instalacji,
– właściwie dobranemu dla potrzeb przechowalnictwa danego rodzaju płodów algorytmowi sterowania urządzeniami wentylacji i klimatyzacji.

Obniżenie cen płodów oferowanych na rynku można osiągnąć poprzez obniżenie kosztów eksploatacyjnych budynku przechowalni. Będzie to miało miejsce wówczas, gdy m.in. zminimalizowane zostaną straty technologiczne podczas przechowywania oraz zmniejszone zostaną koszty zużytej energii przez urządzenia wentylacji, klimatyzacji i automatyki.

Jednakże pamiętać należy o tym, że pełna realizacja techniczna postulatu zapewnienia dobrej jakości płodów rolnych (zwłaszcza owoców) wymaga częstych załączeń energochłonnych urządzeń klimatyzacji. Natomiast wymóg niskiej ceny płodów oferowanych na rynku najpełniej będzie spełniony wówczas, gdy podczas przechowywania urządzenia klimatyzacji nie będą wykorzystywane. Są to zatem sprzeczne wzajemnie wymogi.

Aktualnie stosowane algorytmy sterowania nie spełniają w pełni powyższych postulatów i mają szereg mankamentów. Wydaje się, że zastosowanie nowych, wykorzystujących modele procesów przechowalniczych, algorytmów sterowania urządzeniami wentylacji i klimatyzacji pozwoli na poprawę jakości sterowania i zmniejszenie zużycia energii w przechowalniach płodów rolnych.

Celem niniejszej pracy było opracowanie innowacyjnych algorytmów sterowania, dzięki zastosowaniu których mogą zostać wyeliminowane mankamenty pracy aktualnie stosowanych systemów sterowania.

Krytyczna analiza aktualnie stosowanych w przechowalniach algorytmów sterowania urządzeniami wentylacji i klimatyzacji

Ze względu na wartość magazynowanych płodów, algorytmy sterowania mikroklimatem w przechowalniach owoców różnią się od algorytmów sterowania stosowanych w przechowalniach warzyw lub ziemniaków. Wynika to stąd, że przechowalnie owoców wyposażane są w urządzenia wentylacji i klimatyzacji oraz instalacje do zmiany składu atmosfery, zaś w przechowalniach warzyw i ziemniaków instalowane są zazwyczaj tylko urządzenia wentylacji. Poniżej opisane zostaną te algorytmy sterowania oraz przedstawiona zostanie ich krytyczna analiza.

W przechowalniach owoców najczęściej wykorzystywane są algorytmy sterowania PID (proporcjonalno – całkująco – różniczkujące). Ten sposób sterowania można opisać równaniem:

$$u(t) = k_p \left\{ e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) + T_d \frac{de(t)}{dt} \right\} \tag{1}$$

lub transmitancją operatorową:

$$G(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = k_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \tag{2}$$

Występujące we wzorach 1 i 2 współczynniki: współczynnik wzmocnienia regulatora k_p, czas całkowania T_i oraz czas różniczkowania T_d noszą nazwę nastaw regulatora. Zadaniem systemu sterowania mikroklimatem w przechowalni owoców, realizującego algorytm PID, jest zapewnienie wymaganej dokładności regulacji i stabilnej pracy systemu sterowania. Zadanie to jest spełnione wówczas, gdy na etapie projektowania systemu sterowania dobierze się poprawnie wartości nastaw regulatora do właściwości dynamicznych automatyzowanego procesu technologicznego. Podczas doboru nastaw regulatora zakłada się, że podczas eksploatacji systemu sterowania własności dynamiczne procesu technologicznego są niezmienne w czasie. Oznacza to, że zakłada się iż cała pojemność przechowalni będzie wypełniona owocami przez cały sezon przechowalniczy.

Jak wiadomo, przechowalnia jest magazynem, podczas eksploatacji którego zmienia się masa składowanych owoców. Tym samym zmieniają się właściwości dynamiczne procesu przechowalniczego. Zatem dobrane przez automatyka nastawy regulatora (przy założeniu pełnego wypełnienia przechowalni owocami) nie są właściwymi wówczas, gdy masa owoców różni się od założonej. Pociąga to za sobą małą dokładność regulacji, a co za tym idzie zwiększenie strat technologicznych i pogorszenie się jakości magazynowanych owoców.

Ten poważny mankament pracy układu regulacji ciągłej można usunąć, jeśli w przechowalni zastosowany zostanie adaptacyjny algorytm sterowania.

W przechowalniach ziemniaków i warzyw najczęściej stosowanymi algorytmami sterowania mikroklimatem są algorytmy sterowania dwupołożeniowego. Cechą charakterystyczną układów, realizujących ten algorytm jest to, iż funkcję regulatora pełnią w nich stycznik (przekaźnik) lub sterownik z wyjściem bistabilnym. Oznacza to, że sygnał sterujący na wyjściu tych urządzeń przyjmuje jedynie dwie wartości u'_{min} i u'_{max} (np. 0V lub 230V), a co się z tym wiąże elementy wykonawcze w postaci urządzeń wentylacji mogą posiadać tylko dwa stany pracy, np. wentylator może być wyłączony lub załączony, przepustnica powietrza może być zamknięta lub maksymalnie otwarta. Układy te nie dają możliwości sterowania np. stopniem otwarcia przepustnicy czy objętościowym natężeniem powietrza nawiewanego przez wentylator do przechowalni. Układy sterowane dwupołożeniowo są tanie i łatwe w obsłudze. Ich wadą natomiast jest mała dokładność regulacji. Przebieg regulowanego parametru technologicznego (np. temperatury płodów czy wilgotności względnej powietrza wewnętrznego) zmienia się w sposób piłokształtny, oscylując wokół wartości żądanej przez technologa.

Technologowie przechowalnictwa dopuszczają odchyłki od optymalnych wartości parametrów technologicznych. Przykładowo w przypadku temperatury ziemniaków odchyłka ta wynosi $\Delta T_{zi} = \pm 1^{\circ}C$. Niestety podczas realizacji technicznej algorytmu sterowania dwupołożeniowego, ze względu na brak zainstalowanych w przechowalni urządzeń klimatyzacji oraz niekorzystne dla wentylacji warunki meteorologiczne, często odchyłki wartości parametrów technologicznych znacznie przekraczają wartości dopuszczalne. Sytuacje te są niekorzystne, gdyż powodują wzrost strat technologicznych i pogorszenie się jakości magazynowanych ziemniaków lub warzyw.

Propozycje innowacyjnych sposobów sterowania mikroklimatem w przechowalniach płodów rolnych

Wydaje się, że opisane wyżej mankamenty aktualnie stosowanych algorytmów sterowania mikroklimatem można wyeliminować dzięki wykorzystaniu w przechowalnictwie płodów rolnych proponowanych tu innowacyjnych, komputerowych sposobów sterowania, a mianowicie:

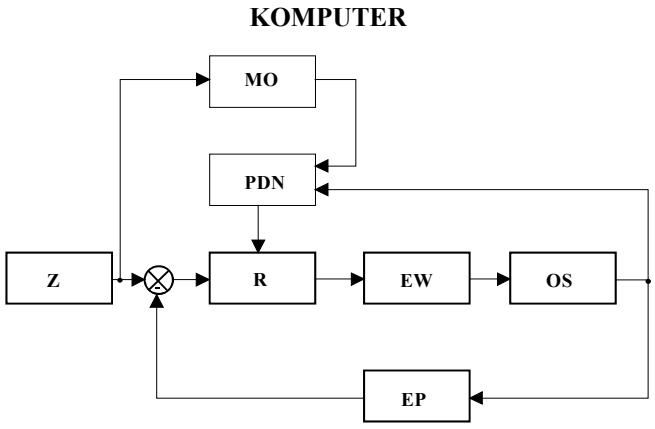
- w przechowalniach owoców – adaptacyjnego algorytmu sterowania lub komputerowego wspomagania podejmowania decyzji sterowniczych,
- w przechowalniach warzyw bądź ziemniaków – predykcyjnego algorytmu sterowania.

Realizacja techniczna wymienionych wyżej sposobów sterowania jest możliwa, pod warunkiem, że dysponujemy komputerowym modelem:

- procesów technologicznych występujących w przechowalni płodów,
- systemu sterowania mikroklimatem zastosowanego w przechowalni.

Adaptacyjny algorytm sterowania mikroklimatem dla przechowalni owoców

Ponieważ w przechowalniach owoców zależy nam na zachowaniu jakości magazynowanych owoców i jak najniższych stratach technologicznych, zatem system sterowania powinien zapewnić pełną realizację wymagań technologicznych, a tym samym zagwarantować dokładną regulację parametrów technologicznych.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 1. Schemat blokowy systemu sterowania adaptacyjnego mikroklimatem w przechowalni jabłek. Oznaczenia: MO – model odniesienia, PDN – procedury doboru nastaw, Z – zadajnik, R – regulator, EW – element wykonawczy, OS – obiekt sterowania, EP – element pomiarowy

Wydaje się, że systemem spełniającym powyższe postulaty może być system realizujący adaptacyjny algorytm sterowania mikroklimatem. Algorytmy adaptacyjne zaleca się stosować wówczas, gdy właściwości dynamiczne procesu technologicznego zmieniają się w czasie, zaś własności dynamiczne regulatora (poprzez zmianę nastaw regulatora) samoczynnie przystosowują się (adaptują) do nowych warunków sterowania. Schemat blokowy systemu sterowania adaptacyjnego z modelem odniesienia pokazano na rysunku 1.

Poniżej przykładowo omówiona zostanie propozycja zastosowania jednego z rodzajów algorytmów adaptacyjnych – algorytmu wykorzystującego model odniesienia czyli model procesu technologicznego – do sterowania temperaturą jabłek w przechowalni.

Model odniesienia MO (rys. 1) czyli matematyczny model procesów wymiany ciepła i masy zachodzących w przechowalni jabłek tworzą równania, opisujące:
- wymianę ciepła w jabłkach (równanie 3),
- wymianę ciepła w powietrzu wewnątrz przechowalni (równanie 4),
- wymianę masy w jabłkach (równanie 5),
- wymianę masy w powietrzu wewnętrznym (równanie 6),
- intensywność oddychania jabłek (równanie 7),
- wilgotność równowagową (równanie 8),
- wymianę ciepła przez przegrody budowlane (równanie 9),
- wymianę ciepła w komorze mieszania (równanie 10),
- wymianę masy w komorze mieszania (równanie 11).

$$\rho_{pr}c_{pr}\frac{T_{pr}}{dt} = \rho_{pr}\frac{dq_{res}}{dt} - r_p\rho_{pr}\frac{du_{pr}}{dt} - a\alpha(T_{pr} - T_{pn}) \tag{3}$$

$$\rho_{pw}c_{pw}\frac{T_{pw}}{dt} = -\rho_{pw}c_{pw}v\frac{dT_{pw}}{dt} - \frac{a\alpha(1-\varepsilon)}{\varepsilon}(T_{pr} - T_{pn}) \tag{4}$$

$$\frac{du_{pr}}{dt} = -a\beta(u_{pr} - u_r) \tag{5}$$

$$\frac{dx_{pw}}{dt} = -v\frac{dx_{pw}}{dz} + \frac{a\beta(1-\varepsilon)}{\varepsilon}(u_{pr} - u_r) \tag{6}$$

$$\frac{dq_{res}}{dt} = -0.0543T_{pr}t^3 + 0.5642T_{pr}t^2 + 2.6541t^2 - 1.4543T_{pr}t + 11.8768t + \\ +1.2231T_{pr} + 54.2341 \tag{7}$$

$$u_r = 0.0001\varphi_{pw}^2 - 0.1023\varphi_{pw} + 0.3765T_{pw} + 0.6567 \tag{8}$$

$$\frac{dT_s}{dt} = \left[\frac{q_z - q_s}{m_s c_s}\right] = \frac{\alpha_s\left[A_{sz}(T_{pz} - T_{s1}) - A_{sw}(T_{s2} - T_{pw})\right]}{m_s c_s} \tag{9}$$

$$m_k c_{pn}\frac{dT_{pn}}{dt} = F_{pz}c_{pz}T_{pz} + F_{pw}c_{pw}T_{pw} + (F_{pz}+F_{pw})\,c_{pn}T_{pn} \tag{10}$$

$$m_k \frac{dx_{pn}}{dt} = F_{pz}x_{pz} + F_{pw}x_{pw} + (F_{pz}+F_{pw})\, x_{pn} \tag{11}$$

Warunki początkowe równań (3 – 6) mają postać (wzory 12):

$$\begin{aligned} &T_{pr}(z,0) = t_{zio} \quad \text{lub} \quad T_{pr}(z,0) = t_{zi}(z) \\ &T_{pw}(z,0) = t_{pwo} \quad \text{lub} \quad T_{pw}(z,0) = t_{pw}(z) \\ &u_{pr}(z,0) = u_{zio} \quad \text{lub} \quad u_{pr}(z,0) = u_{zi}(z) \\ &x_{pw}(z,0) = x_{pwo} \quad \text{lub} \quad x_{pw}(z,0) = x_{pw}(z) \end{aligned} \tag{12}$$

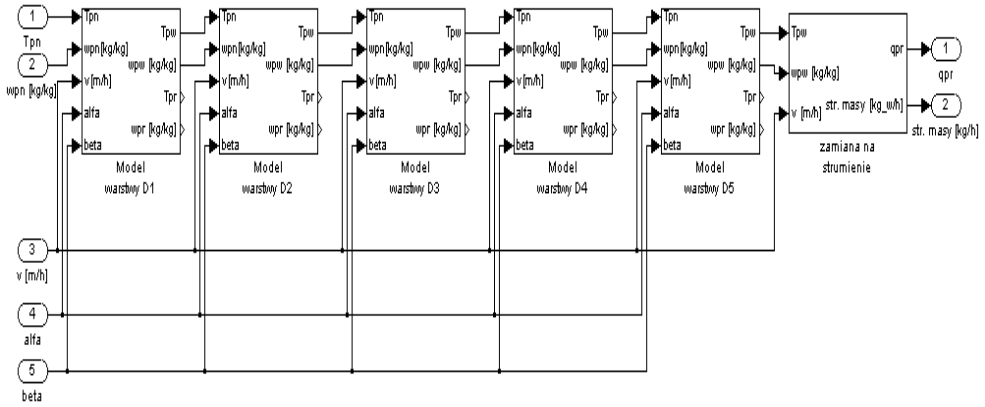
zaś warunki brzegowe opisane są zależnościami:

$$T_{pw}(0,t) = T_{pn},\ x_{pw}(0,t) = x_{pn}. \tag{13}$$

Równania tworzące matematyczny model procesów technologicznych możemy zaimplementować w specjalistycznym oprogramowaniu i w ten sposób otrzymujemy komputerowy model procesów zachodzących przechowalni [Tarnowski 2004].

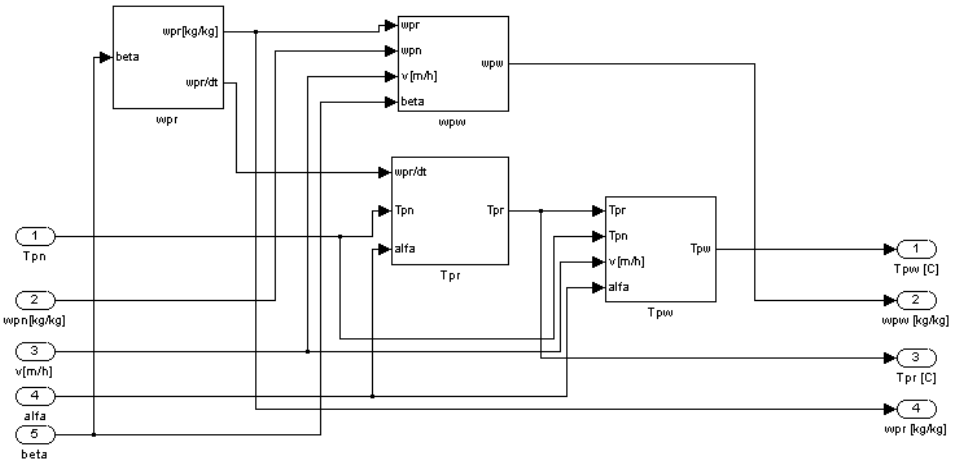
Poniżej przykładowo pokazano zrealizowane w środowisku programowym MATLAB, komputerowe modele procesów zachodzących w jabłkach magazynowanych:

– w stosie złożonym z pięciu palet (rys. 2),
– w pojedynczej palecie skrzyniowej (rys.3).



Źródło: opracowanie własne

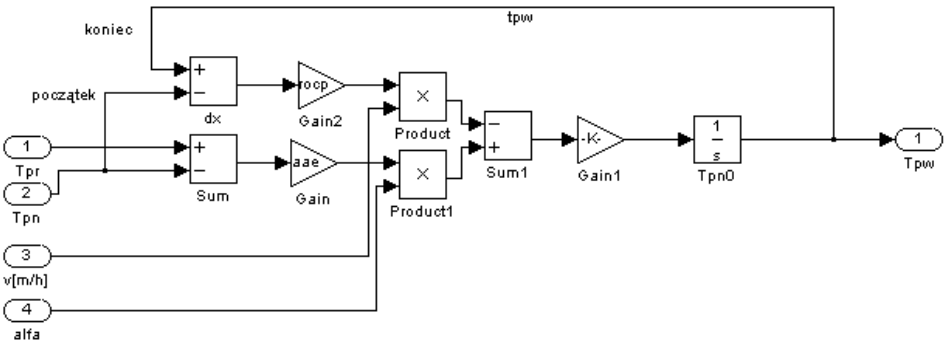
Rys. 2. Komputerowy model procesów zachodzących w stosie pięciu palet wypełnionych jabłkami



Źródło: opracowanie własne

Rys. 3. Komputerowy model procesów zachodzących w palecie wypełnionej jabłkami

Komputerowy model procesów zachodzących w palecie wypełnionej jabłkami (rys. 3) tworzą cztery ikony. Rozwinięcie każdej z ikon jest matematycznym równaniem, opisującym wymianę ciepła i masy. Poniżej na rysunku 4 przykładowo pokazano rozwinięcie ikony, opisującej wymianę ciepła w powietrzu w palecie (równanie 4).

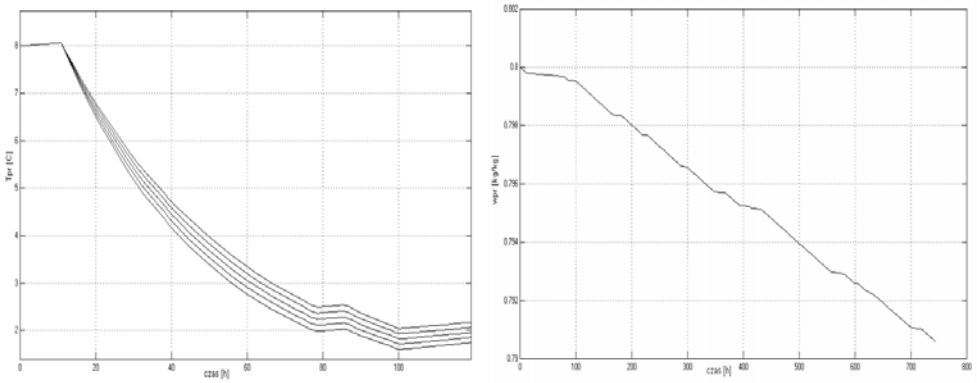


Źródło: opracowanie własne

Rys. 4. Komputerowy model równania (4), opisującego wymianę ciepła w otaczającym jabłka powietrzu w palecie

Podczas sterowania mikroklimatem w przechowalni jabłek, równolegle z pracą układu regulacji ciągłej, przeprowadzane są przez komputer badania symulacyjne. Podczas badań wykonywanych z wykorzystaniem modelu odniesienia wyznaczane są wzorcowe przebiegi parametrów technologicznych przechowalni, tzn. temperatury jabłek, zawartości wody w jabłkach oraz temperatury i wilgotności względnej powietrza wewnątrz przechowalni. Na rysunkach 5, 6 i 7 pokazano wyznaczone podczas badań symulacyjnych przykładowe przebiegi:

– temperatury jabłek w poszczególnych paletach w stosie (schładzanie jabłek) (rys. 5a),
– zmian zawartości wody w jabłkach w trzeciej palecie (rys. 5b).



a) b)

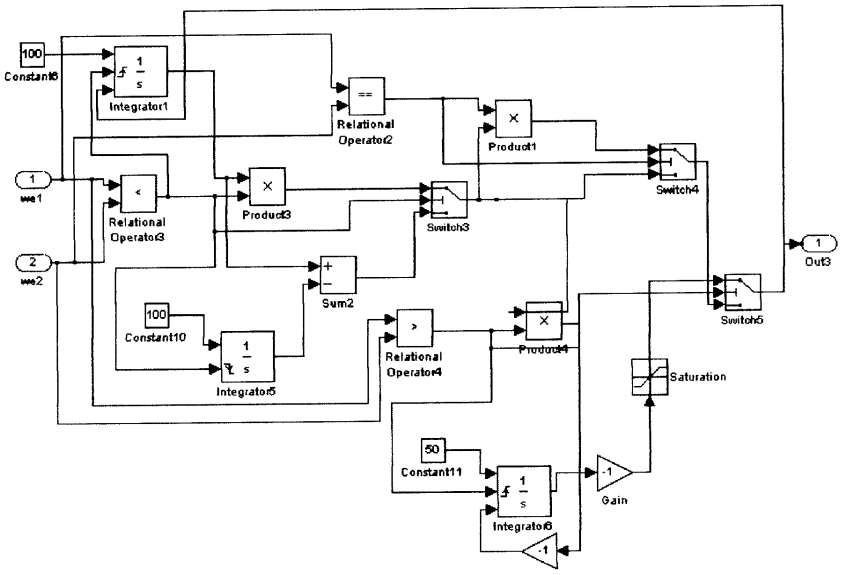
Źródło: opracowanie własne

Rys. 5. Przykładowe wyniki badań symulacyjnych: a) przebieg temperatury jabłek w poszczególnych paletach w stosie podczas schładzania owoców, b) zmiany zawartości wody w jabłkach w trzeciej palecie

Jeśli obliczone podczas symulacji, wzorcowe parametry technologiczne przechowalni różnią się od rzeczywistych, zmierzonych przez czujniki pomiarowe, oznacza to, że zmieniła się masa składowanych jabłek, a tym samym zmieniły się własności dynamiczne procesu technologicznego. W takich sytuacjach uruchamiane są procedury doboru nowych nastaw regulatora.

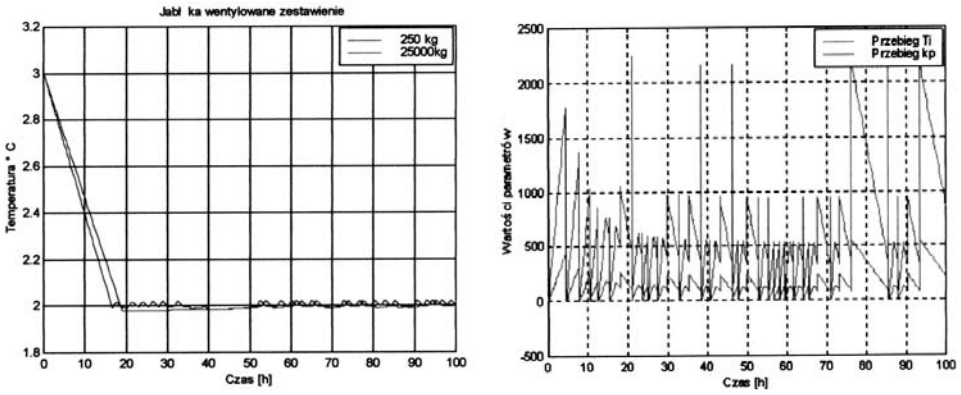
Na rysunku 6 pokazano zrealizowany w środowisku programowym MATLAB moduł procedur doboru nowych nastaw regulatora PID w układzie regulacji ciągłej.

