WYDZIAŁ INŻYNIERII PRODUKCJI I ENERGETYKI

Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



PRODUKCJA BIOMASY NA CELE ENERGETYCZNE

pod redakcją

Jarosława Frączka

Praca dofinansowana ze środków projektu
„Innowacyjna oferta edukacyjna Uniwersytetu Rolniczego
im. Hugona Kołłątaja w Krakowie”

Kraków 2010

Recenzent
Prof. dr hab. inż. Kazimierz Dreszer

Redakcja naukowa
Prof. dr hab. inż. Jarosław Frączek

© Copyright by Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej

ISBN 978-83-917053-8-4

Wydanie I
Projekt okładki: Marek Wróbel
druk i oprawa: DRUKROL S. C., Kraków, al. 29 Listopada 46

Spis treści

Wykaz ważniejszych definicji, symboli i skrótów 5
Wprowadzenie 9

I. PRAWNE I GOSPODARCZO-SPOŁECZNE UWARUNKOWANIA PRODUKCJI BIOPALIW

Tadeusz Juliszewski: Uwarunkowania prawne 11
Energia odnawialna i biomasa 11
Ogólne kryteria analizy przydatności biomasy do celów energetycznych 22

Anna Szeląg-Sikora: Dofinansowanie produkcji biopaliw 31

II. PLANTACJE ROŚLIN ENERGETYCZNYCH

Maciej Pach, Zbigniew Kołodziej, Leszek Bartkowicz, Jan Karczmarski, Jerzy Skrzyszewski: Zakładanie i utrzymanie plantacji 45
Rośliny drzewiaste 45

Dariusz Kwaśniewski Krzysztof Mudryk, Marek Wróbel: Trawy i byliny 59
Wojciech Ząbecki, Magdalena Kacprzyk: Zagrożenia i ochrona plantacji drzew szybko rosnących 75

Dariusz Kwaśniewski, Krzysztof Mudryk, Marek Wróbel: Zbiór i likwidacja plantacji energetycznych 93

III. BIOMASA Z PRODUKCJI POLOWEJ I LEŚNEJ

Barbara Krzysztofik: Uprawy polowe 115

Norbert Pedryc: Biomasa leśna 131

IV. KOSZTOCHŁONNOŚĆ PRODUKCJI BIOPALIW STAŁYCH

Dariusz Kwaśniewski: Koszty produkcji biomasy z upraw polowych 147

V. TRANSPORT I LOGISTYKA DOSTAW BIOMASY

Maciej Kuboń: Organizacja dostaw i magazynowania biomasy 163

Informacje o autorach 195

Wykaz ważniejszych definicji, symboli i skrótów

Definicje

Czemchanie, osmykiwanie – zdzieranie kory drzew bądź tylko jej kaleczenie przez samce jeleniowatych (najczęściej jelenie i kozły) w czasie wycierania scypułu lub uderzania porożem o drzewo w okresie godowym

Energia – skalarna wielkość fizyczna wyrażona w jednostkach pracy, określająca zdolność układu ciał do wykonania pracy przy przejściu z jednego stanu w drugi. Podstawową jednostką jest **J**

Energia nieodnawialna – energia chemiczna paliw stałych, ciekłych i gazowych oraz energia paliw rozszczepialnych

Energia odnawialna – energia promieniowania słonecznego, energia wiatru, energia cieków wodnych i mórz oraz energia biomasy

Energia pierwotna – energia pobierana ze środowiska w postaci odnawialnej i nieodnawialnej

Energia żywa – energia wydatkowana w procesie produkcji pochodząca z siły roboczej (ludzkiej) oraz żywej siły pociągowej

Kultywary – odmiany uprawowe drzew lub krzewów, które wyróżniają się pewnymi cechami (morfologicznymi, fizjologicznymi itp.) ważnymi dla rolnictwa, leśnictwa lub ogrodnictwa, przekazywanymi dalej potomstwu

Klon – zbiór osobników powstałych drogą wegetatywnego rozmnażania z jednej rośliny matecznej

Miąższość – objętość drzewa, także drzewostanu jak również drewna okrągłego mierzona w metrach sześciennych

Spałowanie – zdzieranie zębami przez zwierzęta kopytne kory z drzew stojących lub ściętych w celu zdobycia pokarmu

1 tpu – jedna tona paliwa umownego = 29,3076 GJ = 0,7 toe = 8,141 MWh

1 toe – jedna tona oleju ekwiwalentnego = 41,86 GJ = 1,4286 tpu = 11,6278 MWh

Symbole

a – anno<łac.> - rok (na rok)
E – energia [J],
E_d – energia dostarczona [J],
E_o – wartość opałowa [J],
E_p – nakłady energetyczne na przetworzenie biomasy w biopaliwo [J],
E_u – energia uzyskana [J],
E_w – nakłady energetyczne na wytworzenie biomasy w produkcji polowej [J],
F – przekrój strumienia ładunku [m^2],
L – odstęp pomiędzy pojemnikami [m],
N_p – nakład czasu pracy

N_{rbh} – nakład robocizny
pH – odczyn środowiska (ośrodka),
P_m – poziom mechanizacji [%],
Q – udźwig maszyny [t],
Q_i – łączna masa i –tego ładunku obsługiwana w danym punkcie ładunkowym [t [m^3],
Q_{mi} – masa i- tego ładunku przeładowywanego mechanicznie [t m^3],
S – powierzchnia [m^2 lub (ha = 10^4 m^2)],
s.m. – zawartość suchej masy [%],
s.m.o. – zawartość suchej masy organicznej [%],
S_m – stopień mechanizacji [%],
t – czas [s lub (h – godzina)],
T – temperatura [^oC lub (K)],
t_m – pracochłonność niezbędna do wykonania konkretnego zadania ładunkowego [wyrażona w roboczogodzinach pracy maszynami lub urządzeniami ładunkowymi [rbh],
t_r – pracochłonność niezbędna do wykonania konkretnego zadania ładunkowego [wyrażona w roboczogodzinach pracy ręcznej [rbh],
V – pojemność pojedynczego pojemnika [m^3],
v – prędkość strumienia ładunku [m/s],
W_k – wydajność konstrukcyjna przenośnika [t/h],
W_k – wydajność konstrukcyjna przenośnika [t/h],
W_k – wydajność konstrukcyjna przenośnika [t/h],
W_p – wydajność przewozu
$W_{pł}$ – wydajność prac ładunkowych
η_p – sprawność energetyczna przetworzenia biomasy w biopaliwo,
η_{pw} – sprawność energetyczna technologii,
η_w – sprawność energetyczna wytwarzania biomasy,
ρ_m – masa objętościowa ładunku [t/m^3],
ρ_m – masa usypowa ładunku [t/m^3],

Skróty

ARiMR – Agencja Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa
COBORU – Centralny Ośrodek Badania Odmian Roślin Uprawnych
CRP – Centralny Rejestr Przedsiębiorstw
EFRROW – Europejski Fundusz Rolny Rozwoju Obszarów Wiejskich
FTS – full tree system, system całego drzewa - Metoda całego drzewa
FWS – firable wood system, system drewna sypkiego - Metoda drewna sypkiego
GDF SUEZ Energia Polska S.A. – Elektrownia Połaniec
GEF – Global Enviroment Facility
GTD – Gospodarczy Typ Drzewostanu
GUS – Główny Urząd Statystyczny
HEC – Herbaceaus Energy Crops
IBL – Instytut Badawczy Leśnictwa

IHAR – Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin
ISO – International Organization for Standardization – Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna
IUFRO – International Union of Forest Research Organizations - Międzynarodowy Związek Leśnych Instytutów Badawczych
IUNG – Instytut Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa
LWS – long wood system, system całej strzały, system dłużycowy - Metoda całej strzały
M – Drewno małowymiarowe
M1 – Drobnica tyczkowa
M2 – Drobnica gałęziowa
MGPiPS – Ministerstwo Gospodarki Pracy i polityki Społecznej
MPO – Miejskie Przedsiębiorstwo Oczyszczania
NFOŚi GW – Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej
ODR – Oddział Doradztwa Rolniczego
OZE – Odnawialne Źródła Energii
PEC – Przedsiębiorstwo Energetyki Cieplnej
PGL LP – Państwowe Gospodarstwo Leśne Lasy Państwowe
POIiŚ – Program Operacyjny Infrastruktury i Środowiska
PROW – Program Rozwoju Obszarów Wiejskich
RME – Rape Methyl Ester
RPO – Regionalny Program Operacyjny
S – Drewno średniowymiarowe
S2ac – Drewno energetyczne
S3a – Drewno żerdziowe
S4 – Drewno opałowe
SRWC – Short Rotation Woody Crops
STS – Short Tree System
STS – short tree system, system drzewa w odcinkach - Metoda drzewa w częściach
SWS – Short Wood System
SWS – short wood system, metoda drewna krótkiego, system drewna krótkiego, system sortymentowy - Metoda sortymentowa
UE – Unia Europejska
UN FCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change
UR – użytki rolne
URE – Urząd Regulacji Energetyki
W – Drewno wielkowymiarowe
ZGK – Zakład Gospodarki Komunalnej
Zo – Pozostałości po zrębach

Przedrostki przy wielkościach jednostek miar

Oznaczenie	Przedrostek	Nazwa wielkości	Mnożnik
k	kilo	tysiąc	10^3
M	mega	milion	10^6
G	giga	miliard	10^9
T	tera	bilion	10^{12}
P	peta	biliard	10^{15}
E	eksa	trylion	10^{18}

Wprowadzenie

W marcu 2007 roku Rada Europejska zdecydowała, że do roku 2020, 20% energii zużywanej we wszystkich krajach członkowskich Unii Europejskiej ma pochodzić ze źródeł odnawialnych. Dodatkowo emisja gazów cieplarnianych ma zmniejszyć się o 20%, a wydajność energetyczna ma wzrosnąć o 20%.

Energia pozyskiwana z biomasy stanowi obecnie dwie trzecie energii odnawialnej i jak przewidują prognozy, również w przyszłości odgrywać będzie kluczową rolę w przyjaznym dla środowiska europejskim systemie energetycznym. Konieczne będzie więc wprowadzenie wydajnych łańcuchów użytkowych – począwszy od etapu produkcji surowców, poprzez transformację energetyczną, skończywszy na zużyciu energii przez odbiorców końcowych. Może to być osiągnięte jedynie dzięki udziałowi wysoko wykwalifikowanych specjalistów, których wiedza i doświadczenie pozwoli na zrealizowanie powyższych zadań. Z przeprowadzonego rozeznania wynika, iż w chwili obecnej zagadnienia związane z produkcją, pozyskiwaniem i przetwarzaniem biomasy na cele energetyczne nie są w sposób szczegółowy ujęte w programach studiów.