Aby sprawdzić poprawność funkcjonowania algorytmu adaptacyjnego podczas symulacji zmieniano masę jabłek w przechowalni z 25 000 kg na 250 kg. Na rysunku 7 pokazano przykładowe wyniki tych badań symulacyjnych w postaci przebiegów: temperatury jabłek (rys. 7a) oraz zmian nastaw regulatora: współczynnika wzmocnienia k_p oraz czasu całkowania T_i, towarzyszących zmianom masy jabłek (rys. 7b).



Źródło: Opracowanie własne

Rys. 6. Zrealizowany w środowisku programowym MATLAB moduł procedur doboru nastaw regulatora PID



a) b)

Źródło: Opracowanie własne

Rys. 7. Przykładowe wyniki badań symulacyjnych w postaci przebiegów: a) temperatury jabłek w przechowalni i b) zmian nastaw regulatora, uzyskane podczas zmian masy jabłek

Komputerowe wspomaganie podejmowania decyzji sterowniczych w przechowalni owoców

Komputerowe wspomaganie decyzji sterowniczych można zrealizować technicznie, jeśli dysponujemy wynikami badań symulacyjnych przechowalni, przeprowadzonych z wykorzystaniem:
- prognoz pogody ,
- modelu matematycznego procesów wymiany ciepła i masy zachodzących w przechowalni ,
- modelu zmian cech jakości płodów rolnych,
- algorytmu sterowania.

Badania symulacyjne funkcjonowania przechowalni przeprowadza się w celu wyznaczania przewidywanych:
- zmian temperatury płodów ,
- strat masy płodów,
- czasów załączeń urządzeń wentylacji

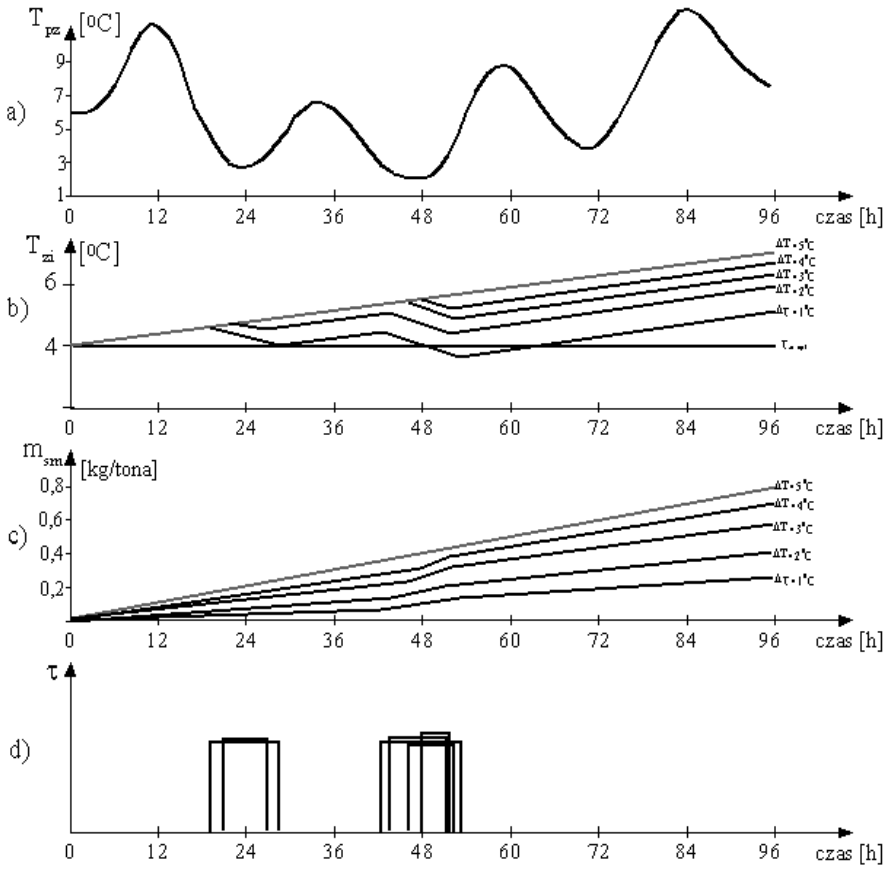
w okresie objętym prognozą meteorologiczną.

Na rysunku 8 pokazano przykładowe, przeprowadzone dla przechowalni ziemniaków, wyniki takich badań w postaci przewidywanych w okresie objętym prognozą meteorologiczną przebiegów:
- temperatury powietrza zewnętrznego (rys. 8a),
- zmian temperatury ziemniaków (rys. 8b),
- zmian strat suchej masy ziemniaków (rys. 8c).

oraz czasów załączeń urządzeń wentylacji (rys. 8d).

Na podstawie wyników badań (rys. 8) można sformułować następujące wnioski:
1. Przebiegi: zmian temperatury ziemniaków, zmian strat suchej masy ziemniaków oraz czasów załączeń urządzeń wentylacji zależą od różnicy $\Delta T = T_{zi} - T_{pz}$ temperatury ziemniaków T_{zi} i temperatury powietrza zewnętrznego T_{pz}.
2. Im większa wartość ΔT, tym mniej dokładna regulacja, a zatem tym bardziej temperatura ziemniaków różni się od wartości optymalnej T_{ziopt}, wymaganej przez technologów.
3. Ze wzrostem wartości ΔT rosną straty technologiczne ziemniaków.
4. Im mniejsza wartość ΔT, tym dłuższy możliwy czas załączeń urządzeń wentylacji. I tak dla $\Delta T = 1°C$ ten czas wynosi 16 h, zaś gdy $\Delta T = 5°C$ – urządzenia wentylacji nie mogą zostać załączone.

Aktualnie w polskiej praktyce przechowalniczej zalecana jest przez technologów stała wartość parametru $\Delta T = 5°C$ [Kubicki 1989]. Zalecenie to należałoby zrewidować, gdyż na podstawie analizy wyników badań symulacyjnych (rys. 8) można stwierdzić, iż wartość parametru ΔT powinna być zmienna podczas sterowania temperaturą ziemniaków. Zmienność ΔT umożliwia bowiem realizację różnych strategii sterowania.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 8. Przykładowe przebiegi: a) temperatury powietrza zewnętrznego, b) zmian temperatury ziemniaków, c) zmian strat suchej masy ziemniaków, d) czasów załączeń urządzeń wentylacji

Jeśli chcemy realizować energooszczędne, z krótkim czasem załączeń urządzeń wentylacji, sterowanie temperaturą ziemniaków, wówczas wartość parametru ΔT, nastawiona w algorytmie sterowania, powinna być duża (np. ΔT = 4°C). Należy się jednak liczyć wówczas, ze wzrostem strat technologicznych.

Jeśli zależy nam na niskich stratach technologicznych i dobrej jakości magazynowanych płodów, wówczas wartość parametru ΔT powinna być mała (np. ΔT = 1°C). Jednakże za niskie straty i wysoką jakość bulw należy wtedy zapłacić zwiększeniem kosztów eksploatacyjnych przechowalni, związanych z zużyciem energii, gdyż wydłużony jest czas pracy urządzeń wentylacji.

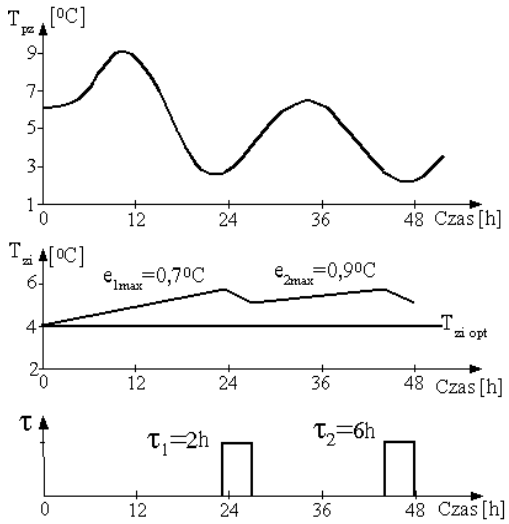
Wydaje się, że w celu jak najlepszego wykorzystania powietrza zewnętrznego podczas wentylacji, w zależności od warunków meteorologicznych rzeczywistych i prognozowanych codziennie powinniśmy dokonywać doboru wartości parametru ΔT w algorytmie sterowania [Wachowicz 2002]. Kierować się przy tym można następującymi, proponowanymi zasadami:

- gdy warunki meteorologiczne są korzystne dla wentylacji, wówczas ΔT powinno posiadać założoną wartość nominalną ΔT = ΔTnom,
- gdy warunki pogodowe zapewniają intensywną, energooszczędną wentylację, wówczas ΔT powinno posiadać wartość większą od wartości nominalnej ΔT > ΔTnom,
- gdy temperatura ziemniaków posiada wartość bliską dopuszczalnej, wówczas wartość parametru ΔT powinna być mniejsza od wartości nominalnej ΔT < ΔTnom.

Do wyznaczenia wartości parametru ΔT dla każdego dnia magazynowania ziemniaków proponuje się tu wykorzystać:

- teorię zbiorów rozmytych,
- wyniki badań symulacyjnych przechowalni,
- krótkoterminową, dwudobową prognozę pogody.

Na rysunku 9 pokazano prognozowaną temperaturę powietrza zewnętrznego (rys. 9a), przewidywany przebieg temperatury ziemniaków (rys. 9b) oraz przewidywany, możliwy czas załączeń urządzeń wentylacji (rys. 9c).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 9. Przykładowe przebiegi: a) prognozowanej temperatury powietrza zewnętrznego, b) przewidywanego przebiegu temperatury ziemniaków, c) przewidywanego, możliwego czasu załączeń urządzeń wentylacji

Na podstawie tych przebiegów wyznaczyć należy dla każdej doby 48-godzinnej prognozy pogody:

– Wskaźnik ξ, oszacowujący wysokość strat technologicznych ziemniaków, które mogą wystąpić w okresie objętym prognozą pogody. Wskaźnik ten wylicza się, znając maksymalne wartości różnic e_{1max} i e_{2max} temperatur ziemniaków T_{zi} w warstwie oraz wymaganej przez technologów, optymalnej temperatury T_{ziopt} ziemniaków (rys. 9b) podczas odpowiednio pierwszej i drugiej doby prognozy pogody

$$\xi = (e_{1max}, e_{2max})/0.7 = \max(0.7, 0.9)/0.7 = 1.3.$$

– Wskaźnik ψ, oszacowujący możliwość załączeń urządzeń wentylacji, zainstalowanych w przechowalni na podstawie znajomości czasów załączeń τ_1 i τ_2 tych urządzeń (rys. 9 c), określonych podczas odpowiednio pierwszej i drugiej doby prognozy pogody

$$\Psi = (\tau_1 + \tau_2)/10 = (2+6)/10 = 0.8.$$

Założono, że:

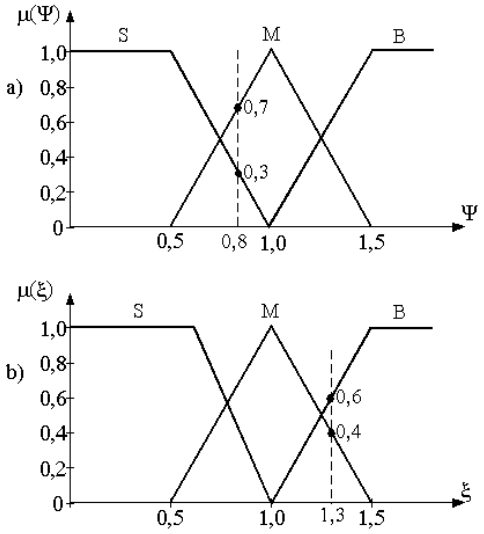
1. Jeśli ψ=1, warunki meteorologiczne będą dobre dla wentylacji – $\Delta T = \Delta Tnom$;
2. Jeśli ψ>1 i ξ <1 warunki pogodowe zapewniają intensywną energooszczędną wentylację. Dlatego $\Delta T > \Delta Tnom$,
3. Jeśli ξ >1, w ziemniakach zgromadzony jest zapas chłodu, pozwalający przetrwać tylko jeden dzień niekorzystnych warunków meteorologicznych. Sytuacja jest niebezpieczna dla magazynowanych płodów. Dlatego wartość parametru $\Delta T < \Delta Tnom$.

Korzystając z teorii zbiorów rozmytych, wyliczono poszukiwaną wartość parametru ΔT. Obliczenia przeprowadzono w trzech etapach.

Etap I – kodowanie lingwistyczne wskaźników ξ i ψ

W etapie tym przedziały zmienności parametrów ξ i ψ podzielono na podzbiory: S – małych, M – średnich i B – dużych wartości. Dla każdego elementu zbioru ξ i ψ określono wartości funkcji przynależności. Przebiegi tych funkcji pokazano na rysunku 10.

Na podstawie znajomości przebiegów funkcji przynależności wyznaczone podczas badań symulacyjnych wskaźniki $\xi = 1.3$ i $\psi = 0.8$ przekształcono do postaci rozmytych. Rozmyta wartość ξ wynosi: $\mu_S(1.3) = 0$, $\mu_M(1.3) = 0.4$ i $\mu_B(1.3) = 0.6$, zaś rozmyta wartość ψ jest równa: $\mu_S(0.8) = 0.3$, $\mu_M(0.8) = 0.7$, $\mu_B(0.8) = 0$.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 10. Przebiegi funkcji przynależności elementów zbiorów:
a) ξ i b) ψ do podzbiorów S, M i B

Etap II – wnioskowanie lingwistyczne

Wnioskowanie odnośnie poszukiwanej rozmytej wartości parametru ΔT przeprowadza się, bazując na opracowanej tablicy decyzyjnej (rys. 11). Tablica zawiera zapis reguł wyboru rozmytej wartości parametru ΔT w zależności od rozmytych wartości ξ i ψ. Reguły wyboru zapisane są w postaci rozmytych zdań warunkowych.

		ψ		
		0.3 S	0.7 M	0 B
ξ	0 S	0 NO	0 MO	0 MX
	0.4 M	0.3 LE	0.4 NO	0 BI
	0.6 B	0.3 LE	0.6 LE	0 NO

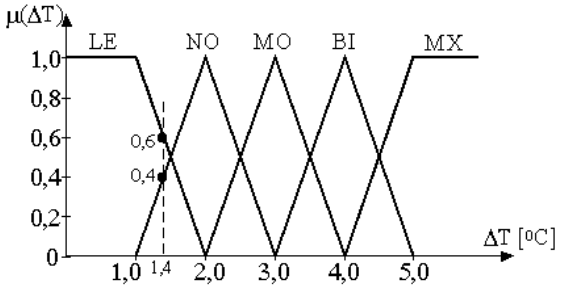
Źródło: Opracowanie własne

Rys. 11. Tablica decyzyjna

Z analizy danych zawartych w tablicy decyzyjnej wynika, że poszukiwana rozmyta wartość parametru ΔT należy do podzbiorów małych LE i nominalnych NO wartości (szare pole w tablicy decyzyjnej). Korzystając z metody MIN – MAX, określono poszukiwaną, rozmytą wartość parametru ΔT, która wynosi $\mu_{LE}(\Delta T) = 0.6$, $\mu_{NO}(\Delta T) = 0.4$.

Etap III – dekodowanie lingwistyczne parametru ΔT

Celem dekodowania lingwistycznego jest znalezienie poszukiwanej wartości parametru ΔT, która powinna być nastawiona w algorytmie sterowania temperaturą ziemniaków w okresie objętym prognozą meteorologiczną. Aby możliwe było dokonanie dekodowania lingwistycznego, konieczna jest znajomość przebiegu funkcji przynależności parametru ΔT do podzbiorów: LE – małych, NO – nominalnych, MO – dużych, BI – bardzo dużych i MX – maksymalnych wartości, na które podzielono przedział zmienności ΔT. Przebieg tej funkcji pokazano na rysunku 12.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 12. Przebieg funkcji przynależności elementów zbioru wartości parametru ΔT do podzbiorów

Jak wynika z rysunku 12, rozmytej wartości parametru ΔT, która wynosi $\mu_{LE}(\Delta T) = 0.6$, $\mu_{NO}(\Delta t) = 0.4$ odpowiada poszukiwana liczbowa wartość, wynosząca ΔT = 1.4. Wartość ΔT = 1.4 należy nastawić w algorytmie sterowania.

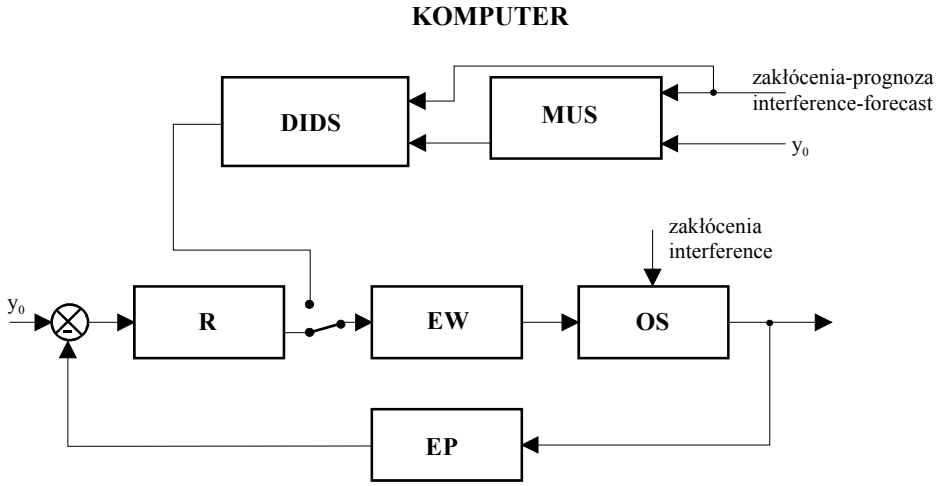
Predykcyjny algorytm sterowania mikroklimatem dla przechowalni warzyw lub ziemniaków

Algorytmem sterowania, pozwalającym na wyeliminowanie mankamentów pracy dotychczas stosowanych w przechowalniach ziemniaków i warzyw algorytmów sterowania dwupołożeniowego jest proponowany tu algorytm sterowania predykcyjnego.

Predykcyjny algorytm sterowania realizowany jest przez system sterowania, w którym przewiduje się czas wystąpienia oraz wartość zakłóceń, a także przeciwdziała się ewentualnym skutkom zakłóceń.

W aktualnie stosowanych w przechowalniach ziemniaków konwencjonalnych, dwupołożeniowych układach sterowania mikroklimatem, zakłócenia, którymi są temperatura i wilgotność względna powietrza zewnętrznego do chwili ich wystąpienia, nie są znane. Układ likwiduje jedynie skutki działania tych zakłóceń.

Aby możliwe było zrealizowanie predykcyjnego algorytmu sterowania konieczne jest wyposażenie przechowalni w dwupołożeniowy układ sterowania oraz komputer (rys. 13).



Źródło: opracowanie własne

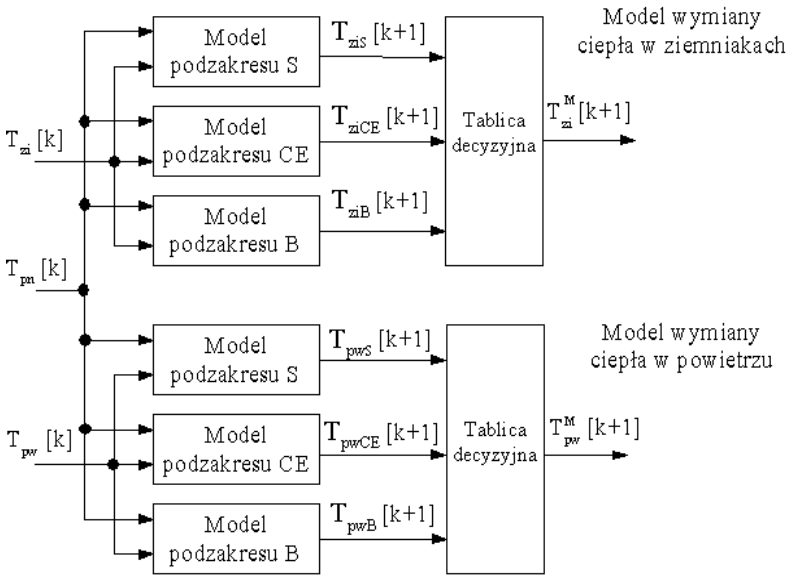
Rys. 13. Schemat blokowy układu sterowania mikroklimatem w przechowalni ziemniaków, realizujący predykcyjny algorytm. Oznaczenia: R – regulator, EW – element wykonawczy, OS – obiekt sterowania, EP – element pomiarowy, MUS – model układu sterowania, DIDS – moduł interwencyjnych oddziaływań sterowniczych

Do pamięci komputera należy wprowadzić prognozę pogody oraz oprogramowanie zawierające (rys. 13):

- model układu sterowania dwupołożeniowego, w tym model procesu technologicznego MUS,
- zaproponowane przez automatyka interwencyjne oddziaływania sterownicze DIDS.

Dla potrzeb sterowania mikroklimatem w przechowalni ziemniaków opracowano lingwistyczny (rozmyty) typu Takagi – Sugeno model procesów wymiany ciepła i masy. Model ten bazuje na wynikach badań eksperymentalnych oraz teorii zbiorów rozmytych.

Na rysunku 14 przedstawiono przykładowo schemat blokowy modelu, opisującego wymianę ciepła w ziemniakach i w powietrzu je otaczającym w przechowalni. Proponowany model to model predykcyjny, pozwalający przewidywać zmiany parametrów technologicznych przechowalni w okresie objętym prognozą meteorologiczną.

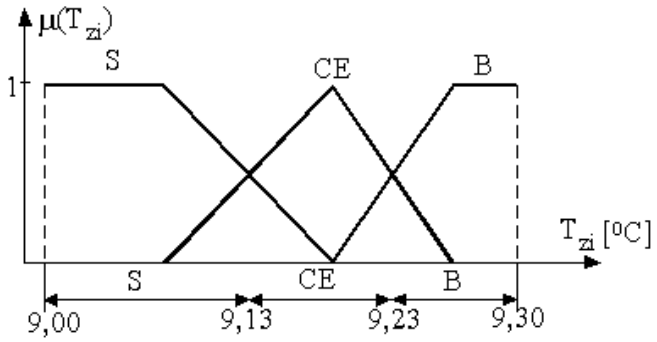


Źródło: opracowanie własne

Rys. 14. Schemat blokowy modelu rozmytego, opisującego wymianę ciepła w ziemniakach i w powietrzu je otaczającym w przechowalni.

Model składa się z:

- funkcji przynależności elementów zbiorów: temperatury ziemniaków, temperatury powietrza wewnętrznego, wilgotności względnej powietrza wewnętrznego i zawartości wody w bulwach ziemniaka do podzbiorów: S – małych, CE – średnich i B – dużych wartości,
- pomocniczych modeli liniowych, opracowanych dla każdego z podzakresów, na które podzielono zakresy zmienności parametrów technologicznych przechowalni,
- tablicy decyzyjnej.



Źródło: Opracowanie własne

Rys. 15. Przebieg funkcji przynależności elementów zbioru temperatur ziemniaków do podzbiorów Na rysunku 15 przykładowo pokazano przebieg funkcji przynależności elementów zbioru temperatur ziemniaków do podzbiorów: S – małych, CE – średnich i B – dużych wartości

Przykładowo pomocnicze modele liniowe rozmytego modelu, opisującego wymianę ciepła w ziemniakach opisane są wzorami 14, 15 i 16, zaś tablica decyzyjna dla tego modelu ma postać wzoru 17.

$$T_{ZIS}(k+1) = T_{ZIS}(k) + 0.5000\,T_{ZIS}(k-1) - 0.5550\,T_{pn}(k) - 0.1023\,T_{pn}(k-1) \quad (14)$$

$$T_{ZICE}(k+1) = 0.0508\,T_{ZICE}(k) + 0.9238\,T_{ZICE}(k-1) - 0.0.0231\,T_{pn}(k) + \\ + 0.0487\,T_{pn}(k-1) \quad (15)$$

$$T_{ZIB}(k+1) = 2.000\,T_{ZIB}(k) - T_{ZIB}(k-1) \quad (16)$$

$$T_{ZI}^{M}(k+1) = \frac{\mu_S}{\mu_S + \mu_{CE} + \mu_B} T_{ZIS}(k+1) + \frac{\mu_{CE}}{\mu_S + \mu_{CE} + \mu_B} T_{ZICE}(k+1) \\ + \frac{\mu_B}{\mu_S + \mu_{CE} + \mu_B} T_{ZIB}(k+1) \quad (17)$$

Model ten opisano dokładniej w pracy [Wachowicz 1990, 2007].