Dlatego na Wydziale Inżynierii Produkcji i Energetyki Uniwersytetu Rolniczego, w Krakowie w ramach programu Kapitał Ludzki „Innowacyjna oferta edukacyjna Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie" zostały utworzone studia podyplomowe „Wykorzystanie biomasy na cele energetyczne".

Głównym ich celem jest szeroko pojęta edukacja w zakresie pozyskania, przetwarzania i wykorzystania biomasy na cele energetyczne. Studia mają charakter teoretyczno-praktyczny i przeznaczone są dla osób związanych z:

- zakładaniem i prowadzeniem własnych przedsiębiorstw zajmujących się produkcją i przetwarzaniem biomasy na cele energetyczne,
- nadzorowaniem i techniczną obsługą linii produkcyjnych biopaliwa,
- pracą w jednostkach samorządów lokalnych oraz innych jednostkach doradztwa rolniczego i przemysłowego mających związek z rozwojem rynku energii odnawialnej,
- edukacją z zakresu energetyki odnawialnej przez osoby posiadających uprawnienia pedagogiczne,
- planowaniem i zarządzaniem terenami leśnymi i zielonymi (np. zieleń miejska).

Celami szczegółowymi jest zapoznanie słuchaczy z tematyką zagadnień związanych z:

- rynkiem energii odnawialnej,
- zagadnieniami prawa europejskiego i polskiego w aspekcie wytwarzania energii z biomasy,
- możliwością wykorzystania biomasy w gospodarce energetycznej,
- źródłami biomasy, możliwościami jej pozyskiwania i produkcji w warunkach polskich,
- technologiami produkcji i przetwarzania biomasy,
- planami finansowymi przedsięwzięć energetycznych, logistyką lokalną i krajową,
- zagadnieniami technicznymi procesów spalania itp.

Studia podyplomowe „Wykorzystanie biomasy na cele energetyczne" kierowane są do osób związanych lub planujących związanie pracy zawodowej z problematyką biomasy w energetyce. Najważniejszymi grupami zawodowymi są: rolnicy, leśnicy, nauczyciele, instruktorzy, doradcy w jednostkach samorządowych (ODR, Urzędy Gminy itp.), technolodzy z małych i średnich przedsiębiorstw.

Oprócz zajęć teoretycznych, słuchacze odbywają zajęcia laboratoryjne i wyjazdy studialne, podczas których zapoznają się z praktycznymi rozwiązaniami stosowanymi w produkcji i przetwórstwie biopaliw. Tak szeroko zakrojony program studiów był możliwy do zrealizowania jedynie przy udziale specjalistów z różnych dziedzin: począwszy od biochemii, mikrobiologii, fermentacji poprzez ekonomię, transport oraz logistykę na eksploatacji kończąc. Realizacja programu wymagała współpracy naukowców z Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie (Wydział Rolniczo-Ekonomiczny, Wydział Leśny, Wydziału Technologii Żywności oraz Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki oraz AGH (Wydział Energetyki i Paliw) i specjalistów z przemysłu (Elektrociepłownia Połaniec, MPO Kraków, Elektrownia Skawina, Nadleśnictwo Gidle, Firmy: Saleko, Ekobiomasa, Ekoenergia i in.).

Zebrano artykuły większości wykładowców z danych dziedzin. Zostały one pogrupowane i wydane w dwóch monografiach: „Produkcja biomasy na cele energetyczne" oraz „Przetwarzanie biomasy na cele energetyczne". Autorzy mają nadzieję, że przedstawione w tej formie opracowanie, stanowiące w pewnym sensie kompendium wiedzy dotyczącej produkcji i przetwarzania biopaliw, ułatwi dalszą dyskusję naukowców, a zamieszczone materiały okażą się przydatne w określaniu dalszych kierunków badań oraz będą pomocne zarówno studentom piszącym prace magisterskie oraz inżynierskie, jak i słuchaczom studiów podyplomowych.

Jarosław Frączek

I. Prawne i gospodarczo-społeczne uwarunkowania produkcji biopaliw

Tadeusz Juliszewski
Instytut Eksploatacji Maszyn, Ergonomii i Procesów Produkcyjnych,
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

UWARUNKOWANIA PRAWNE

Energia odnawialna i biomasa

Konwencjonalne (nieodnawialne) nośniki energii ulegną wyczerpaniu – mniej, więcej – za życia jednego pokolenia ludzi. Tak zdaje się mówić większość prognoz. Wprawdzie odkrywa się wciąż nowe złoża gazu ziemnego, ropy naftowej i pokłady węgla, lecz te nowe zasoby nie zrównoważą trwale wciąż rosnącego zapotrzebowania na energię współczesnych społeczeństw. Ludzie, którzy przywykli do komfortu ogrzewanych mieszkań, oświetlonych domów i ulic, elektrycznie zasilanego sprzętu gospodarstwa domowego, podróżowania pojazdami napędzanymi silnikami spalinowymi itd., nie wyrzekną się standardu życia, jaki umożliwia energia – właśnie z nieodnawialnych źródeł przede wszystkim. Wskaźniki zużycia energii, w przeliczeniu na 1 mieszkańca w różnych częściach świata są wprawdzie zróżnicowane [por. tab. 1], ale wszędzie wciąż rosną. Zastosowanie energooszczędnych urządzeń gospodarstwa domowego, czy produkcja zużywających mniej paliwa samochodów nie prowadzi do mniejszego zużycia energii w ogóle - tj. na świecie, czy w danym kraju - choć w pojedynczych gospodarstwach domowych taka oszczędność występuje.