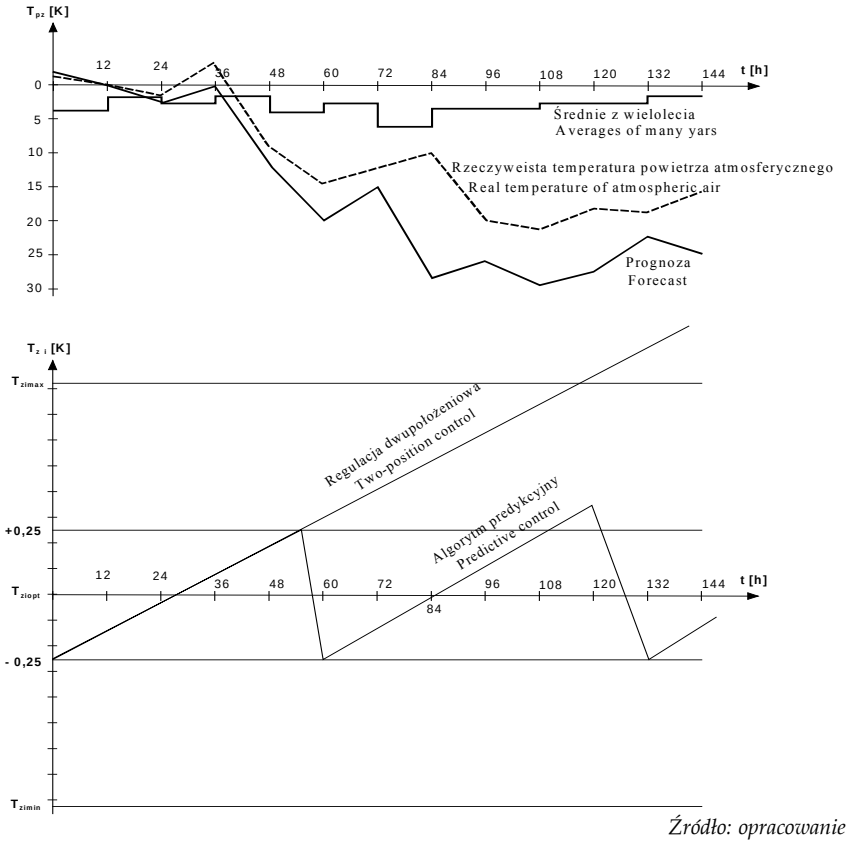
System realizujący predykcyjne sterowanie mikroklimatem, zawierający układ sterowania dwupołożeniowego działa dwutorowo. Jednocześnie:

– w sposób dwupołożeniowy steruje parametrami technologicznymi przechowalni, tak jak to ma miejsce aktualnie w konwencjonalnych przechowalniach ziemniaków,
– korzystając z modelu procesów wymiany ciepła i masy oraz wprowadzanych na bieżąco prognoz pogody przeprowadza badania symulacyjne. Wynikiem tych badań są wyliczone, przewidywane w okresie objętym prognozą przebiegi parametrów technologicznych przechowalni. Jeśli przebiegi te przekroczą

dopuszczalne przez technologów przedziały wartości i prognoza pogody będzie niekorzystna dla wentylacji, wówczas działanie podejmuje moduł interwencyjnych oddziaływań sterowniczych. Funkcjonowanie tego modułu oraz algorytmu sterowania predykcyjnego omówione zostanie poniżej na przykładzie sterowania temperaturą ziemniaków w przechowalni podczas jednej z możliwych sytuacji przechowalniczych.

Na rysunku 16 przedstawiono przykładowe przebiegi:

– przyjętej podczas obliczeń, rzeczywistej i prognozowanej temperatury powietrza zewnętrznego,
– temperatury ziemniaków w okresie objętym prognozą, wyznaczonej w wyniku badań symulacyjnych dla konwencjonalnego układu sterowania oraz dla systemu realizującego predykcyjny algorytm sterowania mikroklimatem.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 16. Przykładowe przebiegi temperatury powietrza zewnętrznego oraz temperatury ziemniaków

Pokazana na rysunku 16 sytuacja przechowalnicza występuje zimą w okresie silnych mrozów. Z rysunku 16 wynika, że:

- w okresie objętym prognozą temperatura ziemniaków w warstwie w konwencjonalnej przechowalni wyposażonej tylko w układ sterowania dwupołożeniowego przekroczy dopuszczalną przez technologów, maksymalną wartość $T_{zimax} = T_{ziopt} + 1°C$,
- przewidywana temperatura powietrza zewnętrznego jest za niska i nie będzie możliwe schłodzenie bulw w warstwie z wykorzystaniem wentylacji powietrzem zewnętrznym,
- rzeczywista temperatura powietrza zewnętrznego jest wyższa, a zatem korzystniejsza dla wentylacji, od prognozowanej.

W takich przypadkach w przechowalni powinny być załączone energochłonne urządzenia chłodnicze. Ponieważ przechowalnie ziemniaków nie są wyposażane w te urządzenia, konwencjonalne, aktualnie stosowane układy sterowania zamykają przepustnice powietrza, wyłączają wentylator i czekają na zmianę pogody. Projektanci tych układów nie zaproponowali bowiem żadnych oddziaływań sterowniczych dla tej sytuacji przechowalniczej. W międzyczasie (rys. 16) temperatura ziemniaków nadal rośnie wskutek oddychania. Rosną także straty technologiczne ziemniaków.

W takim przypadku moduł interwencyjnych oddziaływań sterowniczych, wchodzący w skład predykcyjnego algorytmu sterowania, podejmuje natychmiast działania, zapobiegające wystąpieniu tej niekorzystnej sytuacji przechowalniczej. Działania te polegają na wcześniejszym:

- obniżeniu z wartości $T_{zi} = T_{ziopt} \pm 1°C$ do wartości $T_{zi} = t_{ziopt} \pm 0.25°C$ progu załączeń urządzeń wentylacji w układzie regulacji dwupołożeniowej. Gwarantuje to zwiększenie zakresu wykorzystania powietrza zewnętrznego podczas wentylacji powietrzem mieszanym tzn. powietrzem zewnętrznym zmieszanym w odpowiednich proporcjach z powietrzem wewnętrznym;
- załączeniu wentylacji powietrzem mieszanym.

Jak wynika z rysunku 16 podjęte działania interwencyjne spowodowały, że temperatura bulw, pomimo niekorzystnych dla wentylacji warunków, mieści się nadal w dopuszczalnym przedziale wartości $T_{zi} = T_{ziopt} \pm 1°C$. A zatem straty technologiczne ziemniaków nie wzrastają.

Podsumowanie

Rosnąca konkurencja, a także coraz większe wymagania konsumentów odnośnie jakości płodów rolnych wymuszają poszukiwanie nowych technologii oraz nowych rozwiązań technicznych, które pozwoliłyby lepiej przechowywać płody rolne. Szybki rozwój informatyki w ostatnich latach umożliwia techniczną realizację nowych, nie stosowanych w przechowalnictwie algorytmów sterowania ad-

aptacyjnego lub predykcyjnego, a także zastosowanie komputerowego wspomagania obsługi przechowalni w podejmowaniu bieżących decyzji sterowniczych.

Algorytmy adaptacyjne stosuje się wówczas, gdy własności dynamiczne procesu technologicznego ulegają zmianie. W porównaniu z konwencjonalnym układem sterowania, układ adaptacyjny umożliwia samoczynny dobór nowych nastaw regulatora po każdorazowej zmianie własności dynamicznych procesu technologicznego. Pozwala to uzyskać wymaganą jakość i dokładność regulacji, a tym samym zmniejszenie strat technologicznych i zachowanie jakości magazynowanych płodów rolnych.

Algorytmy predykcyjne, podobnie jak komputerowe wspomaganie obsługi przechowalni w podejmowaniu decyzji sterowniczych stosuje się wówczas, gdy zależy nam na energooszczędnym sterowaniu, polegającym na wykorzystaniu w jak najszerszym zakresie powietrza zewnętrznego podczas wentylacji, bez potrzeby załączeń energochłonnych urządzeń klimatyzacji.

Zastosowanie tych algorytmów wymaga jednak znajomości modeli procesów technologicznych przechowalnictwa płodów rolnych. Wydaje się jednak, że dzięki ich zastosowaniu możliwe jest zmniejszenie kosztów eksploatacyjnych budynków przechowalni.

Bibliografia

Adamicki F., Czerko Z. 2002. Przechowalnictwo warzyw i ziemniaka, PWRiL, Warszawa.

Kubicki K. 1988. Biologiczne i techniczne uwarunkowania przechowywania ziemniaków. Państwowe Wydawnictwo Naukowe. Warszawa.

Lange E. 1989. Przechowywanie owoców. PWRiL. Warszawa.

Pr. zbiorowa. 2008. Elementy inżynierii systemów rolniczych. Rozdział: Automatyzacja procesów inżynierii rolniczej na przykładzie przechowalnictwa ziemniaków. Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu.

Tarnowski W. 2004. Modelowanie systemów. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej. Koszalin.

Wachowicz E. 1990. Sterowanie pracą urządzeń wentylacji i klimatyzacji w przechowalniach ziemniaków, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej. Koszalin.

Wachowicz E. 2002. Zastosowanie zbiorów rozmytych do komputerowego wspomagania decyzji sterowniczych w przechowalniach ziemniaków. Inżynieria Rolnicza. 6(39). Warszawa.

Wachowicz E. 2007. Linguistic Modelling the Selected Class of Processes Designed for Control. Polish Journal of Environmental Studies. Vol. 16, No 4B.

Wachowicz E. 2009. Predictive control of a selected class of technological processes. Polish Journal of Environmental Studies. Vol. 18, No 4B.

TECHNOLOGIE INFORMACYJNE W ROLNICTWIE

Jerzy Weres

Instytut Inżynierii Rolniczej
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
e-mail: weres@up.poznan.pl

Wprowadzenie

Gwałtowny rozwój zastosowań technologii informacyjnych w rolnictwie ma swoje źródła nie tylko w olbrzymim potencjale samej informatyki, ale też w zapotrzebowaniu na nowe, skuteczniejsze metody wspomagania procesów produkcyjnych, badawczych i rozwojowych w obszarach rolnictwa, przetwórstwa rolno-spożywczego i leśnictwa [Hołownicki 2009]. Posługiwanie się sprzętem komputerowym i właściwie dobranym oprogramowaniem, w oparciu o infrastrukturę telekomunikacyjną, przyśpiesza analizę, projektowanie i zarządzanie złożonymi, nowoczesnymi systemami rolnictwa, otwiera nowe, zaawansowane perspektywy badań naukowych i wdrożeń oraz przyśpiesza modernizację terenów wiejskich. Wprowadzanie technologii informacyjnych nie tylko dostarcza korzyści praktycznych, lecz także otwiera nowe możliwości naukowego poznawania i wyjaśniania rozpatrywanych systemów produkcyjnych, a przy tym – wpływa twórczo na rozwój stosowanych narzędzi informatyki. Zakres korzystania z technologii informacyjnych w gospodarstwach rolniczych stopniowo rośnie, a dotychczasowe ograniczenia, takie jak niedostateczna infrastruktura telekomunikacyjna oraz rozbieżności między oczekiwaniami użytkowników a funkcjonalnością dostarczanych systemów informatycznych maleją [Cupiał 2008; Grieger, Sławiński 2008; Kocira, Lorencowicz 2008; Lorencowicz, Figurski 2008; Młodzka-Stybel i in. 2005; Sławiński, Grieger 2009; Francik 2010].

Szeroka skala i dynamika oddziaływań informatyki i telekomunikacji na ogólny postęp technologiczny oraz rozbudowane oczekiwania społeczeństwa przekształcającego się w Społeczeństwo Informacyjne powodowały, że w początkowym okresie rozwiązania informatyczne były w rolnictwie wdrażane w sposób zindywidualizowany. Z czasem, gdy procesy wytwarzania oprogramowania dla tego sektora zaczęły osiągać poziomy zdefiniowane, zarządzane i zoptymalizowane, zaczęto dostrzegać potrzebę pilnego ich uporządkowania. Dziś wiele instytucji podejmuje koordynację i wspomaganie tych działań. Na poziomie

rządowym są to przede wszystkim Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi oraz Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, dużą rolę odgrywa też Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie oraz Wojewódzkie Ośrodki Doradztwa Rolniczego. Wśród jednostek badawczo-rozwojowych wyróżniają się w tym zakresie dwa Państwowe Instytuty Badawcze: Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach oraz Instytut Ochrony Roślin w Poznaniu, a także - Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych w Poznaniu.

Podstawową rolę w rozwijaniu i upowszechnianiu technologii informacyjnych w rolnictwie oraz w porządkowaniu tych procesów odgrywa środowisko naukowe uczelni wyższych i jednostek badawczo-rozwojowych, skupione wokół inżynierii rolniczej. Dojrzały poziom podejmowanych działań koordynacyjnych został osiągnięty dzięki wczesnemu dostrzeżeniu znaczenia technologii informacyjnych w polskim środowisku inżynierii rolniczej. Wśród sekcji Komitetu Techniki Rolniczej PAN powołano Sekcję Informatyki w Rolnictwie. Pod opieką Polskiego Towarzystwa Inżynierii Rolniczej (PTIR) zawiązało się Polskie Towarzystwo Zastosowań Informatyki w Rolnictwie, Gospodarce Leśnej i Żywnościowej (POLSITA), wchodzące w skład European Federation for Information Technology in Agriculture, Food and the Environment (EFITA). Prace organizacyjne w omawianym zakresie są też wspomagane przez Sieć Naukową „Agroinżynieria dla zrównoważonego rolnictwa przemysłu rolno-spożywczego i obszarów wiejskich (AgEng-Pol). Polscy naukowcy odgrywają czynną rolę w pracach zarządów międzynarodowych towarzystw naukowych w zakresie rozwoju technologii informacyjnych w rolnictwie, zarówno we wspomnianej już europejskiej federacji EFITA, jak i w International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering (CIGR). Uczestniczą też w pracach Sekcji Nauk Obliczeniowych Komitetu Informatyki PAN.

Celem niniejszej pracy jest wskazanie najistotniejszych aspektów badań naukowych i wdrożeń podejmowanych w zakresie informatyki stosowanej w rolnictwie oraz udokumentowanie na wybranych przykładach obszernego dorobku polskiego środowiska inżynierii rolniczej w tworzeniu nowych, oryginalnych metod i systemów informatycznych oraz w twórczym posługiwaniu się już istniejącymi i dostępnymi technologiami informacyjnymi.

Interoperacyjność systemów informatycznych w rolnictwie

Jednym z głównych zadań koordynacyjnych przy wdrażaniu technologii informacyjnych w rolnictwie jest przestrzeganie zasady interoperacyjności. Pod pojęciem tym rozumiemy zdolność systemów informatycznych do efektywnego współdziałania w celu zapewnienia bezpiecznej wymiany i współdzielenia danych o określonej strukturze, zgodnie z potrzebami użytkowników. W zakresie tym mogą być pomocne Europejskie Ramy Interoperacyjności opracowane

i uaktualniane przez Komisję Europejską dla potrzeb współdziałania systemów informatycznych administracji publicznej [W kierunku interoperacyjności europejskich usług użyteczności publicznej 2010], a także - Krajowe Ramy Interoperacyjności [Projekt rozporządzenia Rady Ministrów 2011].

W obszarze rolnictwa możliwości współdziałania systemów informatycznych, z powodu braku spójności przetwarzanych danych, są jak dotąd niewielkie – wpływa to niekorzystnie na rozwój i upowszechnianie wiedzy, opóźnia też wdrażanie nowych technologii. Potrzebę poprawy tej sytuacji poprzez określenie zasad interoperacyjności systemów informatycznych w rolnictwie dostrzegła Komisja Europejska i w ramach 7. Programu Ramowego skierowała do realizacji projekt „A common data exchange system for agricultural systems", opracowany przez europejską federację EFITA przy udziale polskiego towarzystwa POLSITA. Celem projektu, o akronimie agriXchange, jest opracowanie ujednoliconego systemu wymiany danych w systemach informatycznych tworzonych dla potrzeb rolnictwa w krajach Unii Europejskiej [Rudowicz-Nawrocka i in. 2011]. Jednym ze szczegółowych celów projektu jest utworzenie internetowego portalu – platformy dzielenia się wiedzą, standardami i praktycznymi zastosowaniami w zakresie wymiany danych w systemach rolnictwa w krajach UE [AgriXchange – network for data exchange in agriculture 2010].

Komputerowe modelowanie i symulacja systemów empirycznych rolnictwa

Komputerowe metody odwzorowywania złożonych systemów rolnictwa oraz badania właściwości produktów rolno-spożywczych i leśnych

Skuteczność analizowania złożonych systemów empirycznych rolnictwa, projektowania nowych systemów lub modernizacji istniejących, a także zarządzania tymi systemami zależy od poziomu znajomości ich struktur. W szczególności, aby można było przewidywać zachowanie analizowanego systemu, konieczne jest odwzorowanie jego struktury do sformalizowanej postaci abstrakcyjnego modelu [Pabis 2009]. Bez względu na postać takiego modelu, czy to graficzną, czy matematyczną, komputer za pomocą specjalistycznego oprogramowania wspiera proces budowy modelu, nie tylko jako podręczny notatnik, ale jako narzędzie syntaktycznego i semantycznego przetwarzania informacji. Praktycznie dla każdej metody modelowania i każdego sformalizowanego języka zapisu istnieje komputerowe oprogramowanie wspomagające proces modelowania. Szczególną pozycję uzyskały komputery dzięki efektywnym numerycznym metodom rozwiązywania układów równań algebraicznych. Do postaci takich równań są doprowadzane skomplikowane modele matematyczne badanych procesów,

poprzez aproksymację równań różniczkowych cząstkowych z warunkami początkowymi i brzegowymi, najczęściej – metodą elementów skończonych (MES) [Zienkiewicz i in. 2005]. Modele matematyczne, w postaci numerycznej, są podstawą komputerowej symulacji, czyli na modelach tych są przeprowadzane badania, a wyniki takich badań pozwalają formułować wnioski o badanych procesach. Badania symulacyjne muszą być jednak poprzedzone sprawdzeniem modelu - logicznym (weryfikacją) i doświadczalnym (walidacją). Podczas walidacji, czyli porównywania wyników symulacji z wynikami doświadczeń fizycznych należy posługiwać się wyłącznie wynikami doświadczalnymi nie używanymi wcześniej do budowy modelu matematycznego, a proces ten należy podsumować oceną niedokładności proponowanego modelu. Przydatną miarą jest błąd względny definiowany globalnie oraz lokalnie [m.in. Olek, Weres 2007]. Często przeszkodą w dokładnym modelowaniu jest brak wiarygodnych informacji o wartościach współczynników modeli, czyli o właściwościach badanych produktów rolno-spożywczych i leśnych. Coraz popularniejsze zatem stają się technologie informacyjne pozwalające dokładniej poznawać te wartości, z wykorzystaniem m.in. komputerowej analizy obrazu [Sun 2008], obrazowania hiperspektralnego [Sun 2010] oraz zagadnień odwrotnych [Weres, Olek 2005].

O powszechności zastosowań technologii informacyjnych wspierających badanie systemów empirycznych rolnictwa świadczy obszerna literatura przedmiotu, zilustrowana tu wybranymi przykładami [Grzechowiak 2008; Kusz, Marciniak 2009; Kusz, Marciniak 2010; Marciniak 2009; Markowski i in. 2010; Mueller i in. 2010; Nowak, Białobrzewski 2009; Nowak i in. 2011; Olek, Weres 2007; Olek i in. 2011; Siatkowski i in. 2010; Sobieski 2008; Stopa 2010; Ślipek i in. 2009; Tomkiewicz 2011; Weres 2008; Weres i in. 2009; Wiącek, Molenda 2011]

Modelowanie geometrii obiektów 3D i wizualizacja procesów

Poważnym źródłem niedokładności matematycznych modeli systemów empirycznych rolnictwa jest zastępowanie geometrii produktów rolno-spożywczych i leśnych prostymi bryłami, a nawet jej sprowadzanie do postaci obszarów dwu- lub jednowymiarowych. Jest to spowodowane niedostateczną umiejętnością opisania i odwzorowania tej skomplikowanej geometrii w matematycznym modelu. Jeżeli badane produkty posiadają niejednorodną strukturę, oprócz geometrii powierzchni zewnętrznej konieczna jest także znajomość geometrii ich wnętrza [Weres 2010]. Usuwanie tych trudności staje się dziś możliwe dzięki nowoczesnym, zaawansowanym technologiom informacyjnym w obszarach współrzędnościowych metod pomiarowych, przetwarzania i analizy obrazów [Shih 2010; Sun 2008; Sun 2010], trójwymiarowego skanowania – reprezentowania powierzchni za pomocą chmur punktów przetwarzanych do postaci siatek [Heritage, Large 2009], numerycznych metod odwzorowywania geometrii w modelach MES [Frey, George 2008] oraz komputerowego wspomagania tworzenia grafiki komputerowej.

Te skomplikowane technologie, umożliwiające poprawę jakości modelowania badanych systemów empirycznych rolnictwa, są przedmiotem badań i zastosowań również w polskim środowisku inżynierii rolniczej [Frączek 2003; Frączek, Wróbel 2009; Joachimiak i in. 2009; Weres 2008; Weres 2010; Weres i in. 2010a; Wróbel 2011].

Komputerowe wspomaganie projektowania maszyn i urządzeń rolniczych

Wirtualne prototypowanie maszyn i urządzeń przeznaczonych dla rolnictwa, przetwórstwa spożywczego i leśnictwa staje się coraz powszechniejsze. Wprawdzie wymaga znacznych nakładów na sprzęt i oprogramowanie oraz bardzo dobrze wykształconych ludzi, ale dostarcza niewątpliwych korzyści w skróceniu czasu analizy, projektowania, budowy i badania prototypu, a przy tym pozwala osiągnąć wyższą jakość końcowego produktu. Wymaga umiejętności nieliniowego modelowania złożonych układów mechanicznych w ośrodkach najczęściej niejednorodnych, anizotropowych, sprężysto-plastycznych lub sprężysto-lepko-plastycznych, z komputerowym wsparciem zaawansowanych programów inżynierskich, implementujących na ogół metodę elementów skończonych. Wytworzone w taki sposób wirtualne prototypy maszyn są poddawane komputerowej symulacji dla szerokiego zbioru wartości warunków początkowych i brzegowych, właściwości materiałowych oraz geometrii. Zoptymalizowany w taki sposób prototyp jest następnie badany doświadczalnie i dopiero wówczas można dokonać oceny jakości komputerowego modelowania. Wiodącym w tym zakresie ośrodkiem badawczym jest Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych w Poznaniu, choć także w innych ośrodkach są podejmowane prace tego typu [Łowiński, Zbytek 2010; Patyk, Kukiełka 2009; Spychała i in. 2010; Szczepaniak 2008; Szczepaniak i in. 2010; Szczepaniak, Bitner 2011; Szyc i in. 2010].