Tabela 1. Produkcja brutto energii elektrycznej w przeliczeniu na 1 mieszkańca

Kraj	Zużycie energii kWh/mieszkańca
Polska	4146
Ukraina	4220
Niemcy	6332
Republika Czeska	8639
Stany Zjednoczone	13606

Źródło: GUS, 2008r.

Warto w tym miejscu podkreślić, że największy odsetek zużycia energii – w bilansie kraju, czy świata – występuje w przemyśle. Ogromne ilości energii zużywa też transport towarowy, a nie tylko osobowy, jak się często to eksponuje. Oszczędne gospodarowanie energia w gospodarstwach domowych może prowadzić do zmniejszenia tendencji wzrostu

zużycia energii w ogóle, lecz znacznie ważniejsze było by tu oszczędne i racjonalne gospodarowanie energią w przemyśle i transporcie towarowym.

Powyższa konstatacja odnosi się nie tylko do naszego kraju, ale całego świata, gdzie w różnych regionach (Chiny, Indie) dynamiczny rozwój produkcji przemysłowej rozpoczął się stosunkowo niedawno. Oszczędne gospodarowanie energią w jednym kraju, lub w kilku krajach, wcale nie musi prowadzić do globalnego zmniejszenia zużycia energii, jeśli w innych krajach zużycie będzie narastało. W istocie wszędzie, na całym świecie, ludzie zużywają coraz więcej energii – w domach, komunikacji i przemyśle – w wyniku upowszechniania osiągnięć cywilizacyjnych, przede wszystkim w wymiarze technicznym. Wytwarzanie tysięcy różnorodnych urządzeń technicznych i ich eksploatacja musi prowadzić do wzrostu zużycia energii, niezależnie od polityki i programów jej oszczędzania.

Energia odnawialna, tj. energia wiatru, wody, geotermalna, słoneczna i biomasy, stanowi obecnie niewielki odsetek zużycia energii w krajach uprzemysłowionych, choć w niektórych z nich pozyskiwana w większym stopniu (Austria, Norwegia, Szwajcaria, Szwecja). Ogólnie, w krajach określanych terminem „rozwiniętych", jest to wciąż poniżej 10%, zaś w krajach „rozwijających się" sięga nawet 50%. Oczywiście w nieuprzemysłowionych regionach świata (Afryka) zużycie energii na jednego mieszkańca jest wielokrotnie niższe.

Nie potrafimy dziś jednoznacznie sformułować przewidywań, czy po wyczerpaniu konwencjonalnych nośników energii, energia ze źródeł odnawialnych w pełni – czy tylko częściowo – ją zastąpi. Czy może energia jądrowa, także o ograniczonych źródłach paliwowych (tj. ilości promieniotwórczych pierwiastków, głównie uranu) będzie substytutem konwencjonalnych paliw? A może opanowanie i kontrolowanie syntezy termojądrowej, która na naszych oczach odbywa się od milionów lat we wnętrzu Słońca, zapewni bezpieczeństwo energetyczne następnym pokoleniom ludzi? Pytania te pozostają bez odpowiedzi, mimo licznych badań naukowych jakie są prowadzone, szczególnie od lat 70-tych ubiegłego wieku (tj. pierwszego tzw. „kryzysu paliwowego").

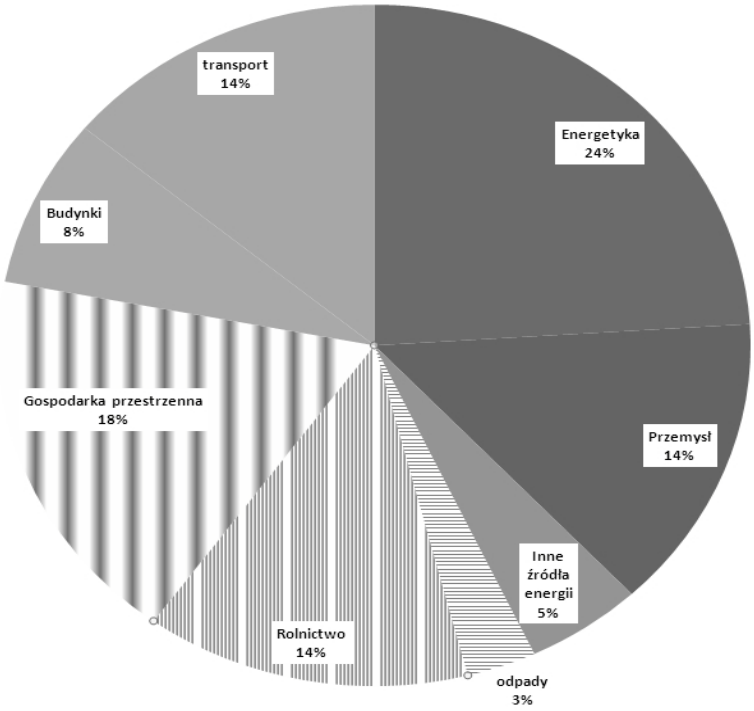
Nie znając odpowiedzi na te pytania przedstawmy zwięźle ogólna wiedzę o energii odnawialnej, nim przejdziemy do bardziej szczegółowego omawiania biomasy jako nośnika energii. Streszczenie tej wiedzy proponuję ująć w następujących punktach:

1. ilość energii odnawialnej nie zrównoważy aktualnego i przewidywanego (rosnącego) zużycia energii na świecie, zwłaszcza w krajach społeczeństw uprzemysłowionych,
2. udział procentowy energii pozyskiwanych ze źródeł odnawialnych należy szacować zawsze lokalnie, a następnie – ewentualnie – sumować w szerszym zakresie (krajowym, światowym).

   Typowy błąd prognoz polega na przenoszeniu lokalnych (miejscowych) obliczeń na skalę krajowa lub światową. Budowa elektrowni wiatrowych jest racjonalnie uzasadniona, w naszym kraju, w pasie nadmorskim i pasie centralnym, od mniej więcej, od Słubic do Warszawy. Źródła odpowiednio gorących wód geotermalnych zlokalizowane są przede wszystkim, na południu Polski, gdzie należałoby także budować, większe lub mniejsze, elektrownie wodne. Budowa instalacji fotogalwanicznych, czy kolektorów słonecznych dla pozyskania energii elektrycznej, byłaby bardziej uzasadniona na Saharze niż na Grenlandii. Oznacza to, że projekt zastosowania danego źródła energii odnawialnej powinien być poprzedzony analizą lokalnych możliwości jej pozyskania: geograficznych, technicznych i ekonomicznych. Przenoszenie wyników tej analizy w inne miejsce, bez uwzględniania, wszystkich, lokalnych, uwarunkowań prowadzi do prze-

szacowania prognoz o charakterze ogólnym – w tym przypadku prognoz możliwości pozyskania energii z biomasy.

3. jednostkowa cena energii odnawialnej (np. w PLN/kWh), jest niemal zawsze wyższa niż energia ze źródeł konwencjonalnych (obecnie, tj. w 2010 r.),
4. dla konsumenta (użytkownika energii w budynku mieszkalnym, czy przemysłowym, właściciela środka lokomocji) pierwszorzędne znacznie ma jednostkowa cena zakupu energii (np. PLN/kWh energii elektrycznej, PLN/GJ energii ogrzewania mieszkania w bloku, PLN/l benzyny lub oleju napędowego) – aspekt ekologiczny (efekt cieplarniany) ma znaczenie wciąż marginalne – por. rys. 1. Chłodna, pozbawiona emocji, analiza doniesień naukowych nt. wpływu emisji dwutlenku węgla do atmosfery i innych, tzw. gazów cieplarnianych, nie pozwala z całą pewnością stwierdzić, czy to te gazy są jedyną przyczyną anomalii pogodowych i klimatycznych. Niewątpliwie jednak ograniczenie emisji tych gazów poprawiło by czystość atmosfery i całego środowiska egzystencji ludzi.



Rys. 1. Odsetek emisji gazów cieplarnianych (pola zakreskowane określają dziedziny, gdzie emisja nie jest związana z gospodarką energetyczną [na podst. Economic monitoring of fossil use in EU agriculture, 2009]

5. nabywca energii (konsument) i jej producent różnią się zasadniczo w podejściu do zastosowania energii ze źródeł odnawialnych: ten pierwszy zainteresowany jest niską ceną energii, ten drugi zyskiem z jej wytwarzania i dostarczania - prawo popytu i poda-

ży ma tu ograniczone zastosowanie z powodu konieczności zakupu (braku wyboru substytutu) nośnika energii oraz bardzo ograniczonej konkurencji na rynku (np. monopolizacji produkcji energii elektrycznej, czy paliw silnikowych),

6. krajowe ustawodawstwo, regulujące produkcję energii odnawialnej (np. z biopaliw w gospodarstwach rolnych, energii elektrycznej z elektrowni wiatrowych), nie stymuluje na ogół, a niekiedy wręcz ogranicza, szersze rozpowszechnianie zastosowań energii odnawialnej,
7. podejście do zastosowania źródeł energii odnawialnej jest bardzo często entuzjastyczne, a nie racjonalne i nie uwzględnia wad i ograniczeń zastosowań tych źródeł, nie uwzględnia się podstawowych fizycznych i chemicznych reguł w planowaniu i zastosowaniu energii odnawialnej.

Wymienione na końcu stwierdzenie, wyjaśnimy bliżej. Do podstawowych, fizycznych, reguł należą tu: prawo zachowania energii oraz sprawność energetyczna.

Prawo zachowania energii, dobrze znane każdemu, oznacza że:

– ilość energii chemicznej zawartej w paliwach niekonwencjonalnych (biogaz, gaz generatorowy, bioetanol, estry kwasów tłuszczowych, pelety, brykiety) nie może być większa niż ilość energii zawartej w biomasie (wytworzonej skutkiem fotosyntezy) służącej do ich (tj. biopaliw) wytworzenia,
– każde przetwarzanie biomasy (suszenie, prasowanie, mikrobiologiczne lub chemiczne przetwarzanie) oraz jej transport wymaga nakładów energetycznych – na ogół ze źródeł konwencjonalnych – co powoduje, że zysk netto energii musi być pomniejszony o te nakłady energetyczne.