Technologie informacyjne w sterowaniu, diagnostyce i wizualizacji pracy maszyn i urządzeń

Systemy komputerowe o ściśle określonym przeznaczeniu, wbudowane w obsługiwany przez nie sprzęt w celach sterowania, monitorowania i diagnozowania, noszą nazwę systemów wbudowanych [Noergaard 2005]. Podstawą ich działania są sterowniki mikroprocesorowe zaprogramowane do wykonywania niewielkiej liczby zadań sterowniczych. Systemy te mogą być wyposażone w oprogramowanie dedykowane wyłącznie danemu urządzeniu lub w system operacyjny wraz ze specjalistycznym oprogramowaniem. Ich znaczenie w automatycznym sterowaniu parametrami pracy nowoczesnych ciągników, maszyn i urządzeń stosowanych w rolnictwie, przetwórstwie rolno-spożywczym i leśnictwie jest olbrzymie.

Systemy te umożliwiają zarządzanie dawką nawożenia, oprysku czy też siewu, pozwalają na zdalną wizualizację i diagnostykę – zastosowań oraz technicznych rozwiązań stale w tym zakresie przybywa. Ta ważna tematyka zastosowań technologii informacyjnych jest obszernie reprezentowana w literaturze naukowej dyscypliny inżynieria rolnicza [Cieślikowski 2009; Cieślikowski, Pedryc 2009; Jędruś 2010; Horyński, Majcher 2010; Juszka, Tomasik 2009; Krzaczek 2009; Nalepa i in. 2009; Neugebauer, Sołowiej 2009a; Neugebauer, Sołowiej 2009b; Rutkowski, Grodny 2010; Ścibisz 2009; Tomasik i in. 2009; Wachowicz 2009; Wachowicz, Grudziński 2009]

Metody i narzędzia wytwarzania systemów informatycznych

W miarę upowszechniania systemów informatycznych wspomagających rolnictwo wzrastają oczekiwania wobec ich jakości. Jest zatem ważne, by potencjalni użytkownicy potrafili oceniać jakość tych systemów za pomocą takich atrybutów jak np. funkcjonalność, efektywność i niezawodność. Istnieje kilka popularnych systemów normalizujących jakość procesu wytwarzania oprogramowania oraz jakość produktu końcowego [Schulmeyer 2007], jednak ich przestrzeganie, ze względu na koszty, najczęściej nie jest obowiązkowe. Wpływa to na obniżenie jakości wielu programów komputerowych, a przez to - niepełną ich akceptację przez użytkowników. Wystarczy jednak na wszystkich etapach procesu tworzenia systemu informatycznego przestrzegać choćby podstawowych zasad inżynierii oprogramowania [Sommerville 2010], korzystać z profesjonalnego oprogramowania wspomagającego analizę, programować w wydajnym środowisku implementacyjnym, testować z użyciem odpowiednich narzędzi oraz dobrać właściwy schemat zarządzania projektem [Chemuturi, Cagley 2010], by prawdopodobieństwo osiągnięcia powodzenia w tak prowadzonym przedsięwzięciu stało się bardzo wysokie. Niedoceniany czynnik sukcesu spoczywa w rękach potencjalnych użytkowników systemu: to oni odgrywają decydującą rolę w procesie zarządzania jakością, bowiem na początku muszą kompetentnie i szczegółowo określić funkcjonalne i pozafunkcjonalne wymagania stawiane nowotworzonemu bądź zakupywanemu oprogramowaniu, a na końcu – dokonać jego walidacji w oparciu o udokumentowany zestaw wymagań.

Systemy baz danych jako podstawa systemów informatycznych w rolnictwie

Trudno dziś wyobrazić sobie systemy informatyczne, które nie byłyby oparte na systemach baz danych. Dotyczy to w szczególności rolnictwa, ze względu na potrzebę przetwarzania olbrzymiej ilości danych o złożonej, trudnej do odwzorowania strukturze. Systemy baz danych, obejmujące zarówno systemy zarządzania bazami danych, jak i same bazy danych, zapewniają m.in. spójność danych,

bezpieczne ich przechowywanie, współbieżne udostępnianie, autoryzowanie dostępu, czy wreszcie odtwarzanie danych po awarii [Garcia-Molina i in. 2008]. Potencjalni użytkownicy oraz projektanci systemów informatycznych mają do dyspozycji wiele rodzajów systemów baz danych oraz szczegółowych implementacji systemów zarządzania bazami danych. Są to systemy relacyjne, obiektowo-relacyjne, post-relacyjne – z różnymi rozszerzeniami; coraz większego znaczenia nabierają rozszerzenia związane z językiem XML. Analiza i implementacja systemów baz danych w systemach informatycznych rolnictwa była przedmiotem wielu opracowań naukowych [Cupiał 2009; Dąbkowski, Molenda 2002; Mueller i in. 2007; Mueller 2008; Otrząsek i in. 2011; Rut i in. 2010; Sojak i in. 2007; Wacięga, Molenda 2009].

Metody reprezentacji wiedzy, komputerowe systemy wspomagania decyzji

Obszerną grupę systemów informatycznych tworzą komputerowe systemy wspomagania decyzji [Sauter 2011; Turban i in. 2010]. Dla rolnictwa odgrywają one podstawową rolę, począwszy od małych systemów dla wąsko określonych zadań technologicznych po duże, zintegrowane systemy doradcze. Coraz więcej takich systemów jest udostępnianych jako aplikacje sieciowe, z możliwością ich szybkiej aktualizacji na serwerze. Użytkownik ma do nich dostęp na swoim klienckim komputerze wyposażonym w przeglądarkę internetową. Przygotowywanie takich systemów doradczych wymaga, oprócz zastosowania standardowych procedur tworzenia oprogramowania, opracowania formalnych systemów reprezentacji wiedzy. Utworzenie sformalizowanej reprezentacji wiedzy, a następnie udostępnienie jej w sposób efektywny użytkownikowi stanowi trudne wyzwanie metodyczne i merytoryczne, wymagające wysokich kwalifikacji z zakresu inżynierii wiedzy. W środowisku polskiej inżynierii rolniczej są prowadzone liczne i udokumentowane badania naukowe oraz prace wdrożeniowe, zarówno w zakresie metod reprezentacji wiedzy, jak i budowy całościowych systemów informatycznych wspomagających podejmowanie decyzji w bardzo szerokim zakresie praktycznych zastosowań [Bartnik i in. 2006; Bartnik, Marciniak 2011; Boniecki i in. 2005; Cupiał 2006; Cupiał 2007; Cupiał 2009; Janaszek, Trajer 2010; Juliszewski i in. 2009; Kapłon, Prusak 2011; Kluza i in. 2011; Kozłowski, Weres 2007; Kozłowski, Weres 2008; Kozłowski i in. 2011; Kusz, Marciniak 2006; Kusz i in. 2011; Mueller i in. 2008a, Mueller i in. 2008b; Nalepa, Pietkiewicz 2009; Nieróbca i in. 2010; Promiński i in. 2009; Promiński i in. 2011; Skwarcz 2009; Sojak, Głowacki 2008; Trajer, Stankiewicz 2010; Urbańska i in. 2010; Weres i in. 2010b; Wójtowicz, Wójtowicz 2003; Wójtowicz i in. 2008; Zagórda, Walczykova 2011; Zaliwski, Hołaj 2007; Zaliwski 2009; Zaliwski, Nieróbca 2010]

Zastosowania sztucznych sieci neuronowych

Sztuczne sieci neuronowe, dzięki swojej skuteczności, szybko znalazły liczne zastosowania w wielu dziedzinach, czy to we wspomaganiu badań naukowych, czy w rozwiązywaniu zadań praktyki inżynierskiej [Haykin 2008]. Inżynieria rolnicza, w której pojawiają się liczne problemy trudne do pełnego sformalizowania jest dyscypliną szczególnie otwartą na posługiwanie się tym narzędziem, bowiem można do niego wprowadzać praktycznie dowolne, nieuporządkowane dane, przy założeniu, że jest ich dostatecznie dużo, a uzyskiwać, wskutek nauczenia sieci, użyteczny wynik obrazujący istnienie w badanym systemie pewnych zależności. Narzędzie to nie zastępuje matematycznych strukturalnych modeli opisujących badane systemy empiryczne i prognozujących ich zachowanie, a raczej je uzupełnia, wszędzie tam, gdzie złożoność problemów ogranicza możliwość pełnego rozpoznania struktur systemów empirycznych, a zatem uniemożliwia budowę modeli strukturalnych. Zakres zastosowań sieci neuronowych obejmuje więc przede wszystkim modelowanie złożonych systemów empirycznych, przetwarzanie, analizę i klasyfikację sygnałów, a zatem – prognozowanie i wspomaganie podejmowania decyzji, np. w diagnostyce maszyn i urządzeń czy w ocenie jakości procesów technologicznych i uzyskiwanych produktów, w tym wypadku najczęściej z wykorzystaniem komputerowego przetwarzania i analizy obrazu. Praktyka posługiwania się sieciami neuronowymi wskazuje na jeszcze jedna ich zaletę - są stosunkowo odporne na zakłócenia i szumy. Duże znaczenie sieci neuronowych w badaniach podejmowanych przez polskie środowisko inżynierii rolniczej jest widoczne w licznych publikacjach: książkowych [Boniecki 2008; Nowakowski 2008] i w czasopismach naukowych [Boniecki, Nowakowski 2008; Boniecki i in. 2009; Boniecki i in. 2010; Boniecki i in. 2011; Dejewska i in. 2010a; Dejewska i in. 2010b; Francik 2010; Koszela, Weres 2009; Kujawa i in. 2011; Łapczyńska-Kordon i in. 2006; Łapczyńska-Kordon, Francik 2008; Nowakowski i in. 2009; Nowakowski i in. 2010; Przybylak i in. 2009; Przybylak i in. 2011; Tomczak, Weres 2009; Trajer 2005; Tukiendorf 2005; Zaborowicz i in. 2010].

Komputerowe przetwarzanie i analiza obrazów

Pojawienie się technologii informacyjnych w obszarach przetwarzania i analizy obrazów otworzyło przed badaniami naukowymi i ich praktycznymi zastosowaniami nowe możliwości. Komputerowe systemy automatycznego przetwarzania i analizy cyfrowych obrazów pozwalają szybciej i dokładniej wyodrębniać w obrazach interesujące nas obiekty, ilościowo określać te spośród ich znaczących geometrycznych i materiałowych właściwości, o których informacja jest w obrazie zawarta oraz identyfikować klasy, do których można je zaliczyć [Gonzalez, Woods 2008; Shih 2010]. Systemy te stanowią w rolnictwie, przetwórstwie spożywczym i leśnictwie potężne bezdotykowe i nieniszczące narzędzie wspomagające nadzorowanie poprawności procesów i ocenę jakości końcowych produktów [Sun 2008].

Metody komputerowego przetwarzania i analizy obrazów są przedmiotem stałego rozwoju. Ulepszane są algorytmy poszczególnych operacji, następuje też ich integracja z metodami umożliwiającymi lepsze ich wykorzystanie, m.in. ze współrzędnościowymi metodami pomiarowymi oraz sztucznymi sieciami neuronowymi. W ostatnich latach w analizie jakości produktów spożywczych szczególnego znaczenia nabrała integracja komputerowych systemów wizyjnych z metodami spektroskopii – powstała nowa, szybko popularyzująca się technologia obrazowania hiperspektralnego [Sun 2010], dostarczająca jednocześnie informacji przestrzennych i spektralnych o badanym produkcie.

Komputerowe systemy przetwarzania i analizy cyfrowych obrazów są coraz powszechniej rozwijane i stosowane w badaniach naukowych i pracach rozwojowych prowadzonych przez polskie środowisko inżynierii rolniczej [Cupiał, Baran 2007; Dejewska i in. 2010a; Frączek 2003; Janaszek, Trajer 2010; Koszela, Weres 2009; Kozłowski, Kozłowski 2008; Kozłowski i in. 2009; Kujawa i in. 2011; Lipiński, Lipiński 2009; Matuszek, Tukiendorf 2007; Nowakowski 2008; Nowakowski i in. 2009; Rut, Szwedziak 2009; Tukiendorf i in. 2006; Weres 2010; Weres i in. 2010a; Zaborowicz i in. 2010; Zapotoczny 2005; Zapotoczny 2009].

Systemy lokalizacyjne i systemy informacji przestrzennej

Systemy informacji przestrzennej, wzmocnione możliwościami systemów lokalizacyjnych: globalnych (Global Positioning Systems, GPS) bądź lokalnych (Local Positioning Systems, LPS) [Labrador i in. 2010], tak bardzo dziś rozpowszechnione, są szczególnie przydatne w szeroko rozumianym rolnictwie i stanowią istotny element rolnictwa precyzyjnego. Obszerne, pogłębione omówienie tych systemów w aspekcie zastosowań rolniczych przedstawili Pierce i Clay [2007] oraz Rudowicz-Nawrocka [2008].

Systemy informacji przestrzennej (Spatial Information Systems, SIS, Geospatial Information Systems, GIS czy wreszcie Geographic Information Systems, GIS) odróżniają się od innych systemów informatycznych odniesieniem zawartych w nich informacji do położenia geograficznego, dzięki czemu stwarzają nowe możliwości analizy danych i wspomagania modelowania. Stanowią implementację technologii informacyjnych w zakresie przechowywania, przetwarzania i analizy danych o obiektach, których położenie jest określone w przestrzeni. Integracja tej przestrzennej informacji z atrybutami obiektu odbywa się z wykorzystaniem warstw danych. Wyszukiwanie w takiej bazie danych może odbywać się poprzez kryteria oparte na współrzędnych lub atrybutach.

Systemy lokalizacyjne i systemy informacji przestrzennej stanowią przedmiot badań prowadzonych w wielu polskich ośrodkach naukowych związanych z rolnictwem [Bobola, Sztampke 2008; Doruchowski 2008; Kęska 2008; Kęska i in. 2008; Kusz, Marciniak 2009; Rudowicz-Nawrocka 2006; Rudowicz-Nawrocka 2008; Rudowicz-Nawrocka 2011; Zagórda i in. 2008; Zagórda, Walczykova 2010].

Podsumowanie

Złożoność systemów empirycznych rolnictwa uzasadnia potrzebę poszukiwania nowoczesnych metod wspomagających analizę i zarządzanie takimi systemami w oparciu o technologie informacyjne, jest też wyzwaniem wskazującym na konieczność rozwijania tych technologii, by mogły sprostać wysokim oczekiwaniom użytkowników z sektorów rolniczego, spożywczego i leśnego. W pracy omówiono najważniejsze aspekty rozwijania i stosowania technologii informacyjnych w tych sektorach w zakresie wspomagania badań naukowych i wykorzystywania ich wyników w praktyce. Na wybranych przykładach udokumentowano wkład polskiego środowiska inżynierii rolniczej w tworzenie nowych, oryginalnych metod i systemów informatycznych, w twórcze posługiwanie się istniejącymi technologiami informacyjnymi oraz w upowszechnianie tych technologii. Podkreślono rolę działań koordynacyjnych w zakresie tworzenia dużych, zintegrowanych systemów informatycznych z wykorzystaniem nowoczesnych, zaawansowanych metod i narzędzi. Zwrócono uwagę na konieczność zapewnienia interoperacyjności – zdolności systemów do efektywnego współdziałania. Wyodrębniono najważniejsze kategorie systemów informatycznych odgrywających kluczowe role we wspomaganiu tworzenia wiedzy naukowej oraz we wdrażaniu nowoczesnych metod produkcji w rolnictwie, przetwórstwie spożywczym i leśnictwie, omówiono ich najistotniejsze cechy oraz przytoczono najciekawsze pozycje literaturowe.

Bibliografia

Bartnik G., Kusz A., Marciniak A. W. 2006. Modelowanie procesu eksploatacji obiektów technicznych za pomocą dynamicznych sieci bayesowskich. Inżynieria Rolnicza. Nr 12(87). Kraków.

Bartnik G., Marciniak A.W. 2011. Modelowanie czynnościowej struktury procesów produkcji w języku grafów dwudzielnych. s. 12. Mat. XIV Ogólnopolskiej Konf. Nauk. „Zastosowanie Technologii Informacyjnych w Rolnictwie" (streszczenia). Uniw. Rol. im. H. Kołłątaja w Krakowie. Kraków.

Bobola G., Sztampke M. 2008. Zastosowanie systemów informacji przestrzennej w rolnictwie. Inżynieria Rolnicza. Nr 11(109). Kraków.

Boniecki P., Krysztofiak A., Czechlowski M., Przybylak A. 2005. Wybrane metody sztucznej inteligencji w procesie diagnozowania wybranych ciągników rolniczych. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering. Nr 50(2).

Boniecki P. 2008. Elementy modelowania neuronowego w rolnictwie. Wyd. UP w Poznaniu. Poznań.

Boniecki P., Nowakowski K. 2008. Klasyfikacja ziarniaków kukurydzy w oparciu o neuronową identyfikację kształtu. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering. Nr 53(3).

Boniecki P., Dach J., Jakubek A., Dejewska T. 2009. Neural image analysis in process of compost quality identification. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering. Nr 54(1).

Boniecki P., Koszela K., Przybylak A. 2010. Klasyfikacja wybranych odmian jabłek oraz suszu marchwi z wykorzystaniem sieci neuronowych typu Kohonena. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering. Nr 55(1).

Boniecki P., Nowakowski K., Tomczak R. 2011. Neural networks type MLP in the process of identification chosen varieties of maize. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering. Nr 56(1).
Chemuturi M.K., Cagley T.M. 2010. Mastering Software Project Management: Best Practices, Tools and Techniques. J. Ross Publishing. Fort Lauderdale, FL. ISBN 978-1604270341.
Cieślikowski B. 2009. Proces diagnostyki układu hydrauliki siłowej w mechanizmie obrotu pługa. Inżynieria Rolnicza. Nr 9(118). Kraków.
Cieślikowski B., Pedryc N. 2009. Koncepcja nadzoru nad maszynami przez komputer pokładowy ciągnika w czasie rzeczywistym z wykorzystaniem magistrali informatycznej LIN. Inżynieria Rolnicza. Nr 9(118). Kraków.
Cupiał M. 2006. System wspomagania decyzji dla gospodarstw rolniczych. Inżynieria Rolnicza. Rozprawa habilitacyjna. Nr 9(84). Kraków.
Cupiał M. 2007. Komputerowe wspomaganie chemicznej ochrony roślin przy pomocy programu „Herbicyd-2". Inżynieria Rolnicza. Nr 6(94). Kraków.
Cupiał M., Baran D. 2007. Wykorzystanie algorytmów rozpoznawania obrazu w badaniach naukowych na przykładzie programu „Ziemniak-99". Inżynieria Rolnicza. Nr 6(94). Kraków.
Cupiał M. 2008. Zapotrzebowanie na programy komputerowe w rolnictwie na przykładzie gospodarstw województwa małopolskiego. Inżynieria Rolnicza. Nr 9(107). Kraków.
Cupiał M. 2009. Program dla rolnictwa w wersji instalowanej i internetowej na przykładzie aplikacji „Plantene" i „Plantene-2". Inżynieria Rolnicza. Nr 1(110). Kraków.
Cupiał M. 2009. Katalog maszyn i pojazdów rolniczych Maszyny-3. Inżynieria Rolnicza. Nr 9(118). Kraków.
Dąbkowski J., Molenda K. 2002. Postrelacyjne bazy danych - Cache Intersystems. Inżynieria Rolnicza. Nr 2(35). Kraków.
Dejewska T., Boniecki P., Jaśkowski J. M. , Kicuła M., Racewicz P. 2010a. Identyfikacja cech biometrycznych zwierząt z wykorzystaniem neuronowej analizy obrazu. Medycyna Wet. Nr 66(9).
Dejewska T., Boniecki P., Jakubek A., Zaborowicz M. 2010b. Barwy jako kryterium w neuronowym rozpoznaniu stanu grzybiczego skóry u zwierząt. Technika rolnicza ogrodnicza leśna. Nr 5/2010. s. 11-12. Poznań.
Doruchowski G. 2008. Postęp i nowe koncepcje w rolnictwie precyzyjnym. Inżynieria Rolnicza. Nr 9(107). Kraków.
Francik S. 2010. Metoda oceny nowoczesności techniczno-konstrukcyjnej ciągników rolniczych wykorzystująca Sztuczne Sieci Neuronowe. Cz. II: Modele neuronowe do oceny nowoczesności ciągników rolniczych. Inżynieria Rolnicza. Nr 3(121). Kraków.
Francik S. 2010. Analiza wykorzystania przez rolników programów komputerowych do wspomagania decyzji. Inżynieria Rolnicza. Nr 7(125). Kraków.
Frączek J. 2003. Wykorzystanie elementów komputerowej analizy obrazu w modelowaniu kształtu nasion. Inżynieria Rolnicza. Nr 11(53). Kraków.
Frączek J., Wróbel M. 2009. Zastosowanie grafiki komputerowej w rekonstrukcji 3D nasion. Inżynieria Rolnicza. Nr 6(115). Kraków.
Frey P., George P.L. 2008. Mesh Generation. Application to Finite Elements. 2nd ed. Wiley-ISTE. Hoboken, NJ.
Garcia-Molina H., Ullman J.D., Widom J. 2008. Database Systems: the Complete Book. 2nd ed. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ, USA.
Gonzalez R.C., Woods R.E. 2008. Digital Image Processing. 3rd ed. Pearson Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ.

Grieger A., Sławiński K. 2008. Porównanie zastosowania Internetu w gospodarstwach rolnych w zależności od prowadzonego w nich systemu produkcji rolniczej. Inżynieria Rolnicza. Nr 11(109). Kraków.

Grzechowiak R. 2008. Podstawy polioptymalizacji systemów technicznych. s. 69-90. Red. Weres J., Krysztofiak A., Boniecki P., Nowakowski K. Wyd. UP w Poznaniu. Poznań.

Haykin S. 2008. Neural Networks and Learning Machines (3rd ed.). Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ, USA.

Heritage G. (red.), Large A. (red.). 2009. Laser Scanning for the Environmental Sciences. Wiley-Blackwell. Hoboken, NJ, USA.

Hołownicki R. 2009. Agroinżynieria na tle przemian w rolnictwie i przemyśle. Inżynieria Rolnicza. Nr 5(114). Kraków.

Horyński M., Majcher J. 2010. Wykorzystanie systemu otwartego do kontroli mikroklimatu w pomieszczeniach gospodarczych. Inżynieria Rolnicza. Nr 7(125). Kraków.

Janaszek M., Trajer J. 2010. Zastosowanie metody wektorów nośnych oraz komputerowej analizy obrazu w klasyfikacji korzeni marchwi. Inżynieria Rolnicza. Nr 7(125). Kraków.

Jędruś A. 2010. Metodyka badań wybranych własności metrologicznych termoanemometrycznych indykatorów wypływu mleka z zastosowaniem techniki mikroprocesorowej. Inżynieria Rolnicza. Nr 7(125). Kraków.

Joachimiak H., Mueller W., Weres J., Nowakowski K. 2009. The visualization of heat flow in a rock bed by using TAO Framework technology. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering. Nr 54(2). Kraków.

Juliszewski T., Waligóra M., Molenda K., Kwaśniewski D., Tabor S., Wacięga M., Radoń J. 2009. Koncepcja komputerowego systemu obliczeń i doradztwa dotyczącego substytucji biomasą konwencjonalnych źródeł energii. Inżynieria Rolnicza. Nr 9(118). Kraków.

Juszka H., Tomasik M. 2009. Mikrosterowniki w procesach hodowlanych. Inżynieria Rolnicza. Nr 5(114). Kraków.

Kapłon T., Prusak A. 2011. Samoorganizacyjne modelowanie rozmyte z wykorzystaniem metod klasteryzacji danych. s. 27. Mat. XIV Ogólnopolskiej Konf. Nauk. „Zastosowanie Technologii Informacyjnych w Rolnictwie" (streszczenia). Uniw. Rol. im. H. Kołłątaja w Krakowie. Kraków.

Kęska W. 2008. Właściwości metrologiczne satelitarnych systemów pozycjonowania obiektów ruchomych oraz ich zastosowanie w technologiach rolnictwa precyzyjnego. s. 131-149. Red. Weres J., Krysztofiak A., Boniecki P., Nowakowski K. Wyd. UP w Poznaniu. Poznań.