Szczególnie wymownym przykładem może być tu bilans energii zawartej w bioetanolu (np. wyrażonej wartością opałową w objętości 1 litra, tj ok. 21 MJ/l) i ilości energii włożonej w jego wytworzenie: od pozyskania surowca roślinnego do przetworzenia w niemal czysty (100%) etanol. Tradycyjna, termiczna, metoda usuwania wody z ekstraktu fermentacji alkoholowej, powodowała, że zysk energii zawartej w np. w 1 litrze paliwa, wynosił 10 - 30%, tj. 70%-90% energii (15 – 17 MJ) zużywano na wytworzenie, ok. 21 MJ energii w jednostce objętości bioetanolu. W produkcji przemysłowej odchodzi się dziś obecnie od tej metody – właśnie ze względów energetycznych.

W wytwarzaniu biomasy (fotosynteza) i jej przetwarzaniu tylko energia słoneczna i mikrobiologicznie przetwarzanie (fermentacja alkoholowa) nie implikują kosztów – są za darmo. To jednak jedyny zysk: reszta prac wymaga ponoszenia, większych lub mniejszych, nakładów energetycznych, a zatem i ponoszenia określonych kosztów wytwarzania i przetwarzania biomasy. Szczegółowe analizy tego zagadnienia znajdują się w innych fragmentach tej monografii, w szczególności omawiających technologie produkcji biopaliw gazowych, płynnych i stałych.

Sprawność energetyczną, (η) np. procesu spalania wyraża się zwykle jako iloraz energii uzyskanej (E_u) do ilości dostarczonej (E_d) do danego procesu:

$$\eta = (E_u / E_d) \cdot 100 \ [\%] \qquad (1)$$

gdzie:

E_d – energia dostarczona, J,
E_u – energia uzyskana, J.

Jeśli sprawność współczesnych, samochodowych silników wynosi ok. 40%, to znaczny, że ok. 60% energii zawartej w paliwie (benzynie, oleju napędowym), jest tracona, a tylko

40% zostaje zamieniona na energię mechaniczną. Podobnie należy zatem określać i analizować sprawność energetyczną produkcji i przetwarzania biomasy, a następnie jej zastosowania jako nośnika energii.

W warunkach europejskich sprawność energetyczna produkcji mleka wynosi 0,27–0,43, mięsa wołowego 0,06–0,12, mięsa wieprzowego 0,20–0,26; oznacza to, oczywiście, że ilość energii zawarta w produkcie końcowym (mleku, mięsie) jest znacznie mniejsza niż ilość energii zużytej do jego wytworzenia.

Sprawność energetyczna fotosyntezy, jako procesu wiązania energii słonecznej w masę roślinną wynosi zaledwie ok. 0,5-1%. Zatem z ok. 1000 kilowatów energii (3600 MJ) jakie dociera do powierzchni 1m^2 Ziemi w ciągu roku, w naszej szerokości geograficznej, możemy uzyskać (brutto) ok. 0,5-10 kWh/m^2/rok. Mówimy tu tzw. plonie użytkowym, a nie plonie biologicznym, gdzie ilość energii związanej w biomasie może wynosić 5% (lub więcej). Plon użytkowy, to ten jaki możemy wykorzystać (łodygi, nasiona, bulwy, gałęzie itd.), podczas gdy plon biologiczny obejmuje te fragmenty roślin, jakie nie są zbierane (np. korzenie roślin, liście itp.)

Zakładając, że teoretycznie z powierzchni 1m^2 można zgromadzić w biomasie 5-10 kWh energii, a sprawność wytwarzania prądu elektrycznego w elektrowni i przesyłu energii elektrycznej wynosi łącznie ok. 35%, to dla wyprodukowania ok. 4500 kilowatogodzin energii, jaką zużywa się w Polsce w ciągu roku, w przeliczeniu na 1 mieszkańca (por. tab. 1) należałoby przeznaczyć ok. 2570m^2 powierzchni uprawnej (4500 kWh/rok : 5 kWh/m^2/rok : 0,35) - 1285 m^2 (4500 kWh/rok : 10 kWh/m^2/rok : 0,35), tj. ok. 0,13 – 0,26 hektara powierzchni na wytworzenie biomasy, jako jedynego paliwa w elektrowniach. Obliczenie to ma jedynie charakter szacunkowy.

Sprawność fotosyntezy jest zatem bardzo mała, zwłaszcza jeśli porównać ja ze sprawnością urządzeń do pozyskania energii innymi sposobami (tab. 2). Sprawność energetyczna maleje jeszcze, gdy energia chemiczna w biomasie przetwarzana jest na inny rodzaj energii (np. cieplnej, czy elektrycznej).

Tabela 2. Sprawność energetyczna niekonwencjonalnych metod gromadzenia i przetwarzania energii słonecznej w biomasie

Metoda	Sprawność energetyczna [%]
Fotoogniwa	13,33
Kolektory słoneczne	36,19
Ciepło z biogazu (kukurydza)	0,37
Prąd elektryczny z biogazu (kukurydza)	0,15
Prąd elektryczny (drewno)	0,02

Źródło: Böhni T. ART. – Schriftenreihe 7, 2008 r.

Z energetycznego punktu widzenia są tylko trzy argumentu za wykorzystaniem biomasy, jako nośnika energii:

– energię słoneczną, skumulowaną w biomasie, można przechowywać (magazynować) tak długo, jak to jest potrzebne (nie ulega ona rozproszeniu, jak np. energia zmagazynowana w zbiorniku ciepłej wody lub akumulatorze prądu elektrycznego),
– energię słoneczną, skumulowaną w biomasie można łatwo przemieszczać (transportować) w dowolnym momencie i dowolne miejsce typowymi środkami transportu,

np. kołowego, co nie jest tak łatwe np. aby przemieszczać ogrzane powietrze lub wodę w kolektorach słonecznych albo też prąd elektryczny z fotoogniw,
– istnieją stosunkowo nieskomplikowane sposoby technologicznego jej przetwarzania (tj. biomasy) w biopaliwa gazowe, płynne i stałe o parametrach użytkowych zbliżonych do paliw konwencjonalnych – co umożliwia zastosowanie biopaliw w urządzeniach technicznych konstrukcyjnie przystosowanych do spalania paliw konwencjonalnych (silnikach spalinowych, kotłach).

Na zakończenie podejmijmy jeszcze jedno zagadnienie: czy przeznaczenie biomasy na cele energetyczne jest przyczyną wzrostu cen żywności, a nawet więcej – czy może być to przyczyną rozszerzania się głodu na świecie? Chodzi tu o pogląd, iż powierzchnia uprawna ziemi nie służąca wytwarzaniu żywności, a wytwarzania właśnie surowców biopaliwowych zmniejsza ilość produkowanej żywności w ogóle i lokalnie. Odpowiedź na powyższe pytania nie może być jednoznaczna, tj. „tak" lub „nie". Niewątpliwie – w czasach globalizacji – zakup surowców roślinnych (np. ziarna zbóż) w biednych regionach świata może prowadzić do wzrostu cen żywności. Zwróćmy jednak uwagę, że przyczynę wzrostu cen żywności (jak na przykład, w Meksyku, skąd USA kupuje ziarno kukurydzy do produkcji bioetanolu) nie jest – w istocie – produkcją biopaliwa, lecz zgoda na prowadzenie handlu bez ograniczeń w wymiarze światowym (globalnym). To wzrost popytu na dany towar (w tym przypadku surowiec roślinny) powoduje lokalny wzrost jego ceny, a nie przeznaczenie przemysłowe tego surowca u nabywcy. Gdyby ten surowiec nabywca przetwarzał u siebie na żywność (a nie biopaliwa) cena surowca w miejscu jego wytwarzania także by przecież wzrosła – skutkiem wzrostu popytu na surowiec.

Systemowa analiza nakładów i kosztów na wytwarzanie biomasy

System rozumiany jest tu jako zespół elementów wzajemnie ze sobą powiązanych i realizujących określony cel. W takim definicyjnym ujęciu system wytwarzania i przetwarzania biomasy oznacza czynności, jakie należy wykonać w określonej kolejności, aby wytworzyć w efekcie tych czynności biopaliwo (gazowe, płynne lub stałe). Analiza ma wykazać, że czynności składające się na daną technologię produkcji są uzasadnione – energetycznie i finansowo. Wynik takiej analizy jest podstawą podejmowania decyzji, czy daną technologię produkcji należy wprowadzić, czy też z niej zrezygnować. W istocie podjęcie decyzji o produkcji biomasy i przetwarzanie w biopaliwa nie różni się niczym od podejmowania decyzji w każdej innej działalności gospodarczej.

Podstawowe wskaźniki, które należy określić to:
– jakie są nakłady energetyczne na wytworzenie biomasy w produkcji polowej (E_w) i jej przetworzenie w biopaliwo (E_p) – wyrażone ilorazem tych nakładów do wartości opałowej (E_o)

$$\eta_w = (E_w/E_o) \cdot 100\ [\%] \tag{2}$$

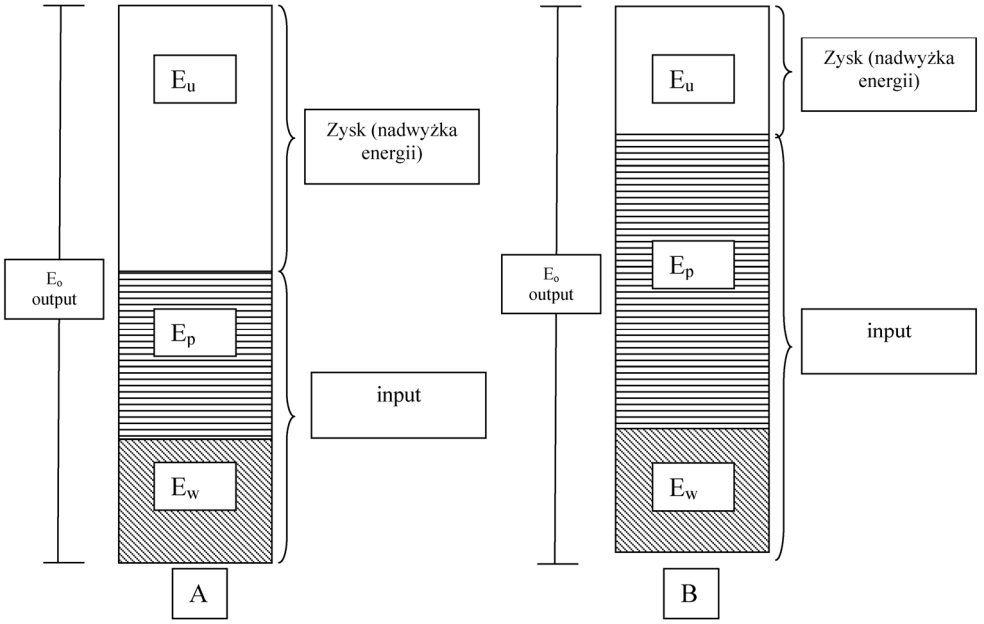
$$\eta_p = (E_p/E_o) \cdot 100\ [\%] \tag{3}$$