Kęska W., Ratajczak P., Jurczak B. 2008. Badania dokładności pomiaru pozycji maszyn w terenie otwartym za pomocą satelitarnego systemu GPS dedykowanego dla zastosowań rolniczych. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering. Nr 53(1).

Kluza T., Nowak P., Weres J., Nowakowski K. 2011. Internetowe wspomaganie podejmowania decyzji w odniesieniu do złożonych procesów produkcji rolniczej. s. 50. Mat. XIV Ogólnopolskiej Konf. Nauk. „Zastosowanie Technologii Informacyjnych w Rolnictwie" (streszczenia). Uniw. Rol. im. H. Kołłątaja w Krakowie. Kraków.

Kocira S., Lorencowicz E. 2008. Wykorzystanie komputerów w wybranych gospodarstwach rodzinnych Lubelszczyzny. Inżynieria Rolnicza. Nr 7(105). Kraków.

Koszela K., Weres J. 2009. Neuronowa klasyfikacja obrazów suszu warzywnego. Inżynieria Rolnicza. Nr 8(117). Kraków.

Kozłowski R.J., Weres J. 2007. Komputerowe wspomaganie identyfikacji szkodników i chorób rzepaku ozimego. Inżynieria Rolnicza. Nr 2(90). Kraków.

Kozłowski R.J., Weres J. 2008. Internetowy system doradczy "Rzepinfo" wspomagający ochronę plantacji rzepaku ozimego. Inżynieria Rolnicza. Nr 2(100). Kraków.

Kozłowski R.J., Kozłowski J. 2008. System komputerowy wspomagający analizę uszkodzeń liści rzepaku. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering. Nr 53(2).

Kozłowski R.J., Górski R., Kozłowska M. 2009. Metody analizy obrazu w badaniu krzywej wzrostu grzyba Trichoderma harzianum występującego w uprawie pieczarki dwuzarodnikowej Agaricus bisporus (lange/imbach). Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin. Nr 49(3).

Kozłowski R.J., Przybylak A., Niedbała G. 2011. Doradcza aplikacja internetowa wspomagająca ochronę plantacji buraka cukrowego. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering. Nr 56(1).

Krzaczek P. 2009. Ocena parametrów energetycznych ciągnika rolniczego John Deere 6820 z wykorzystaniem diagnostyki pokładowej. Inżynieria Rolnicza. Nr 8(117). Kraków.

Kujawa S., Tomczak R.J., Kluza T. 2011. Koncepcja metody określania stopnia dojrzałości kompostu z wykorzystaniem komputerowej analizy obrazu i modelowania neuronowego. s. 34. Mat. XIV Ogólnopolskiej Konf. Nauk. „Zastosowanie Technologii Informacyjnych w Rolnictwie" (streszczenia). Uniw. Rol. im. H. Kołłątaja w Krakowie. Kraków.

Kusz A., Marciniak A. W. 2006. Dynamiczne sieci probabilistyczne jako system reprezentacji wiedzy. Inżynieria Rolnicza. Nr 12(87). Kraków.

Kusz A., Marciniak A. W. 2009. Niepewność w reprezentacji zjawisk przestrzennych. Inżynieria Rolnicza. Nr 5(114). Kraków.

Kusz A., Marciniak A. W. 2010. Modelowanie niezawodności złożonych systemów bioagrotechnicznych. Inżynieria Rolnicza. Nr 4(122). Kraków.

Kusz A., Marciniak A.W., Hołaj H., Maksym P. 2011. Modelowanie problemów decyzyjnych w integrowanym systemie produkcji rolniczej. s. 9. Mat. XIV Ogólnopolskiej Konf. Nauk. „Zastosowanie Technologii Informacyjnych w Rolnictwie" (streszczenia). Uniw. Rol. im. H. Kołłątaja w Krakowie. Kraków.

Labrador M.A., Wightman P.M., Perez A.J. 2010. Location-Based Information Systems: Developing Real-Time Tracking Applications. Chapman and Hall / CRC. Boca Raton, FL, USA.

Lipiński A. J., Lipiński S. 2009. Automatyczna ocena jakości oprysku na podstawie śladów kropel przy użyciu komputerowej analizy obrazu. Inżynieria Rolnicza. Nr 5(114). Kraków.

Lorencowicz E., Figurski J. 2008. Ocena wykorzystania komputerów i Internetu w indywidualnych gospodarstwach rolnych. Acta Scientiarum Polonorum, Technica Agraria. Nr 7(3-4). Lublin

Łowiński Ł., Zbytek Z. 2010. Analiza obciążeń ramy nośnej maszyny rolniczej podczas przejazdów roboczych i transportowych. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering. Nr 55(1). Poznań.

Łapczyńska-Kordon B., Francik S., Frączek J., Ślipek Z. 2006. Modelowanie skurczu suszarniczego wybranych warzyw korzeniowych za pomocą sieci neuronowych. Inżynieria Rolnicza. Nr 13(88).

Łapczyńska-Kordon B., Francik S. 2008. Model neuronowy zmian zawartości wody w zrębkach wierzby podczas konwekcyjnego suszenia. Inżynieria Rolnicza. Nr 11(109). Kraków.

Młodzka-Stybel A., Dąbkowski J., Roczkowska-Chmaj S. 2005. Wybrane aspekty stanu informatyzacji rolnictwa na tle innych dziedzin gospodarki. Inżynieria Rolnicza. Nr 7(67). Kraków.

Marciniak A. W. 2009. Probabilistyczne modele zjawisk przestrzennych w rolnictwie. Inżynieria Rolnicza. Nr 5(114). Kraków.

Markowski M., Białobrzewski I., Modrzewska A. 2010. Kinetics of spouted-bed drying of barley: Diffusivities for sphere and ellipsoid. Journal of Food Engineering. Nr 96(3).
Matuszek D., Tukiendorf M. 2007. Komputerowa analiza obrazu w ocenie mieszania układów ziarnistych (system Funnel-flow). Inżynieria Rolnicza. Nr 2(90). s. 183-188.
Mueller W., Boniecki P., Weres J., Nowakowski K. 2007. Modelowanie danych w procesie odwzorowywania informatycznych systemów empirycznych stanowiących przedmiot inżynierii rolniczej. Inżynieria Rolnicza. Nr 6(94). Kraków.
Mueller W. 2008. Modelowanie danych w notacji UML. s. 193-203. Red. Weres J., Krysztofiak A., Boniecki P., Nowakowski K. Wyd. UP w Poznaniu. Poznań.
Mueller W., Boniecki P., Joachimiak H. 2008a. Internetowy system wspomagający zarządzanie usługami rolniczymi. Inżynieria Rolnicza. Nr 9(107). Kraków.
Mueller W., Joachimiak H., Weres J. 2008b. Systemy informatyczne sektora rolniczego bazujące na technologii .NET 2005 i SQL Server 2005. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering. Nr 53(1).
Mueller W., Maćkowiak S., Siatkowski I. 2010. System informatyczny do symulacji przepływu ciepła w kamiennym akumulatorze. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering. Nr 55(22). Poznań.
Nalepa K., Neugebauer M., Sołowiej P., Chmielewski R. 2009. Wykorzystanie mikrokontrolera jednoukładowego do sterowania optymalnym ustawieniem płaszczyzny ogniwa fotowoltaicznego w stosunku do słońca. Inżynieria Rolnicza. Nr 8(117). Kraków.
Nalepa K., Pietkiewicz P. 2009. Koncepcja informatycznego systemu polioptymalizacji wykorzystania potencjału energetycznego. Inżynieria Rolnicza. Nr 8(117). Kraków.
Neugebauer M., Sołowiej P. 2009a. Koncepcja wykorzystania logiki rozmytej do sterowania procesem kompostowania biomasy pochodzenia rolniczego z jednoczesnym odbiorem ciepła. Inżynieria Rolnicza. Nr 8(117). Kraków.
Neugebauer M., Sołowiej P. 2009b. Wykorzystanie algorytmów samouczących się do sterowania procesem kompostowania biomasy pochodzenia rolniczego. Inżynieria Rolnicza. Nr 8(117). Kraków.
Nieróbca A., Zaliwski A. S., Horoszkiewicz–Janka J. 2010. Rozwój internetowego systemu wspomagania decyzji w ochronie zbóż. Inżynieria Rolnicza. Nr 7(125). Kraków.
Noergaard T. 2005. Embedded Systems Architecture: A Comprehensive Guide for Engineers and Programmers. Newnes. Burlington. MA. USA.
Nowak K., Białobrzewski I. 2009. Modelowanie w środowisku Matlab reologicznych właściwości mięsa zwierząt gospodarskich. Inżynieria Rolnicza. Nr 9(118). Kraków.
Nowak P., Kluza T., Weres J., Tomczak R.J. 2011. Koncepcja wykorzystania Cloud Computing w monitorowaniu użytków zielonych. s. 49. Mat. XIV Ogólnopolskiej Konf. Nauk. „Zastosowanie Technologii Informacyjnych w Rolnictwie" (streszczenia). Uniw. Rol. im. H. Kołłątaja w Krakowie. Kraków.
Nowakowski K. 2008. Neuronowa analiza obrazu. W: Elementy inżynierii systemów rolnictwa. s. 183-192. Red. Weres J., Krysztofiak A., Boniecki P., Nowakowski K. Wyd. UP w Poznaniu. Poznań.
Nowakowski K., Boniecki P., Dach. J. 2009. Neural image analysis in identification process of mechanical damages of kernels. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering. Nr 54(2). Poznań.
Nowakowski K., Boniecki P., Przybylak A. 2010. Wpływ kompresji barw na działanie neuronowego modelu identyfikacyjnego. Inżynieria Rolnicza Nr 3(121). Kraków.
Olek W., Weres J. 2007. Effects of the method of identification of the diffusion coefficient on accuracy of modeling bound water transfer in wood. Transport in Porous Media. Nr 66(1-2).

Olek W., Perré P., Weres J. 2011. Implementation of a relaxation equilibrium term in the convective boundary condition for a better representation of the transient bound water diffusion in wood. Wood Science and Technology. DOI 10.1007/s00226-010-0399-2.

Otrząsek J., Mueller W., Rudowicz-Nawrocka J., Koszela K. 2011. Typy geograficzne i geometryczne SQL Server w analizie potencjału produkcji roślinnej gospodarstw rolniczych. s. 47. Mat. XIV Ogólnopolskiej Konf. Nauk. „Zastosowanie Technologii Informacyjnych w Rolnictwie" (streszczenia). Uniw. Rol. im. H. Kołłątaja w Krakowie. Kraków.

Pabis S. 2009. Metodologia nauk empirycznych. 15 wykładów. Wyd. Politechniki Koszalińskiej. Koszalin.

Patyk R., Kukiełka L. 2009. Prognozowanie wytrzymałości zmęczeniowej zęba kultywatora z wykorzystaniem metod numerycznych. Inżynieria Rolnicza. Nr 9(118). Kraków.

Pierce F.J. (red.), Clay D. (red.). 2007. GIS Applications in Agriculture. CRC Press. Boca Raton, FL, USA.

Promiński P., Pijanowski D., Mueller W. 2009. Grafika wektorowa z perspektywy systemów informatycznych wspomagających doradztwo rolnicze oraz proces nauczania. Inżynieria Rolnicza. Nr 9(118). Kraków.

Promiński P., Mueller W., Dach J., Kujawa S. 2011. System informatyczny wspomagający gromadzenie i analizę danych pozyskiwanych w procesie kompostowania. s. 48. Mat. XIV Ogólnopolskiej Konf. Nauk. „Zastosowanie Technologii Informacyjnych w Rolnictwie" (streszczenia). Uniw. Rol. im. H. Kołłątaja w Krakowie. Kraków.

Przybylak A., Boniecki P., Nowakowski K. 2009. Konwersja obrazów cyfrowych do postaci zbiorów uczących dla potrzeb modelowania neuronowego. Inżynieria Rolnicza. Nr 9(118). Kraków.

Przybylak A., Ślósarz P., Boniecki P., Lisiak D., Stanisz M., Ludwiczak A. 2011. Noninvasive estimation of marbling in lamb's carcasses. Journal of research and applications in agricultural engineering. Nr 56(1). Poznań.

Rudowicz-Nawrocka J. 2006. Przykłady wykorzystania danych z mapy glebowo-rolniczej z zastosowaniem systemów informacji przestrzennej. Roczniki Geomatyki. Tom IV. Nr 2.

Rudowicz-Nawrocka J. 2008. Systemy informacji przestrzennej w rolnictwie. s. 151-168. W: Elementy inżynierii systemów rolnictwa. Red. Weres J., Krysztofiak A., Boniecki P., Nowakowski K. Wyd. UP w Poznaniu. Poznań.

Rudowicz-Nawrocka J. 2011. Metoda oceny podatności na zanieczyszczenia wód podziemnych pod gruntami ornymi. Roczniki Geomatyki. Tom IX. Nr 1(45).

Rudowicz-Nawrocka J., Weres J., Mueller W. 2011. AgriXchange – wspólny system wymiany danych dla systemów rolnictwa. s. 36. Mat. XIV Ogólnopolskiej Konf. Nauk. „Zastosowanie Technologii Informacyjnych w Rolnictwie" (streszczenia). Uniw. Rol. im. H. Kołłątaja w Krakowie. Kraków.

Rut J., Szwedziak K. 2009. Komputerowa analiza obrazu w ocenie mieszania jednorodnej mieszaniny ziarnistej. Inżynieria Rolnicza. Nr 9(118). Kraków.

Rut J., Szwedziak K., Jarosiewicz A. 2010. Komputerowa baza danych wybranych maszyn i urządzeń rolniczych. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering. Nr 55(2).

Rutkowski K., Grodny K. 2010. Sterowanie oraz wizualizacja procesem technologicznym w obiektach szklarniowych. Inżynieria Rolnicza. Nr 3(121). Kraków.

Sauter V.L. 2011. Decision Support Systems for Business Intelligence. 2nd ed. Wiley. Hoboken, NJ, USA.

Shih F.Y. 2010. Image Processing and Pattern Recognition: Fundamentals and Techniques. Wiley-IEEE Press. Hoboken, NJ, USA.

Schulmeyer G.G. (red.). 2007. Handbook of Software Quality Assurance. Artech House. Norwood, MA, USA.

Siatkowski M., Weres J., Kujawa S. 2010. Porównanie algorytmów optymalizacji globalnej w modelowaniu odwrotnym procesów suszenia produktów rolniczych. Inżynieria Rolnicza. Nr 7(125). Kraków.

Skwarcz J. 2009. Założenia systemu eksperckiego do sterowania procesem produkcji zbóż. Inżynieria Rolnicza. Nr 9(118). Kraków.

Sławiński K., Grieger A. 2009. Ocena wykorzystania technologii informacyjnych w wybranych gospodarstwach rolnych województwa zachodniopomorskiego. Inżynieria Rolnicza. Nr 9(118). Kraków.

Sobieski W. 2008. Podstawowe zasady i etapy modelowania komputerowego w mechanice płynów. s. 111-129. Red. Weres J., Krysztofiak A., Boniecki P., Nowakowski K. Wyd. UP w Poznaniu. Poznań.

Sojak M., Głowacki S., Krawcewicz M. 2007. Zastosowanie internetowej platformy wymiany ogłoszeń z wykorzystaniem baz danych w inżynierii rolniczej. Inżynieria Rolnicza. Nr 2(90). Kraków.

Sojak M., Głowacki S. 2008. Klasyfikacja marchwi z wykorzystaniem systemu ekspertowego. Inżynieria Rolnicza. Nr 7(105). Kraków.

Sommerville I. 2010. Software Engineering. 9th ed. Addison Wesley. Upper Saddle River, NJ, USA.

Spychała W., Łowiński Ł., Pawłowski T., Zbytek Z. 2010. Badania symulacyjne wpływu oporów cięcia na ramę maszyny. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering. Nr 55(2).

Stopa R. 2010. Modelowanie deformacji korzenia marchwi w warunkach obciążeń skupionych metodą elementów skończonych. Wyd. UP we Wrocławiu. Wrocław.

Sun D.-W. (red.). 2008. Computer Vision Technology for Food Quality Evaluation. Academic Press / Elsevier. San Diego, CA, USA.

Sun D.-W. (red.). 2010. Hyperspectral Imaging for Food Quality Analysis and Control. Academic Press / Elsevier. San Diego, CA, USA.

Szczepaniak J. 2008. Symulacje komputerowe maszyn roboczych w inżynierskich analizach konstrukcji. s. 101-110. Red. Weres J., Krysztofiak A., Boniecki P., Nowakowski K. Wyd. UP w Poznaniu. Poznań.

Szczepaniak M., Rogacki R., Mac J. 2010. Modelowanie oraz komputerowa analiza wytrzymałościowa kombajnu do zbioru warzyw. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering. Nr 55(1). Poznań.

Szczepaniak J., Bitner W. 2011. Obliczenia komputerowe wybuchu pyłu zbożowego w silosie z klapami odciążającymi. s. 38. Mat. XIV Ogólnopolskiej Konf. Nauk. „Zastosowanie Technologii Informacyjnych w Rolnictwie" (streszczenia). Uniw. Rol. im. H. Kołłątaja w Krakowie. Kraków.

Szyc M., Patyk R., Kukiełka L. 2010. Komputerowe modelowanie i symulacja zjawisk fizycznych w procesie kulowania zęba sprężynowego kultywatora. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering. Nr 55(1). Poznań.

Ścibisz M. 2009. Wykorzystanie sterowników PLC jako elementów kontrolnych w liniach technologicznych w przemyśle rolno-spożywczym. Inżynieria Rolnicza. Nr 8(117). Kraków.

Ślipek Z., Francik S., Łapczyńska-Kordon B. 2009. Modelowanie złożonego systemu produkcji – model relacyjny gospodarstwa sadowniczego. Inżynieria Rolnicza. Nr 6(115). Kraków.

Tomasik M., Juszka H., Hojna J. 2009. Sterowanie procesami rolniczymi wspomaganymi przez systemy informatyczne. Inżynieria Rolnicza. Nr 5(114). Kraków.

Tomczak R.J., Weres J. 2009. Neuronowa analiza spektrum sygnału akustycznego w określaniu cech fizycznych ziarniaków. Inżynieria Rolnicza. Nr 8(117).

Tomkiewicz D. 2011. Zastosowanie programu Fluent do modelowania zjawisk termodynamicznych w przechowalnictwie. s. 39. Mat. XIV Ogólnopolskiej Konf. Nauk. „Zastosowanie Technologii Informacyjnych w Rolnictwie" (streszczenia). Uniw. Rol. im. H. Kołłątaja w Krakowie. Kraków.

Trajer J. 2005. Sztuczne sieci neuronowe w modelowaniu procesów z ograniczonym zbiorem danych w inżynierii rolniczej. Inżynieria Rolnicza. Nr 2(62). Warszawa.

Trajer J., Stankiewicz J. 2010. Data mining we wspomaganiu decyzji w zrównoważonej produkcji rolniczej. s. 63-64. Mat. Międzynarodowej Konf. Naukowej „Ekologiczne aspekty eksploatacji pojazdów i maszyn rolniczych" (streszczenia). SGGW w Warszawie. Warszawa.

Tukiendorf M. 2005. Zastosowanie sieci FBM w neuronowym modelowaniu mieszania dwuskładnikowych układów ziarnistych. Inżynieria Rolnicza. Nr 14(74). Kraków.

Tukiendorf M., Szwedziak K., Sobkowicz J. 2006. Określenie czystości ziarna konsumpcyjnego za pomocą komputerowej analizy obrazu. Inżynieria Rolnicza. Nr 12(87).

Turban E., Sharda R., Delen D. 2010. Decision Support and Business Intelligence Systems. 9th ed. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ, USA.

Urbańska M., Gierszal H., Nowacki M. 2010. System wsparcia decyzji w ochronie roślin uprawnych. Inżynieria Rolnicza. Nr 7(125). Kraków.

Wachowicz E. 2009. System sterowania czynnikami wzrostu roślin w szklarni. Inżynieria Rolnicza. Nr 6(115). Kraków.

Wachowicz E., Grudziński P. 2009. Komputerowy model układu sterowania mikroklimatem w przechowalni jabłek. Inżynieria Rolnicza. Nr 8(117). Kraków.

Wacięga M., Molenda K. 2009. Rozwiązanie problemu trwałości danych w komputerowym systemie obliczeń i doradztwa dotyczącym substytucji biomasą konwencjonalnych źródeł energii. Inżynieria Rolnicza. Nr 9(118). Kraków.

Weres J., Olek W. 2005. Inverse finite element analysis of technological processes of heat and mass transport in agricultural and forest products. Drying Technology. Nr 23(8).

Weres J. 2008. Komputerowe wspomaganie analizy wybranych właściwości produktów rolniczych i leśnych. s. 205-218. W: Elementy inżynierii systemów rolnictwa. Red. Weres J., Krysztofiak A., Boniecki P., Nowakowski K. Wyd. UP w Poznaniu. Poznań.

Weres J., Olek W., Kujawa S. 2009. Comparison of optimization algorithms for inverse FEA of heat and mass transport in biomaterials. Journal of Theoretical and Applied Mechanics. Nr 47(3).

Weres J. 2010. Informatyczny system pozyskiwania danych o geometrii produktów rolniczych na przykładzie ziarniaka kukurydzy. Inżynieria Rolnicza. Nr 7(125). Kraków.

Weres J., Kujawa S., Nowakowski K., Koszela K. 2010a. Image analysis, 3D geometry modeling and inverse FEA in investigating properties of agri-food and forest products. 8 stron. Proc. of the CIGR XVIIth World Congress. CSBE. Québec City, Canada.

Weres J., Mueller W., Kozłowski R., Kluza T. 2010b. Advanced technologies in developing Web-based decision support systems for agriculture. 6 stron. Proc. of the CIGR XVIIth World Congress. CSBE. Québec City, Canada.

Wiącek J., Molenda M. 2011. Moisture-dependent physical properties of rapeseed – experimental and DEM modeling. International Agrophysics. Nr 25, 1.

Wójtowicz A. Wójtowicz M. 2003. Zastosowanie systemów wspierających podejmowanie decyzji w optymalizacji ochrony rzepaku ozimego. Rośliny Oleiste. Nr 24(1).

Wójtowicz A, Krasiński T., Łepkowski M. 2008. Internetowy system wspomagania decyzji w ochronie ziemniaka przed sprawcą zarazy ziemniaka. Progress in Plant Protection - Postępy w Ochronie Roślin. Nr 48(4).

Wróbel M. 2011. Metoda rekonstrukcji 3D nasion w aplikacji typu CAD. s. 22-23. Mat. XIV Ogólnopolskiej Konf. Nauk. „Zastosowanie Technologii Informacyjnych w Rolnictwie" (streszczenia). Uniw. Rol. im. H. Kołłątaja w Krakowie. Kraków.

Zaborowicz M., Boniecki P., Przybylak A. 2010. Sieć neuronowa typu MLP jako narzędzie w komputerowej analizie obrazów. Journal of research and applications in agricultural engineering. Nr 55(2).

Zaborowicz M., Boniecki P., Świerczyński K. 2010. System informatyczny PiAO jako narzędzie do przetwarzania obrazów cyfrowych wspomagające proces generowania zbiorów uczących przeznaczonych do budowy modeli neuronowych. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering. Nr 55(2).

Zagórda M., Walczyk M., Mazurek R. 2008. Wykorzystanie GIS do wizualizacji przestrzennej zmienności parametrów gleby w powiązaniu z plonem. Inżynieria Rolnicza. Nr 7(105). Kraków.

Zagórda M., Walczykova M. 2010. Metodyczne i utylitarne aspekty sporządzania map przestrzennych oraz czasowych trendów plonowania. Inżynieria Rolnicza. Nr 7(125). Kraków.

Zagórda M., Walczykova M. 2011. Komputerowe wspomaganie rejestracji i oceny procesów technologicznych. s. 45-46. Mat. XIV Ogólnopolskiej Konf. Nauk. „Zastosowanie Technologii Informacyjnych w Rolnictwie" (streszczenia). Uniw. Rol. im. H. Kołłątaja w Krakowie. Kraków.

Zaliwski A. S., Hołaj J. 2007. System wspomagania decyzji w produkcji kiszonki z kukurydzy. Inżynieria Rolnicza. Nr 2(90). Kraków.

Zaliwski A. S. 2009. Ogólna koncepcja krajowego systemu wspomagania decyzji w zakresie produkcji roślinnej. Inżynieria Rolnicza. Nr 6(115). Kraków.

Zaliwski A. S., Nieróbca A. 2010. Walidacja systemu wspomagania decyzji ZeaSoft – modele plonów. Inżynieria Rolnicza. Nr 7(125). Kraków.

Zapotoczny P. 2005. Wpływ rozdzielczości i kompresji obrazu na błąd pomiaru geometrii oraz barwy ziarniaków zbóż. Inżynieria Rolnicza. Nr 8(68). Kraków.

Zapotoczny P. 2009. Dyskryminacja odmian ziarna pszenicy na podstawie cech geometrycznych. Inżynieria Rolnicza. Nr 5(114). Kraków.

Zienkiewicz O.C., Taylor R.L., Zhu J.Z. 2005. The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals. 6th ed. Elsevier: Butterworth-Heinemann. Oxford. UK.

agriXchange – network for data exchange in agriculture [online]. Wageningen, Holandia. The agriXchange consortium. 2010 [dostęp 19-05-2011]. Dostępny w Internecie: http://www.agrixchange.eu/

Projekt rozporządzenia Rady Ministrów z dnia ...2011 r. w sprawie Krajowych Ram Interoperacyjności, minimalnych wymagań dla rejestrów publicznych i wymiany informacji w formie elektronicznej oraz minimalnych wymagań dla systemów teleinformatycznych (wersja z 22.04.2011). Warszawa. MSWiA. 2011 [dostęp 20-05-2011]. Dostępny w Internecie: http://bip.mswia.gov.pl/download.php?s=4&id=8742

W kierunku interoperacyjności europejskich usług użyteczności publicznej, z Załącznikami: I – Europejska Strategia Interoperacyjności (EIS) i II – Europejskie Ramy Interoperacyjności (EIF). Bruksela, Belgia. Komisja Europejska. 2010 [dostęp 20-05-2011]. Dostępny w Internecie: http://bip.mswia.gov.pl/download.php?s=4&id=8284 (końcowe cyfry adresu dla załączników odpowiednio: 8285 i 8286)

ORGANIZACJA PRODUKCJI W ROLNICZYCH PRZEDSIĘBIORSTWACH RODZINNYCH

Zdzisław Wójcicki

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach
Oddział w Warszawie

Wprowadzenie

Techniczno-ekonomiczne przemiany w systemie organizacji polskiego rolnictwa zależą od sytuacji na globalnym rynku żywnościowym, od praktycznego upowszechniania szeroko pojętego postępu naukowo-technicznego oraz od realizacji właściwej Wspólnej Polityki Rolnej (WPR) krajów Unii Europejskiej (UE) z jej dyrektywami, certyfikatami, dopłatami i dotacjami. Zadaniem specjalistów organizacji, agronomii i inżynierii produkcji jest takie upowszechnianie nowych technologii pozyskiwania produktów roślinnych i zwierzęcych, aby na zmniejszającej się powierzchni użytków rolnych (UR) i w zmniejszającej się liczbie towarowych gospodarstw (przedsiębiorstw) rolnych, uzyskiwać coraz więcej i coraz lepszej jakości dostarczanych na rynek rolniczych produktów końcowych po cenach satysfakcjonujących jej producentów i oczekiwania jej konsumentów [Wójcicki i in. 2009].

Celem niniejszej publikacji jest prezentowanie ewolucyjnych przemian w organizacji produkcji rolniczej jakie zachodzą i będą zachodzić w różnych typach gospodarstw rolniczych ze szczególnym uwzględnieniem towarowych gospodarstw rodzinnych, z których część przekształca się w przyszłościowe przedsiębiorstwa rodzinne.

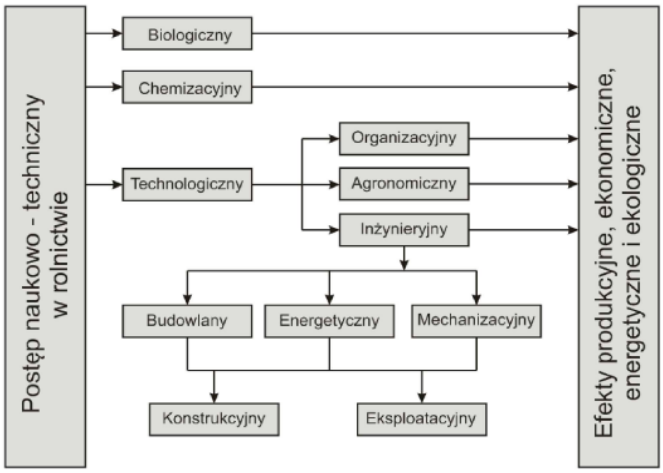
Podstawa prowadzonych studiów będą dotychczasowe analizy prognostyczne IBMER [Golka, Wójcicki 2009, Szeptycki, Wójcicki 2003, Wójcicki 2008] oraz wyniki aktualnie realizowanego przez ITP i uczelnie rolnicze 3-letniego projektu rozwojowego NCBiR nr N R 120043 06/2009 pt: „Technologiczna i ekologiczna modernizacja wybranych gospodarstw rodzinnych" [Wójcicki i in. 2009 i 2010].

Postęp technologiczny i modernizacja gospodarstw

Postęp naukowo-techniczny jest motorem przemian zachodzących w rolnictwie i na obszarach wiejskich. Rozwój społeczno-gospodarczy uwarunkowany jest odpowiednimi relacjami pomiędzy nauką a praktyką, a ściślej współzależnościami pomiędzy nauczaniem,, badaniami, wdrożeniami i upowszechnianiem wiedzy, tworzącymi łącznie postęp naukowo-techniczny (rys. 1). W rolnictwie postęp ten dzieli się na postęp biologiczny, chemizacyjny i technologiczny, a ten ostatni na postęp organizacyjny, agronomiczny i inżynieryjny (techniczny), który też można podzielić zgodnie ze schematem na rysunku 2.

Źródło: Badania własne [Wójcicki i in. 2009]

Rys. 1. Wzajemne zależności pomiędzy postępem naukowo technicznym, nauczaniem, badaniami i upowszechnianiem wyników w praktyce

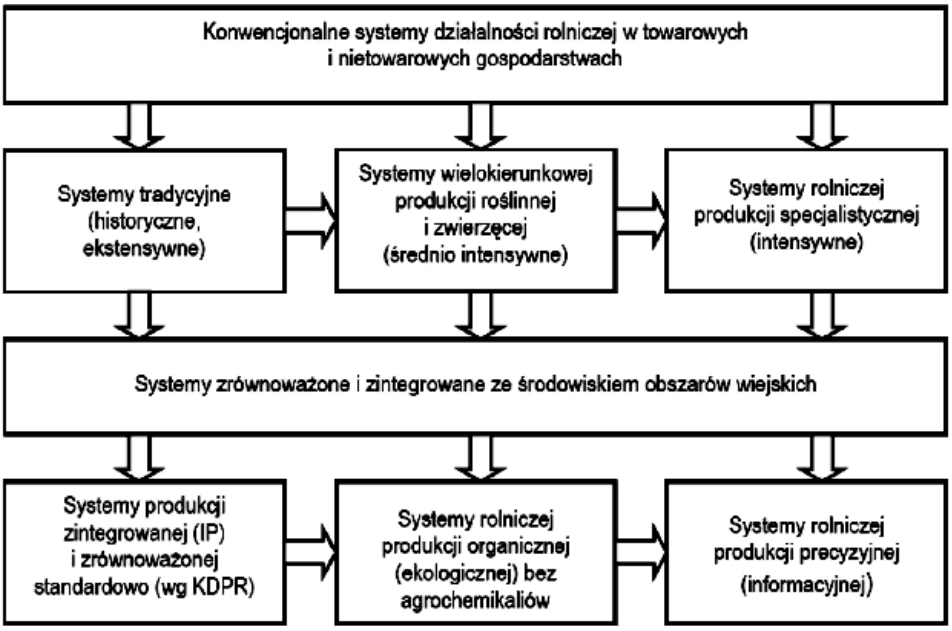


Źródło: badania własne [Wójcicki i in. 2009]

Rys. 2. Rodzaje postępu naukowo-technicznego w rolnictwie

O efektach postępu technologicznego decyduje właściwa organizacja produkcji i pracy, odpowiednia agrotechnika i zootechnika oraz komplementarny do nich dobór racjonalnie eksploatowanych zestawów maszyn, agregatów lub linii technologicznych.

Systemy organizacyjne produkcji rolniczej w Polsce ewolucyjnie zmierzają w kierunku gospodarowania zrównoważonego i ekologicznego (rys. 3).



Źródło: badania własne [Wójcicki i in. 2009]

Rys. 3. Podział i ewolucja systemów produkcji rolniczej w Polsce

Następuje przechodzenie towarowych gospodarstw rolniczych od systemów konwencjonalnych do systemów zrównoważonych, integrowanych ze środowiskiem obszarów wiejskich. Mogą to być systemy:

- produkcji integrowanej i równoważonej standardowo,
- produkcji ekologicznej (organicznej) bez stosowania agrochemikaliów,
- przyszłościowej rolniczej produkcji precyzyjnej (informacyjnej).

Przechodzenie na standardowo zrównoważoną produkcje rolniczą wiąże się z realizacją programów rolno-środowiskowych i wdrażaniem Kodeksu Dobrych Praktyk Rolniczych (KDPR) opracowywanego przez IUNG w Puławach.

W zakresie równoważenia produkcji w towarowych gospodarstwach rolniczych nauka i technika musi aktualizować i upowszechniać sposoby:
- utrzymania trwałej żyzności gleb poprzez zachowanie lub zwiększanie zasobów glebowej substancji organicznej (próchnicy),
- bilansowanie potrzeb pokarmowych roślin w zakresie azotu (N), fosforu (P), potasu (K), wapna (Ca), magnezu (Mg) oraz innych makro i mikroelementów,
- ograniczenia stosowania nawozów mineralnych, chemicznych środków ochrony roślin i zwierząt oraz innych agrochemikaliów,
- rozważnego ale i odważnego stosowania konserwantów, środków hormonalnych, organizmów genetycznie modyfikowanych (GMO) oraz innych osiągnięć postępu biologicznego i chemizacyjnego,
- wprowadzania uproszczonych, energooszczędnych technologii na bazie doboru zestawów wieloczynnościowych maszyn i agregatów nowych generacji,
- ochrony środowiska rolniczego i wiejskiego przed punktowymi i obszarowymi skażeniami gleby, wody, powietrza, roślin i zwierząt,
- zapewniania dostatecznych (parytetowych) dochodów rodzinom rolniczym podejmującym działalność produkcyjną zrównoważoną standardowo lub ekologicznie bądź precyzyjnie.

Organizacyjno-techniczna modernizacja produkcyjnej działalności gospodarstw rolniczych, wyznaczana warunkami gospodarki rynkowej, wspierana jest przez WPR krajów UE poprzez dopłaty bezpośrednie, dotacje celowe i inne bonifikaty.

Taka innowacyjna polityka powinna szczególnie sprzyjać tym średnio obszarowym gospodarstwom rodzinnym, które prowadzą w miarę intensywną produkcję roślinną i zwierzęcą. Wprowadzanie tam energooszczędnych i proekologicznych metod produkcji rolniczej powinno powodować obniżanie jednostkowych kosztów tej produkcji, której dobra jakość może zapewnić jej hurtowy zbyt po bardziej korzystnych cenach.

Rola infrastruktury rolniczej i wiejskiej

Nasza technika rolnicza jest przestarzała, ale spełnia swoją eksploatacyjną i produkcyjną rolę w większości gospodarstw rolniczych działających systemami konwencjonalnymi. Dla gospodarstw przechodzących na zrównoważoną i energooszczędną produkcję rolniczą potrzebne są nowocześniejsze środki techniczne, budynki i budowle.

Możliwości inwestycyjne i modernizacyjne mają obecnie nieliczne gospodarstwa rodzinne uzyskujące corocznie dodatnie wyniki finansowe. W skali całego kraju liczbę gospodarstw rodzinnych wykazujących w 2008 r. dodatnie możliwości inwestycyjne szacowano na 220-250 tysięcy. Od kilku lat liczba tych gospodarstw tylko nieznacznie wzrasta, natomiast powiększa się ich średnia po-

wierzchnia użytków rolnych (UR) oraz unowocześnia się ich wyposażenie w produkcyjne środki trwałe mechanizacji i budownictwa.

Te rozwojowe (przyszłościowe) gospodarstwa rodzinne modernizują się, wiążąc się organizacyjnie i produkcyjnie z instytucjami infrastruktury rolniczej i wiejskiej. Najważniejszymi dla modernizujących się gospodarstw są organizacje infrastrukturalne:

- zaopatrzenia i zbytu rolniczych surowców żywnościowych,
- usług transportowych, mechanizacyjnych, budowlanych, zootechniczno-weterynaryjnych, doradczych i innych,
- obsługi kredytowej, bankowej, współdziałania z agencjami państwowymi (np. z ARiMR) i samorządowymi z rejonu gminy i powiatu.

Pod wpływem współdziałania z przedsiębiorstwami infrastruktury rolniczej, zmienia się dotychczasowa organizacja produkcji i działalności społeczno-ekonomicznej rozwojowych gospodarstw rodzinnych. Zmienia się organizacja zaopatrzenia i zbytu, zmienia się organizacja pracy własnej, zmieniają się technologie produkcji a w ślad za tym zmienia się wyposażenie w środki techniczne własne lub użytkowane w ramach współpracy sąsiedzkiej lub kontraktorskich usług mechanizacyjnych i transportowych.

Rolnicy modernizujący swoje gospodarstwa zdają sobie sprawę, że unowocześniając technologie swojej produkcji muszą wprowadzać bardziej sprawne i wydajne agregaty maszynowe, które łatwiej i taniej można pozyskać w ramach rozwoju lokalnych usług rolniczych. Łatwiej także, w ramach zawartych kontraktów, zapewnić sobie bezpośrednie hurtowe odstawy sprzętem kontraktora buraków, ziemniaków, rzepaku, towarowych zbóż, mleka, zwierząt rzeźnych i innych towarów. Wtedy gospodarstwo nie musi posiadać rozbudowanej bazy magazynowej i specjalistycznego wyposażenia technicznego.

Coraz częściej gospodarstwa rolne korzystając z usług, świadczą także usługi głównie mechanizacyjne i transportowe sprzętem niedostatecznie wykorzystywanym we własnym gospodarstwie (kombajny, agregaty ciągnikowe, ładowarki i inne).

W ramach postępującej modernizacji gospodarstw rolniczych i ich infrastruktury, upraszczają się technologie pozyskania surowców żywnościowych, ale równocześnie coraz bardziej komplikuje się system organizacyjno-techniczny produkcji rolniczej w gospodarstwach związanych z instytucjami rynkowymi i usługowymi. Zachodzi często potrzeba wykorzystania osiągnięć logistyki i informatyki komputerowej.

Badania wybranych gospodarstw rodzinnych

System organizacyjno-technicznej produkcji w gospodarstwie rolniczym powinien dawać odpowiedzi na pytania:

- co,
- gdzie,
- ile,

– jak produkować,
– jakie ponosić nakłady

aby uzyskiwać opłacalne ceny zbytu swoich towarów.

W pytaniu „jak produkować" mieści się pytanie systemowe kim i czym produkować, a więc jak wykorzystać posiadane zasoby pracy i siły pociągowej oraz zestawy środków trwałych niezbędnych do realizacji produkcji określonymi technologicznie metodami.

Badaniami systemów organizacyjno-technicznej działalności w kilkudziesięciu wybranych rozwojowych gospodarstwach rodzinnych zajmujemy się w IBMER (obecnie ITP) od 1990 r. czyli przeszło 20 lat realizując wspólnie z uczelniami rolniczymi kilka projektów badawczych KBN [Wójcicki 2008].

Obecnie zespół pracowników naukowych z placówek badawczych Instytutu Technologiczno-Przyrodniczego (d. IBMER) przy współpracy naukowców z uczelni rolniczych w Lublinie, Siedlcach, Krakowie i Poznaniu realizuje 3-letni projekt badawczo-rozwojowy pt. „Technologiczna i ekologiczna modernizacja wybranych gospodarstw rodzinnych".

Realizacja tego projektu rozwojowego finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBiR) to nie tylko bierne zbieranie danych o działalności, wyposażeniu i wykorzystaniu środków technicznych w badanych obiektach terenowych, ale także aktywne współdziałanie naukowców z rolnikami – właścicielami gospodarstw, aby badane obiekty stawały się rolniczymi przedsiębiorstwami rodzinnymi przystosowanymi do konkurencyjnej działalności produkcyjnej do 2015 r. i w dalszych latach.

Badając i analizując potrzeby i możliwości rozwojowe 52 wybranych gospodarstw możemy określać organizacyjno-techniczne uwarunkowania, jakie mogą zachodzić w polskim rolnictwie pod wpływem postępującej globalizacji w szeroko pojętej gospodarce żywnościowej krajów UE. Zdobywamy także dużą bazę danych empirycznych bezpośrednio z rzeczywistych gospodarstw, co jest i może być podstawą specjalnych analiz techniczno-ekonomicznych, wykonywania naukowych rozpraw promocyjnych (doktorskich i habilitacyjnych) lub innych monografii o charakterze popularno-naukowym.

Zakładając zrównoważony produkcyjnie i ekologicznie rozwój badanych gospodarstw rodzinnych badamy ich potrzeby i możliwości mechanizacyjne, a w tym możliwości inwestycyjne przy zachowaniu lub poprawie wynagrodzenia za pracę w gospodarstwie rodziny rolnika [Wójcicki i in. 2010].

Podstawą tego rodzaju badań i analiz porównawczych są projekty modernizacji badanych obiektów opracowywane wspólnie z rolnikami – właścicielami gospodarstw.

Porównując stan wejściowy z końca 2008 r. z uzyskiwanymi wynikami działalności w 2009 i 2010 r. z przewidywanym rozwojem gospodarstw do 2015 r. włącznie, możemy urealniać wdrażanie nowych technik i nowych technologii produkcji roślinnej i zwierzęcej, na bazie nowych agregatów maszynowych eksploatowanych indywidualnie, zespołowo lub usługowo.

Badania prowadzone są według jednolitych, ciągle aktualizowanych, metodyk i procedur badawczych, uzgadnianych wspólnie przez głównych realizatorów projektu rozwojowego z instytutu (ITP) i uczelni rolniczych z Poznania, Krakowa, Lublina i Siedlec [Wójcicki 2008; Wójcicki i in. 2009].

Szczególnego znaczenia nabierają metody i metodyki programowania urządzania, zmechanizowania i doinwestowania gospodarstw rodzinnych zwanych w skrócie projektami ich modernizacji w perspektywie 5–10 lat.

Zgodnie z instrukcyjną metodyką w projekcie modernizacji poza liczbowym opisem stanu wejściowego z końca 2008 r. przewiduje się (proponuje) programowe przemiany w zakresie:

- powierzchni gospodarstwa i struktury produkcji roślinnej,
- produkcji zwierzęcej i pozyskiwania pasz,
- bilansu glebowej substancji organicznej,
- bilansu potrzeb nawozowych uprawianych roślin,
- nowych (docelowych) technologii produkcji roślinnej i zwierzęcej,
- rozliczenie łącznych rocznych nakładów pracy i energii,
- wyposażenia (docelowego) w środki trwałe,
- bilansu przychodów, rozchodów i dochodów gospodarstwa w 2015 r.,
- potrzeb i możliwości inwestycyjnych gospodarstwa w latach 2009–2015,
- oceny projektu modernizacji w zakresie przemian produkcyjnych, energetycznych, ekologicznych i ekonomicznych.

Zgodnie z wymaganiami metodycznymi zarówno w opisach wyposażenia i działalności gospodarstw w 2009 r. i 2010 r. jak i w projektach modernizacji gospodarstw oraz w ich porównawczych analizach, odpowiednie wartości pieniężne określono według stałych (porównywalnych) cen z 2009 r.

Wyniki modernizacji wybranych gospodarstw

Modernizowane gospodarstwa uszeregowano według wzrastającej docelowo (2015 r.) powierzchni posiadanych uzytków rolnych (UR).

Dla porównania syntetycznych wyników zaprogramowanej modernizacji badane obiekty zostały podzielone na 5 grup obszarowych po 10 gospodarstw w każdej grupie z tym, że w ostatniej grupie V jest ich 12 (tab. 1).

Jak wynika z liczb w tabeli 1, we wszystkich grupach gospodarstw, w ciągu 7-lecia 2009 – 2015 powiększać się będzie powierzchnia UR oraz obsada bydła i trzody chlewnej. Zmiany w strukturze obszarowej modernizowanych gospodarstw (tab. 2) wykazują proporcjonalny wzrost powierzchni ogólnej (średnio o 5,1 ha), użytków rolnych (średnio o 5,1 ha), gruntów ornych (średnio o 4,4 ha) i trwałych użytków zielonych (TUZ) gdzie średni wzrost powierzchni wyniósł 0,7 ha na 1 gospodarstwo. Wskaźnik hektarów przeliczeniowych wyniósł średnio 0,85 ha/ha co świadczy, że średnio badane gospodarstwa charakteryzowały się średnimi parametrami bonitacji posiadanych w Polsce UR.

Tabela 1. Podział i charakterystyka modernizowanych gospodarstw

Nr grupy obszarowej gospodarstw	Średni stan sztuk na 1 badane gospodarstwo							
	w końcu 2008 r.				na koniec 2015 r.			
	powierzchnia ha UR	krowa i pozostałe bydło	trzoda chlewna	razem DJP	powierzchnia ha UR	krowa i pozostałe bydło	trzoda chlewna	razem DJP
I	16,5	23,3	11,0	19,5	20,4	28,6	10,0	23,8
II	26,5	24,4	51,2	27,0	29,6	28,0	60,9	26,4
III	31,3	27,2	63,2	27,5	36,4	33,9	79,4	36,6
IV	50,7	45,1	129,3	54,2	53,4	46,8	129,2	51,6
V (12 gosp)	88,5	33,3	270,2	48,1	98,4	36,8	265,5	58,7
Razem (śred 52 gosp)	44,5	30,7	111,3	35,8	49,6	34,9	115,0	40,2
Średnio na 1 ha UR	-	0,7	2,5	0,8	-	0,69	2,32	0,81

Źródło: Badania własne, ITP-2011 r.

Tabela 2. Struktura obszarowa modernizowanych gospodarstw na koniec 2008 r. i koniec 2015 r.

Nr grupy obszarowej gospodarstw	Średnia powierzchnia ha na 1 gospodarstwo w końcu 2008 r.					Średnia powierzchnia ha na 1 gospodarstwo na koniec 2015 r.			
	ogółem	użytki rolne UR	grunty orne GO (zasiewy)	TUZ i innych	ha przeliczeniowe	ogółem	użytki rolne UR	grunty orne GO (zasiewy)	TUZ i innych
I	17,8	16,5	9,6	6,9	11,9	21,7	20,4	11,8	8,6
II	28,0	26,5	22,1	4,4	24,5	31,0	29,6	22,9	6,7
III	35,7	31,3	20,6	10,7	21,9	40,8	36,4	25,5	10,9
IV	55,2	50,7	36,8	13,9	32,9	57,9	53,4	39,9	14,0
V	91,0	88,5	78,2	10,3	87,6	100,8	98,4	87,7	10,7
Razem (średnio)	47,3	44,5	35,1	9,4	37,7	52,4	49,6	39,5	10,1

Źródło: Badania własne, ITP – 2010 r.

Struktura zasiewów (tab. 3) i struktura produkcji roślinnej (tab. 4) wskazują, że badane gospodarstwo modernizuje się w kierunku uzyskiwania wyższych plonów roślin zapewniających pozyskiwanie własnych pasz treściwych i objętościowych dla swojej produkcji zwierzęcej.

Tabela 3. Przewidywana struktura zasiewów w 2015 r. w badanych gospodarstwach

Nr grupy obszarowej gospodarstw	Średnia powierzchnia ha zasiewów na 1 gospodarstwo w 2015 r.								
		Kukurydza					Pozostałe		
	Zboża i ich mieszanki	na ziarno	na silos	Oleiste (rzepak i inne)	Okopowe ziemniaki, buraki i inne)	Motylkowe (koniczyna, lucerna i inne)	na nasiona i dla przemysłu	na pasze objętościowe i inne	Poplony, międzyplony, mulcz
I	6,1	-	2,9	-	1,0	1,4	0,4	-	3,3
II	14,4	0,5	2,6	1,1	2,6	1,0	1,2	1,1	6,5
III	16,2	-	2,3	2,0	3,2	1,4	0,1	-	5,5
IV	22,2	1,5	4,6	2,6	4,0	4,0	1,0	-	4,9
V	59,6	5,3	5,2	12,5	2,1	0,9	3,5	-	20,5
Razem (średnio)	25,1	1,6	3,6	3,6	2,5	1,7	1,3	0,10	8,6
Na 1 ha UR	0,51	0,03	0,07	0,07	0,05	0,03	0,03	0,01	0,17

Źródło: Badania własne, ITP - 2010

Tabela 4. Produkcja globalna grup roślin przewidywana do uzyskania w 2015 r. w modernizowanych gospodarstwach

Nr grupy obszarowej gospodarstw	Średnia produkcja globalna zbiorów głównych w tonach na 1 gospodarstwo w 2015 r.										
		Kukurydza					Pozostałe			TUZ	
	Zboża i ich mieszanki	na ziarno	na silos	Oleiste	Okopowe	Motylkowe	na ziarno	na pasze objętościowe	Poplony międzyplony, mulcz	łąki	pastwiska
I	33,5	-	192,3	-	33,1	57,1	2,5	-	56,3	215,3	53,2
II	78,0	3,4	152,9	4,4	109,2	44,5	3,1	0,3	122,4	229,1	40,6
III	79,1	-	117,5	7,8	117,1	40,5	1,0	-	115,1	302,3	91,7
IV	117,1	15,0	290,3	9,6	160,1	71,6	4,0	-	116,1	368,7	57,8
V	347,1	52,7	261,2	48,8	105,7	66,7	19,3	22,3	226,5	223,6	43,3
Razem (średnio)	139,3	15,7	205,1	15,5	105,1	56,5	6,5	5,2	131,1	266,1	56,8
Na 1 ha UR	2,81	0,32	4,14	0,31	2,12	1,14	0,13	0,10	2,64	5,37	1,15

Źródło: Badania własne, ITP – 2010 r.

Bilans reprodukcji globalnej substancji organicznej (tab. 5) będzie dodatni (średnio 0,98 t/ha), a potencjalna jej degradacja (ujemna reprodukcja) na polach zasiewanych zbożem, kukurydzą, rzepakiem i okopowymi jest eliminowana dzięki wysokiemu nawożeniu nawozami naturalnymi i organicznymi (tab. 5).

Tabela 5. Bilans glebowej substancji organicznej i nawożenia w 2015 r.

Nr grupy obszarowej gospodarstw	Średni poziom glebowej substancji organicznej [t·ha^{-1}]		Średni poziom nawożenia [t·ha^{-1}]		
	razem (średnio)	w tym z produkcji roślinnej na gruntach ornych	obornikiem i kompostem	gnojowicą i gnojówką	słomą i resztkami pożniwnymi
I	1,36	- 0,10	10,4	8,9	1,6
II	0,63	- 0,43	9,1	4,4	2,5
III	1,35	- 0,46	10,8	13,9	2,4
IV	0,87	- 0,25	8,1	5,0	2,3
V	0,76	- 0,44	4,6	2,8	2,6
Razem (średnio)	0,98	- 0,34	7,2	5,5	2,4

Źródło: badania własne, ITP-2010 r.

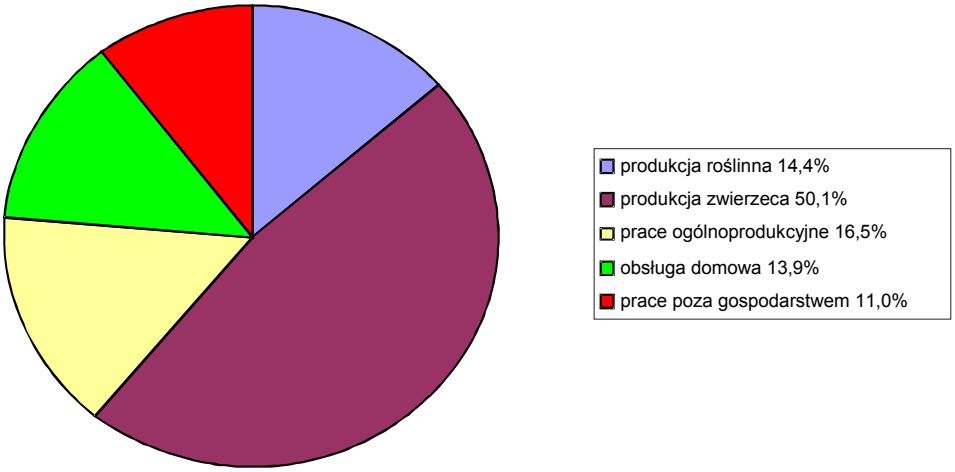
Nakłady pracy żywej i nakłady siły pociągowej (ciągników) charakteryzują dane w tabeli 6.

Tabela 6. Nakłady pracy i siły pociągowej w modernizowanych gospodarstwach w 2015 r.

Wyszczególnienie miejsca nakładów	Średnie nakłady pracy [rbh]		Średnie nakłady ciągniko-godzin [cnh]	
	na 1 gospodarstwo	na 1 ha UR	na 1 gospodarstwo	na 1 ha UR
Produkcja roślinna	759	15,3	691	13,9
Produkcja zwierzęca	2648	53,4	274	5,6
Prace ogólnoprodukcyjne	556	11,3	118	2,4
Obsługa domowa	737	14,8	24	0,5
Prace poza gospodarstwem	583	11,8	52	1,0
Praca obca w gospodarstwie	587	11,8	28	0,6
Ogółem nakłady pracy żywej lub siły pociągowej	5870	118,4	1188	24,0

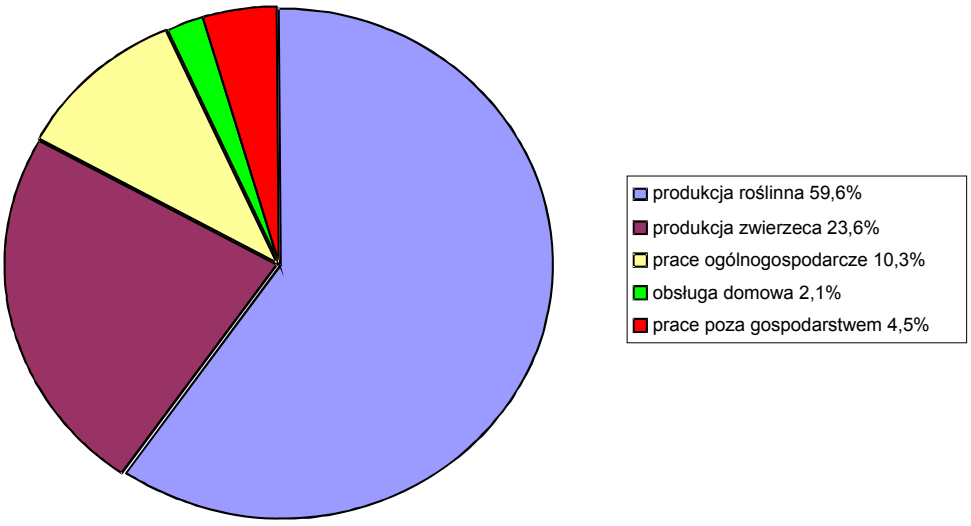
Źródło: Badania własne, ITP-2011 r.

Struktura procentowa średnich nakładów pracy żywej (rys. 4) wykazuje, że najbardziej pracochłonna w badanych gospodarstwach jest produkcja zwierzęca (50,1%). Natomiast najwyższe procentowo nakłady siły pociągowej (rys. 5) ponoszone są w produkcji roślinnej (59,6%).



Źródło: Badania własne, ITP – 2011 r.

Rys. 4. Struktura nakładów pracy żywej
w modernizowanych gospodarstwach rodzinnych



Źródło: Badania własne, ITP – 2011 r.

Rys. 5. Struktura nakładów siły pociągowej (ciągników)
w modernizowanych gospodarstwach rodzinnych

Charakterystycznym jest (tab. 6), że nakłady pracy żywej członków rodziny poza gospodarstwem (średnio 583 rbh·gospodarstwo^{-1}) równają się nakładom pracy najemnej z poza gospodarstwa (średnio 587 rbh·gospodarstwo^{-1}). Natomiast wykorzystywanie ciągników własnych poza gospodarstwem (średnio 52 cnh·gospodarstwo^{-1}) jest prawie dwukrotnie wyższe od wykorzystywania ciągników obcych w gospodarstwie.

Średnie nakłady ciągników na 1 ha UR kształtowały się na poziomie 24,0 cnh lub 1235 kWh, co świadczy, że średnia moc wykorzystywanego ciągnika wynosiła 51,5 kW. Średnia moc ciągnika obcego wynosiła 78,0 kW.

Wyposażenie techniczne modernizowanych gospodarstw charakteryzują dane liczbowe w tabeli 7.

Tabela 7. Wyposażenie modernizowanych gospodarstw w 2015 r.

Wyszczególnienie	Jednostka	Wyposażenie obiektów w 2015 r.		
		razem	średnio na:	
			1 gospodarstwo	100 ha UR
Ciągniki ogółem w tym:	szt.	158	3,04	6,1
do 30 kW	szt.	28	0,54	1,1
30 – 60 kW	szt.	68	1,31	2,6
powyżej 60 kW	szt.	62	1,19	2,4
Kombajny samojezdne	szt.	35	0,67	1,4
samochody osobowe	szt.	44	0,85	1,7
samochody ciężarowe	szt.	10	0,19	0,4
Wartość zestawów maszyn	tys. zł.	53270	1024	2067
Amortyzacja maszyn	tys. zł.	1989	38,1	77,1
Średni wiek maszyny	lat	15,7	-	-
Dalsze trwanie maszyn	lat	11,7	-	-
Razem okres trwania maszyn	lat	27,4	-	-

Źródło: badania własne, ITP - 2010 r.

Tabela 8. Przychody modernizowanych gospodarstw w 2015 r.

Rodzaj (grupa) przychodów	Średnie przychody w tys. zł.		
	na 1 gospodarstwo	na 1 ha UR	Struktura [%]
Rolnicza produkcja towarowa (końcowa)	324,7	6,55	78,8
Usługa i inna produkcja	15,9	0,32	3,9
Dopłaty bezpośrednie i inne z ARiMR	39,2	0,79	9,5
Zwrot VAT, akcyzy i innych	8,9	0,18	2,2
Kredyty obrotowe i inwestycyjne	13,9	0,28	3,4
Renty, emerytury i inne	8,9	0,18	2,2
Razem przychody brutto (suma bilansowa)	411,5	8,30	100,0

Źródło: badania własne, ITP - 2010 r.

Przychody brutto badanych gospodarstw (tab. 8) świadczą o możliwości uzyskania wysokich dochodów w sytuacji gdy ponoszone rozchody (tab. 9) stanowią zaledwie 59,5% tych przychodów (sumy bilansowej).

Tabela 9. Rozchody w modernizowanych gospodarstwach w 2015 r.

Rodzaj (grupa) rozchodu (nakładu)	Średnie rozchody w tys. zł.		
	na 1 gospodarstwo	na 1 ha UR	Struktura [%]
Zakup produktów rolniczych	75,0	1,51	30,6
Zakup agrochemikalii	33,7	0,68	13,8
Paliwa i energia elektryczna	43,1	0,87	17,6
Opłaty i materiały	16,4	0,33	6,7
Usługi rolnicze	7,4	0,15	3,0
Podatki, ubezpieczenia, kredyty	26,8	0,54	10,9
Wynagrodzenia pracowników obcych	7,4	0,15	3,0
Inwestycje odtworzeniowe i rozwojowe	35,2	0,71	14,4
Razem rozchody (nakłady) bez pracy własnej	245,0	4,94	100,0

Źródło: badania własne, ITP – 2010 r.

Potrzeby i możliwości inwestycyjne gospodarstw

Podstawą modernizacji i rozwoju są zmiany w wyposażeniu gospodarstw w środki trwałe, a w tym w nowoczesne środki techniczne niezbędne przy wprowadzaniu nowych wysokowydajnych i energooszczędnych technologii. Tempo tych zmian zależy od corocznych możliwości inwestycyjnych potencjalnie rozwojowych gospodarstw rolnych.

Możliwości inwestycyjne i modernizacyjne (Mi) mają obecnie rozwojowe gospodarstwa uzyskujące corocznie dodatnie wyniki wartości pieniężnej nakładów bilansowych na odtworzenie (amortyzację) środków mechanizacji (Am), odtworzenie budynków i budowli (Ab) (bez domu mieszkalnego), inwestycje rozwojowe (Ir) i różnicę pomiędzy bilansowym (Wb) a parytetowym (Wp) wynagrodzeniem za pracę (np. 12 zł·rbh^{-1} netto) rodziny rolnika.

Szacowanie dodatniej lub ujemnej możliwości inwestycyjnej gospodarstwa w danym roku przeprowadza się wykorzystując formułę:

$$Mi = Am + Ab + Ir + (Wb - Wp)$$

gdzie wynagrodzeniem bilansowym (Wb) jest rzeczywisty dochód rodziny rolnika brutto, a wynagrodzeniem parytetowym (Wp) jest średnie krajowe wynagrodzenie netto uzyskiwane przez rodzinę zatrudniona poza rolnictwem (w zł·rbh^{-1}).

Jeśli określimy, że Wp rodziny pozarolniczej wynosiło 36 tys. zł·rok^{-1} netto przy 3 000 godzin pracy (12 zł·rbh^{-1}), a wynagrodzenie za 3 000 godzin pracy

rodziny rolnika wyniosło 24 tys. zł·rok^{-1} (8 zł·fbh^{-1}), a oszacowana amortyzacja maszyn (Am) wyniosła 15 tys. zł a amortyzacja budynków 10 tys. zł, to:

Mi = 15 000 zł + 10 000 zł + 0 zł + (24 000 zł – 36 000 zł) = 25 000 zł – 12 000 zł = 13 000 zł/rok

Oznacza to, że przykładowe gospodarstwo nie uzyskiwało dochodów umożliwiających pokrywanie szacunkowych kosztów amortyzacji, ma ujemne możliwości inwestycyjne, a jeśli sytuacja trwa kilka lat, to uznaje się, że jest gospodarstwem nierozwojowym, „przejadającym" swoje wyposażenie techniczne i budowlane.

Upraszczając szacunki, można przyjąć, że dodatnie możliwości inwestycyjne maja gospodarstwa rodzinne uzyskujące w 2010 r. wynagrodzenie powyżej 12 zł/rbh czyli powyżej ówczesnego wynagrodzenia parytetowego.

Odpis amortyzacyjny środka technicznego (Am) szacujemy dzieląc jego wartość odtworzeniową przez sumę lat dotychczasowej amortyzacji (wiek) i przewidywanego okresu (lat) dalszego jego użytkowania. Wartość odtworzeniowa jest to aktualna cena nowego środka tego samego lub podobnego typu lub rodzaju.

Inwestycje rozwojowe są to coroczne wydatki inwestycyjne powyżej nakładów na odtworzenie (amortyzację) posiadanych środków trwałych. Do inwestycji rozwojowych zaliczamy zakupy ziemi rolniczej, która nie podlega amortyzacji.

Wyniki badań z realizacji projektu rozwojowego wykazały, że prawie wszystkie wybrane gospodarstwa uzyskiwały w 2009 r. dodatnie możliwości rozwojowe. Jednak znaczna część badanych obiektów nie dokonywała zakupów maszyn i modernizacji budynków, pomimo, że posiadały na to środki finansowe lub ponosiły nakłady inwestycyjne o wartości zdecydowanie niższych od szacowanej wartości amortyzacji. Podobne zjawisko odnotowuje się z analizy projektów modernizacji w 2015 r.

Prowadziło to wstępnie do twierdzenia, że zarówno specjaliści-badacze jak i rolnicy-właściciele modernizowanych gospodarstw zbyt zachowawczo i zbyt pesymistycznie oceniali zarówno swoje potrzeby jak i przyszłe możliwości wprowadzania do gospodarstw rodzinnych nowych technik i technologii. Jednak analiza potrzeb i możliwości inwestycyjnych w poszczególnych latach 7-letniego okresu modernizacji wybranych gospodarstw wykazuje, że:

- najniższe produkcyjne nakłady inwestycyjne planowane były na 2010 i 2015 r., a najwyższe na 2012 i 2013 r.,
- średnio w 7-leciu 2009-2015 potrzeby inwestycyjne zaprogramowano na około 10,0 tys. zł·ha^{-1} UR, czyli średniorocznie na około1 434 zł·ha^{-1} UR,
- zakładając, że średnioroczne przychody brutto (suma bilansowa) będą wynosić około 8,30 tys. zł·ha^{-1} UR można szacować, że nakłady i potrzeby inwestycyjne w modernizowanych obiektach będą kształtować się średnio na poziomie około 17,3 % średnich przychodów brutto badanych gospodarstw.

Z bilansu potrzeb i możliwości inwestycyjnych gospodarstw w 7-leciu (tab. 10) wynika, że projektowane potrzeby inwestycyjne będą sfinansowane z odpisów amortyzacyjnych i bieżących inwestycji rozwojowych łącznie z zakupem lub dzierżawą ziemi.

Do potencjalnych (dodatkowych) możliwości inwestycyjnych gospodarstwa możemy zalicza także kwoty uzyskiwane ze sprzedaży zbędnych maszyn i złomu oraz połowę (50%) nadwyżki dochodu rodziny brutto uzyskiwanego z wynagrodzenia z ponad 12 zł·rbh^{-1} pracy produkcyjnej czyli połowy obecnego ponadparytetowego wynagrodzenia rolniczego. Druga połowa tego ponadparytetowego wynagrodzenia może być potencjalnie przeznaczona na rodzinne inwestycje mieszkalno-bytowe. Do potencjalnych możliwości inwestycyjnych zalicza się także zdolność do pozyskiwania bankowych kredytów inwestycyjnych oraz odpowiednich dopłat, dotacji i innego wsparcia rozwojowego gospodarstwa.

Z przeprowadzonej analizy (tab. 10) wynika, że modernizowane gospodarstwa mają duże, rzeczywiste i potencjalne możliwości inwestycyjne i posiadają warunki do dalszej technologicznej i ekologicznej ich modernizacji, stając się w większości przykładowymi wzorcami przyszłościowych gospodarstw rodzinnych działających do 2020 r. i w dalszych latach.

Tabela 10. Potrzeby i możliwości inwestycyjne

Wyszczególnienie	Średnia wartość w tys. zł w 7-leciu 2009-2015 (ceny 2009 r.)	
	na 1 gospodarstwo	na 1 ha UR
Przewidywane potrzeby inwestycyjne	497,6	10,04
Łączne odpisu amortyzacyjne	363,7	7,34
Inwestycje rozwojowe	206,7	4,17
Sprzedaż zbędnych maszyn i złomu	45,2	0,91
Połowa (50%) nadwyżki dochodu rodziny brutto ponad 12 zł	267,9	5,40
Razem możliwości inwestycyjne (bez kredytów)	883,5	17,82

Źródło: badania własne, ITP-2010 r.

Kierunki przemian organizacyjno-technicznych w przedsiębiorstwach rolniczych

Zbierane wyniki realizacji projektu rozwojowego tworzą bazę empirycznych danych, dających cenny materiał badawczy do dalszych pogłębionych studiów porównawczych i prognostycznych nad przemianami organizacyjno-technicznymi jakie zachodzą i będą zachodzić w rozwojowych rolniczych gospodarstwach rodzinnych. Liczbowe zestawienia tabelaryczne i pełne wykorzystanie opisowych części projektów modernizacji oraz opisów wyposażenia i działalności obiektów fermowych pozwoli na ustalenie i statystyczne uściślenie uwarunkowań rozwoju typowych gospodarstw rolnych o powierzchni 10-30 ha UR oraz gospodarstw rodzinnych z grupy o powierzchni 30-50 ha, 50-100 ha i powyżej 100 ha UR.

Przy wykorzystaniu wyników Powszechnego Spisu Rolnego z września 2010 r., będzie też można podjąć próbę prognostycznego oszacowania przyszłościowej (na 2030 r.) liczby towarowych gospodarstw rolnych o powierzchni do 30 ha UR

i powyżej 30 ha UR. Chodzi głównie o ustalenie w jakiej liczbie gospodarstw do 30 ha UR można prowadzić perspektywicznie opłacalna produkcję towarową i uzyskiwać ponadparytetowe wynagrodzenie za pracę rodziny rolniczej.

Utrzymanie możliwie wysokiej liczby konwencjonalnych gospodarstw tej grupy pozwoli w perspektywie do 2030 i 2035 r. utrzymać w Polsce ponad 300 tys. konwencjonalnych i specjalistycznych (w tym ogrodniczych) przedsiębiorstw rodzinnych i innych, dających prawie całą towarową produkcję rolniczą. Utrzymywanie możliwie wysokiej liczby towarowych i dochodowych gospodarstw oraz nietowarowych działek rolnych i drobnych gospodarstw będzie między innymi zapobiegać regionalnemu wyludnianiu się obszarów wiejskich.

Problem poprawy struktury agrarnej rozwiązuje się poprzez polaryzację gospodarstw na rozwojowe, wysokoprodukcyjne przedsiębiorstwa rodzinne i nietowarowe lub wręcz nieprodukcyjne gospodarstwa mieszkańców wsi.

Wymagania dostaw do przetwórstwa lub bezpośrednio na rynek produktów o ciągle podwyższanych standardach jakościowych eliminuje drobnych producentów rolnych, którzy nie mogą dostarczać większych partii jednolitych produktów i nie mają umów kontraktowych zawieranych na kilka lat. Stąd coraz większe uzależnienie producentów rolnych od zakładów przetwórczych, giełd rolnych, firm eksportowych, pośredników i lokalnych instytucji zaopatrzenia i zbytu oraz techniczno-handlowej i usługowej obsługi wsi i rolnictwa.

Trzeba przewidywać, że za kilka lat wszyscy obywatele kraju (także rolnicy i ich dorosłe dzieci) będą płacić podatek dochodowy (PIT, CIT) od swoich zarobków oraz ponosić odpowiednio do swoich dochodów świadczenia ubezpieczeniowe i zdrowotne (ZUS).

Należy liczyć się ze zmianami WPR krajów UE w zakresie zwiększenia dopłat bezpośrednich dla towarowych gospodarstw rodzinnych, kosztem ograniczenia dopłat gospodarstwom posiadającym ponad 200 ha UR oraz nietowarowym i nieprodukcyjnym gospodarstwom drobnotowarowym. Te ostatnie, jeśli nie posiadają pozarolniczych źródeł dochodowych powinny dostawać rekompensaty z funduszy socjalnych i KRUS [Golka, Wójcicki, 2010].

Objęcie producentów rolnych podatkiem PIT lub CIIT i włączenie ich ubezpieczeń do ZUS jeszcze bardziej przyśpieszy przemiany agrarne ograniczając szarą strefę gospodarczą i usługową na obszarach wiejskich.

Zakładać trzeba, że producenci rolni i ich usługodawcy będą powszechnie objęci podatkiem VAT, ale również będą powszechnie korzystać z należnych im ustawowo odpisów podatków VAT i akcyzy.

Podstawowe wymagania od przyszłościowego gospodarstwa rodzinnego to:

- stawanie się rolniczym przedsiębiorstwem rodzinnym działającym na zasadach warsztatu rzemieślniczego lub 2-3 osobowej spółki,
- powiększanie własnej lub dzierżawionej powierzchni UR i zwiększanie swojej globalnej produkcji roślinnej i zwierzęcej,
- wprowadzanie zrównoważonej produkcji rolniczej zgodnie z Kodeksem Praktyki Rolniczej (KDPR) i zgodnie z wymaganiami rolno-środowiskowymi,
- stosowanie wsiewek i poplonów na pasze i na mulcz oraz pełne wykorzystanie nawozów naturalnych i organicznych tak aby nawożenie mineralne było tylko

uzupełnieniem brakujących uprawianym roślinom składników NPK a także wapna, magnezu i innych makro i mikroelementów,
- stosowanie odpowiedniego zmianowania roślin i uproszczonych technologii produkcji roślinnej i zwierzęcej w celu zmniejszenia jednostkowych nakładów energetycznych i kosztów własnych produkcji,
- uzyskiwanie dostatecznego (ponadparytetowego) wynagrodzenia za pracę własną członków rodziny, przy stosowaniu pełnych odpisów amortyzacyjnych przeznaczanych na inwestycje odtworzeniowe i rozwojowe.

Prowadząc w miarę intensywną, ale zrównoważoną i opłacalną produkcję, zmodernizowane gospodarstwa muszą korzystać z postępu naukowo-technicznego w zakresie stosowania nowych technik i technologii przy wykorzystywaniu postępu biologicznego (między innymi GMO) i chemizacyjnego (między innymi selektywne środki ochrony roślin). Nie udaje się wprowadzanie intensywnej produkcji roślinnej bez stosowania chemicznych środków ochrony roślin (głównie chwastobójczych) i bez stosowania nawozów mineralnych. Dlatego trudno będzie wprowadzać ekologiczne standardy jakościowe w rozwojowych gospodarstwach rolnych.

W przyszłości wysokie standardy jakościowe bezpiecznych surowców żywnościowych trzeba upatrywać w upowszechnianiu się, także w przedsiębiorstwach rodzinnych, produkcji metodami precyzyjnymi (informacyjnymi).

Rolnictwo precyzyjne (informacyjne) może być opłacalne w wysokoprodukcyjnych gospodarstwach o powierzchni powyżej 30 ha UR. Zastępować wtedy może pozyskiwanie produktów rolniczych metodami organicznymi (ekologicznymi) w gospodarstwach rodzinnych korzystających obecnie z odpowiednich certyfikatów i opłacalnych dotacji.

W modernizowanych gospodarstwach, w wyniku wprowadzania uproszczonych technologii, lepszej organizacji zaopatrzenia i zbytu oraz wzrostu korzystania z wzajemnych usług, przewidywać trzeba zmniejszenie ilościowego wyposażenia własnego zestawu maszyn i urządzeń technicznych, a w tym eliminację starych ciągników, niedostatecznie wykorzystywanych kombajnów i przestarzałych narzędzi i maszyn do uprawy i pielęgnacji roślin.

Stare budynki i budowle będą przebudowywane lub zastępowane nowymi inwestycjami budowlanymi zgodnie ze standardowymi projektami obór, chlewni i innych budowli rolniczych,

Wyniki dotychczasowych badań nad modernizacją gospodarstw rodzinnych i wstępne próby projektowania modeli (wzorców) przyszłościowych rolniczych przedsiębiorstw rodzinnych wykazują, że możliwe jest prowadzenie uprawy roli bez stosowania pługów, a przy szerokim zastosowaniu uniwersalnych zestawów uprawowych, uprawowo-siewnych i innych nowoczesnych agregatów.

Stwierdzenia i wnioski

1. Realizacja projektu rozwojowego pt. „Technologiczna i ekologiczna modernizacja wybranych gospodarstw rodzinnych" pozwala na analizowanie stanu i kierunków przemian w organizacji produkcji w rozwojowych gospodarstwach rolnych.

2. Porównawcze analizy projektów urządzenia, zmechanizowania i doinwestowania 52 modernizowanych gospodarstw rodzinnych w okresie 7-lecia 2009-2015 r. stanowią cenny materiał badawczy do dalszych pogłębionych studiów porównawczych i prognostycznych nad przemianami organizacyjno-technicznymi, jakie zachodzą w rozwojowych rolniczych przedsiębiorstwach rodzinnych.
3. Należy rozwijać badania modelowe i studia projektowo-techniczne nad budową modeli (wzorców) przyszłościowych konwencjonalnych rolniczych przedsiębiorstw rodzinnych.
4. Wskazanym byłoby pozyskiwanie w NCBiR dofinansowania na realizację projektów rozwojowych dotyczących:
   – wybranych gospodarstw stosujących organiczne (ekologiczne) metody produkcji,
   – gospodarstw zamierzających wprowadzać metody rolnictwa precyzyjnego (informacyjnego),
   – wybranych przyszłościowych gospodarstw specjalistycznych, a w tym ogrodniczych.
5. W ramach wykonywania rozpraw doktorskich i habilitacyjnych z zakresu organizacji produkcji rolniczej trzeba aktualizować dotychczasowe metody i metodyki badawcze, a między innymi przyspieszyć opracowanie komputerowego programu wielowariantowego projektowania modernizacji przyszłościowego rolniczego przedsiębiorstwa rodzinnego lub modelu (wzorca) takiego przedsiębiorstwa.

Bibliografia

Golka W., Wójcicki Z. 2009. Ocena działalności rozwojowych gospodarstw rodzinnych. Problemy Inżynierii Rolniczej. nr 1(63). Warszawa.

Golka W., Wójcicki Z. 2010. Kierunki przemian organizacyjno-technicznych w rozwojowych gospodarstwach rodzinnych. Problemy Inżynierii Rolniczej. nr 1(67). Warszawa.

Szeptycki A., Wójcicki Z. 2003. Postęp technologiczny i nakłady energetyczne w rolnictwie do 2020 r. Wydawnictwo IBMER, Warszawa.

Wójcicki Z. 2008 Metodyka badań postępu technologicznego w gospodarstwach rodzinnych. Monografia. Wydawnictwo IBMER. Warszawa.

Wójcicki Z. i in. 2009. Technologiczna i ekologiczna modernizacja wybranych gospodarstw rodzinnych. Cz.I. Program, organizacja i metodyki badań. Monografia. Wydawnictwo IBMER, Warszawa.

Wójcicki Z. i in. 2010. Technologiczna i ekologiczna modernizacja wybranych gospodarstw rodzinnych. Cz. II. Projekty modernizacji badanych obiektów. Monografia. Wydawnictwo ITP. Falenty – Warszawa.

60 LAT AKADEMICKICH PODRĘCZNIKÓW MASZYNOZNAWSTWA ROLNICZEGO W KRAKOWIE

Piotr Zalewski

Instytut Eksploatacji Maszyn, Ergonomii i Procesów Produkcyjnych
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
e-mail: Piotr.Zalewski@ur.krakow.pl

Termin „maszynoznawstwo rolnicze" odnoszący się zarówno do przedmiotu wykładowego na Wydziale Rolniczym Uniwersytetu Jagiellońskiego, jak i do kierowanej przez profesora (do 1948 r. docenta) Michała Wójcickiego katedry na tym wydziale nie budził bezpośrednio po zakończeniu Drugiej Wojny, do czasu, niczyich wątpliwości. Zostańmy więc, na potrzeby niniejszego tekstu, również do czasu, przy tej historycznej, dobrze w języku polskim osadzonej nazwie (porówn. gleboznawstwo, metaloznawstwo itd.)

Nasz przedmiot „wyszedł z wojny" bez całościowego, ogólnego podręcznika. Wczesne prace Gołogórskiego, które podaje Wójcicki jako „Literatura" na końcu II wydania swojej książki („Czystość cięcia w maszynach żniwnych" z 1910 r. (nb. rozprawa doktorska autora), „Praca narzędzi w ziemi" 1911, „Teoria nastawiania siewników" 1915, czy też wydana jako odbitka z Roczników Nauk Rolniczych „Sadzarka transporterowa do ziemniaków" 1936) miały wąski charakter monograficzny. Podobnie cytowane przez Wójcickiego podręczniki wielkiego warszawskiego maszynoznawcy Stefana Biedrzyckiego („Maszyny i narzędzia do uprawy roli" 1923, i w tym samym roku wydane „Maszyny i narzędzia do sprzętu ziemiopłodów"), nie obejmowały całości przedmiotu. Dlatego, bez mała, 700 stronicowy podręcznik prof. Wójcickiego, kilkakrotnie potem wznawiany, („Maszyny i narzędzia rolnicze" wyd. I, 1951 r.), mimo urzędowego zakwalifikowania następnych wydań, przez ówczesny Centralny Zarząd Oświaty Rolniczej Ministerstwa Rolnictwa, jako „podręcznik zastępczy" w technikach mechanizacji rolnictwa, był do przejścia prof. Wójcickiego na emeryturę w 1963 r., a nawet i potem jeszcze, podręcznikiem akademickim w Krakowie. Był też swego rodzaju kanonem dla autorów popularnych książek „maszyno znawczych" przeznaczonych dla szkolnictwa średniego i praktyki. Z sześciu wydań, najbardziej wszechstronne por. [Juliszewski 2009] i przez to interesujące jest pierwsze. Kolejne dalsze wydania są skrócone i tematycznie okrojone, należy sądzić, że nie tyle może z intencji autora, co z woli wydawcy. Podręcznik „Szefa" uzupełniali dorywczo asystenci.

I tak Janusz Haman na 3 lata przed doktoratem publikuje w tym samym „PWRiLu" bardzo przydatny studentom „Rysunek techniczny dla mechanizatorów rolnictwa".

Wiele lat później skrypt uczelniany (red. R. Michałek) wypełnia lukę materiałową zaistniałą pomiędzy pierwszym a następnymi wydaniami podręcznika Wójcickiego.

W tych pierwszych latach podręcznikowej posuchy trzech inżynierów (A. Doskocz-Wimowski i współautorzy, 1951) wydaje „Poradnik mechanizatora rolnictwa" od strony fachowo inżynierskiej dobrze napisaną książkę, co o tyle po latach nas nie dziwiło, że dwóch autorów, z których jeden współprojektował bodaj najbardziej udany z ówczesnych czeskich ciągników, zostało z czasem profesorami uczelni rolniczych. „ Poradnik" był przeznaczony dla mechanizatorów praktyków i zgodnie z duchem czasu zawierał na wstępie zwierzenia traktorzystki przodownicy pracy. Niemniej posługiwali się nim zarówno studenci rolnictwa, jak i asystenci Katedry Maszynoznawstwa.

Poza „własnym" podręcznikiem Wójcickiego, dla krakowskiego, a także nie odejmując nic nikomu, dla krajowego „znawstwa" techniki rolniczej w pierwszym powojennym 30-leciu największe znaczenie miały książki akademickich nauczycieli warszawskich. Z nielicznych profesorów o przedwojennym naukowym rodowodzie, bez wątpienia Czesław Kanafojski odegrał w naszym przedmiocie największą rolę. Pisanie książek fachowych wznowił zaraz po wojnie. Początkowo zwięzłych poradników, z nastawieniem raczej na potrzeby praktyki, ale prawie równocześnie także podręczników dla odbiorcy ze szkolnictwa wyższego. Biorąc pod uwagę, że Kanafojski pełnił w tym samym czasie kierownicze funkcje na Politechnice Warszawskiej, w nowopowstałym IMERze (jako dyrektor) i w SGGW, jego dorobek autorski jest trwałym pomnikiem niezwykłej pracy. Dziś jeszcze największy, w części współautorski podręcznik Kanafojskiego (wspólnie z profesorami Henrykiem Bernackim, Januszem Hamanem i Tadeuszem Karwowskim) jest znany każdemu nauczającemu przedmiot specjaliście, jeżeli nie studentowi.

Teoria i konstrukcja w ujęciu Kanafojskiego i współautorów była dla studentów rolnictwa podręcznikiem zbyt obszernym i trudnym. Zanim na uczelniach rolniczych wyodrębniły się techniczne wydziały (w Lublinie w 1970, w Krakowie i SGGW w 1977), pojawiły się na akademickim rynku pierwsze wydania bardzo następnie poczytnych podręczników prof. Tadeusza Nowackiego, które zawładnęły Akademiami, w każdym razie krakowską i warszawską (pamiętamy, że w Warszawie władze ministerialne „uzupełniły" wówczas tradycyjną nazwę uczelni dodatkiem „Akademia Rolnicza"). Książki Nowackiego (zresztą w swoim czasie doktoranta prof. Kanafojskiego) stanowiły swego rodzaju „drugi ciąg" literatury podręcznikowej o charakterze, powiedzielibyśmy, „maszynoznawstwa opisowego". Urzędowa notatka na odwrocie strony tytułowej: „Podręcznik dla studentów WSR wydziałów rolniczych, ogrodniczych, inżynieryjno-ekonomicznych i zootechnicznych" miała to oficjalnie potwierdzać. Znali je wszyscy studenci, z oczywistych względów także nauczyciele. Ci drudzy nie rezygnowali jednak z „teorii i konstrukcji", jeśli nie w codziennej praktyce dydaktycznej, to w każdym razie na podręcznych półkach.

Ewolucja przedmiotu, o którym mowa, zaznacza się w wydawnictwach skryptowych, przeznaczonych z reguły dla miejscowego kręgu odbiorców i równocześnie dających wgląd w kierunek i zakres nauczania w indywidualnych uczelniach . Trudno się zresztą spodziewa, żeby skądinąd „zasłużone" podręczniki Nowackiego miały ponadczasowy charakter.

Nowym ujęciom tematu sprzyjają nowoczesne możliwości graficzne porówn. np. [Marks 2004, Sęk, Przybył 2004]. Współczesne książki o tematyce maszynoznawczej są pod względem prezentacji tekstu, jak też materiału ilustracyjnego, oczywiście nowocześniejsze i bardziej interesujące od podręczników z przed lat 30, nawet tych nielicznych, które są jeszcze sporadycznie w użyciu. Równocześnie ich nachylenie jest bardziej technologiczne niż konstrukcyjne.

Skoro już zostało wypowiedziane to słowo, poświęćmy nieco uwagi „technologii prac maszynowych w rolnictwie". Z terminem „technologia", w tym kontekście, spotykamy się u prof. Nowackiego na okładce książki. Ten międzynarodowy wyraz jest tym osobliwy, że nie we wszystkich językach europejskich znaczy to samo. Jeżeli dla autora i dla nas jest oczywiste, że chodzi o metodę wytwarzania, to dla anglojęzycznej części populacji globu oznacza to technikę i w szczególności zastosowanie w technice nauk ścisłych. Wprawdzie nasze rozumienie „technologii" przenika na zachód via Niemcy, ale nie sięga ani za Kanał, ani za Atlantyk. Z tą świadomością, a czasami także bez niej, uczymy przedmiotu, który w anglojęzycznej literaturze fachowej wprawdzie nigdy nie nazywał się „technologia", ale stanowi kluczowy przedmiot fachowy traktujący o zmechanizowanym rolnictwie, a także kwintesencję tego, co technika rolnicza ma farmerowi do zaoferowania (porówn. Culpin C. Farm machinery, jedenaste (tak !) wydanie z 1987, pierwsze ukazało się w 1938 r.) Oczywiście od strony czysto praktycznej. Takie pojęcia jak stopień mechanizacji czy „jednostka pracy w rozumieniu technologicznym" („ent" wg koncepcji przeliczeniowej prof. Nowackiego) były i są dla anglosaskiego naukowca pojęciami tyleż niezrozumiałymi co (po zrozumieniu) bezużytecznymi. W 1967 r. miałem zaszczyt, jako stażysta, poznać nie koronowanego króla angielskiego maszynoznawstwa rolniczego (mówię oczywiście o Culpinie), który świeżo pod wrażeniem wystąpienia prof. Nowackiego na międzynarodowym zjeździe usiłował mi to wytłumaczyć. Z tej samej przyczyny angielski student technologii (w naszym rozumieniu) nie musiał zgłębiać teorii i konstrukcji w naszym (tzn. Kanafojskiego i współautorów) ujęciu. Jeżeli znał je to fragmentarycznie z literatury amerykańskiej (np. z popularnej także w naszych bibliotekach uczelnianych książki R.A.Kepnera i współautorów). Sądzę, że dlatego fundamentalny polski podręcznik teorii i konstrukcji, został przetłumaczony i wydany jako „Agricultural machinery theory and construction".

Wprawdzie nasz temat zahacza tylko peryferyjnie o piśmiennictwo prof. Józefa Kuczewskiego z SGGW, ale ponieważ jego podręcznik „eksploatacji agregatów rolniczych" był w Krakowie stale w użyciu na wszystkich poziomach „maszynoznawczego wtajemniczenia", nie można tu pominąć nazwiska tego zasłużonego autora. Prof. Kuczewski wśród innych książek fachowych wydał także w 1978 r. akademicki skrypt: „Elementy teorii i obliczeń maszyn do uprawy i pielęgnacji

roślin", w którym na 212 stronach dostosowuje do potrzeb „SGGW AR" to co w swoich masywnych tomach zawarli współautorzy prof. Kanafojskiego pod jego auspicjami i w części redakcją.

Wobec tego, że nazwisko nestora warszawskiego maszynoznawstwa pojawiło się wyżej w kontekście angielskim, nie od rzeczy będzie wspomnieć o maszynoznawstwie na styku fachowym polsko-niemieckim i polsko-rosyjskim, w dalszym ciągu na płaszczyźnie podręcznikowej. Prof. Wójcicki cytuje „Landmaschinentechnik" Georga Kuhnego z 1953, wydanie, które jednak nie zachowało się w naszych zbiorach, w odróżnieniu od edycji przedwojennych. Ówczesne Niemcy Zachodnie, a co zatem idzie ich znający język bliżsi i dalsi sąsiedzi, dysponują już bardzo udanym, nowym i w porównaniu z polskimi, zwięzłym podręcznikiem teorii i konstrukcji Schillinga. Niemniej w NRD ukazuje się niemieckie wydanie „Teorii" pod redakcją Kanafojskiego („Ais Lehrbuch fur die Ausbildung an Universitaten und Hochschulen der DDR anerkannt")

Rosyjskie podręczniki (np. Letoszniewa, czy Polewickiego i Karpienki) były w owym czasie tańsze i dostępniejsze od zachodnich, niektóre także, jak np. Letoszniew, wydane po polsku, ale trochę na przekór uważało się jednak, że co Zachód to Zachód. W latach 50-tych wydawało nam się n. p. trudnym do uwierzenia, że w RFN produkuje się 120 typów ciągnika kołowego, podczas kiedy w naszym rolnictwie pracowały 3, lub 4.

Przechodząc na koniec do czasów najnowszych zauważmy, że „maszynoznawstwo", jakkolwiek byśmy je nazwali, schodzi, nie tyle z powodów merytorycznych co organizacyjnych, jako przedmiot wykładowy na wydziałach rolniczych i zootechnicznych na drugi plan. Towarzyszy tej tendencji, siłą rzeczy, zanik inżynierskiego sposobu myślenia, z niewątpliwą szkodą dla „sylwetki absolwenta", który *de nomine* jest nadal inżynierem. Nowe, informatyczne podejście po części wypełnia powstałą lukę w dydaktyce, tak jak Internet zastępuje podręczniki „w papierze". Że nie w pełni, można się przekonać widząc co powielają studenci czekający w kolejce do kserografu (a 8 gr. za stronę A4). Analogiczne tendencje na wydziałach technicznych uniwersytetów, powiedzmy przyrodniczych, może zobrazować następujący przykład. Piszący te słowa zwiedzając kilka lat temu, na wydziale inżynierii jednego z kanadyjskich uniwersytetów, laboratorium zaawansowanych technik projektowo informatycznych (wykonujące zresztą w danej chwili, z udziałem studentów, projekt na zlecenie i za pieniądze któregoś z krajów południowo wschodniej Azji) zauważył na stole dyferencjał wymontowany z ciągnika.

Uprzedzając pytanie gościa, szef pracowni wspomniał mimochodem, ze żaden z jego studentów tego mechanizmu wcześniej nie widział, z taką refleksją, że on w ich wieku itd. Cokolwiek by nie powiedzieć, „oko fachowca" absolwentowi agromechaniki jest potrzebne, choćby tylko po to, żeby ocenić, które narzędzie pracy projektował zainspirowany swoim wykształceniem (z pożądanym dodatkiem odrobiny talentu) inżynier, a które nieudolny naśladowca.

Bibliografia

Bernacki H., Haman J., Kanafojski Cz. 1967. Teoria i konstrukcja maszyn rolniczych, Tom I. PWRiL Warszawa Culpin C. 1987. Farm machinery. Eleventh edition. B.S.P. Professional Books. Oxford.

Doskocz -Wimowski A., Nowacki T., Weres St., 1951. Poradnik mechanizatora rolnictwa. PWRiL Warszawa Haman J. 1953. Rysunek techniczny dla mechanizatorów rolnictwa. PWRiL Warszawa.

Juliszewski T. i wsp. 2009. Prekursorzy inżynierii rolniczej w Krakowie. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej. Kraków.

Kanafojski Cz., Karwowski T. 1972. Teoria i konstrukcja maszyn rolniczych. Tom II. Maszyny do zbioru ziemiopłodów. PWRiL Warszawa.

Kanafojski Cz. 1975. Halmfruchterntemaschinen. VEB Verlag Technik. Berlin.

Kanafojski Cz., Karwowski T. 1976. Agricultural machinery theory and construction. Vol. II. Crop harvesting machines. National Center for Scientific, Technical and Economic Information. Warsaw.

Kepner R.A., Bainer R., Barger E.L. 1972. Principles of farm machinery. A.V.I. Publishing Company. Westport Connecticut.

Kuczewski J. 1974. Podstawy eksploatacji agregatów rolniczych. Wyd.II. PWRiL Warszawa.

Kuczewski J. 1978. Elementy teorii i obliczeń maszyn do uprawy i pielęgnacji roślin. Skrypt SGGW AR Warszawa.

Kuhne G. 1930, 1934. Handbuch der Landmaschinentechnik. Band I, II. Verlag

Julius Springer. Berlin LetoszniewM. 1949. Selskohozjajstwiennyje masziny. Gosudarskoje Izdatielstwo Selskohozjajstwiennoi Literatury. Moskwa.

Majka K. 1994. Nauczanie maszynoznawstwa rolniczego i techniki rolniczej w uczelniach polskich. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Lubelskiej.

Marks N. 2004. Maszyny rolnicze. Część II. Maszyny do zbioru ziemiopłodów. Wydawnictwo AR w Krakowie.

Michałek R. (red.), Bednarz W., Śróttek J., Trojanowska M., Warkowski A. 1985. Podstawy maszynoznawstwa rolniczego. Skrypt dla wydziałów Rolniczego, Ogrodniczego i Zootechnicznego. Wydawnictwo AR w Krakowie.

Nowacki T. 1959 - 1976. Mechanizacja rolnictwa. Tom I - IV. PWRiL. Warszawa.

Nowacki T. 1970, 1978. Technologia prac maszynowych w rolnictwie. Wyd. I i II. PWRiL. Warszawa.

Pelc K. 1969. Maszynoznawstwo rolnicze i mechanizacja produkcji zwierzęcej. PWN. Warszawa.

Polewickij K., Karpienko A. 1952. Selskohozjajstwiennyje masziny i orudia.

Schilling E. 1953 - 1958. Landmaschinen. Band I - III. Wyd. Luthe - Druck. K61n.

Sęk T., Przybył J. 2004. Zbiór obróbka i przechowalnictwo roślin okopowych. Wydawnictwo AR w Poznaniu Wójcicki M. 1951 - 1974. Maszyny i narzędzia rolnicze. Wyd. I -VI. PWRiL. Warszawa.