$$\eta_{pw} = \{(E_w + E_p)/E_o\} \cdot 100\ [\%] \tag{4}$$

gdzie:
E_o – energia opałowa, J,
E_p – energia przetworzenia w biopaliwo, J,

E_w – energia wytworzenia biomasy, J,
η_w – sprawność energetyczna wytwarzania biomasy,%,
η_p – sprawność energetyczna przetwarzania biomasy w biopaliwo,%,
η_{pw} – sprawność energetyczna systemu (technologii) produkcji biopaliwa (od surowca do produktu końcowego),%.

Obrazowo zagadnienie to prezentuje rys. 2.



Rys. 2. Ogólna zasada porównania nakładów energetycznych na produkcję biopaliwo: zysk (nadwyżka) energii E_u zawartej w biopaliwie w porównaniu do poniesionych nakładów energetycznych E_w i E_p. (technologia A daje większy zysk niż technologia B, co można wyrazić także np. MJ/l, kWh/kg danego biopaliwa, albo w procentach)

– jakie są koszty wytwarzania jednostki energii, wyrażonej wartością opałową, w biopaliwie, rozróżniając koszty:
  - wytwarzania i transportu biomasy,
  - przetwarzania biomasy w biopaliwo (z uwzględnieniem kosztów utylizacji produktów odpadowych przetwórstwa),
  - magazynowania i transportu do odbiorcy końcowego biopaliwo (klienta).

Każdy z tych składników kosztów należy wyrazić najlepiej w *PLN/MJ, PLN/GJ* lub *PLN/kWh*. Ułatwi to nie tylko analizę kosztów pozyskania energii, ale – przede wszystkim – porównanie kosztów energii zawartej w jej konwencjonalnych i niekonwencjonalnych nośnikach.

Przykładowe obliczenia nakładów energetycznych na produkcję biopaliw i kosztów tej produkcji przedstawione są w innych rozdziałach tej książki (patrz rodz. V). W tym miejscu podano jedynie ogólne zasady analizy energetycznej i opłacalności produkcji biopaliw.

To ogólne postrzeganie problemu przez inwestora, lub zarządzającego produkcją biopaliwo, ma znaczenie podstawowe:

- produkcja biopaliw powinna być energetycznie uzasadniona (im większa nadwyżka energii w biopaliwie w stosunku do nakładów energetycznych na jej wytworzenie – z reguły z paliw konwencjonalnych – tym lepiej),
- koszt produkcji biopaliwa, wyrażony w odniesieniu do jednostkowej wartości opałowej, powinien być przynajmniej zbliżony do kosztów produkcji (pozyskania) energii z nośników konwencjonalnych,
- jeśli ten koszt, tj. koszt produkcji biopaliwa, jest większy niż koszt energii zawartej w konwencjonalnych nośnikach energii, to nie zostanie osiągnięty zysk (jaki jest podstawą wszelkiej działalności gospodarczej) i jedyną szansą na zbilansowanie poniesionej straty może być pozyskanie subwencji (niepewnych w przyszłości).

Należy mieć na uwadze dwa, istotne, szczegóły powyższej analizy:

- koszty robocizny personelu bezpośrednio zaangażowanego w produkcji biopaliw, a także koszty administracyjno – prawnego nadzoru nad produkcją, mogą być znacząco duże – zwłaszcza, gdy biopaliwo ma przeznaczenie rynkowe i musi być poddawane standaryzacji (laboratoryjnym analizom) i obowiązującym regułom obrotu handlowego,
- zagospodarowanie produktów ubocznych w technologiach produkcji biopaliw może być kosztowne i uciążliwe (jak na przykład utylizacja frakcji glicerynowej powstającej przy wytwarzaniu biopaliwa rzepakowego RME, j. ang. *rape methyl ester*).

Podstawowym surowcem do produkcji biopaliw są rośliny, a zwłaszcza ich grupa określana terminem „rośliny energetyczne". Inne surowce takie jak: produkty zwierzęce (zwłaszcza odpadowe z przetwórstwa spożywczego), przeterminowana żywność, odchody zwierzęce (gnojówka) itp. mają znaczenie drugorzędne – szacując ogólnie tzw. bazę surowcową do produkcji biopaliw. Oczywiście, lokalnie, te drugorzędne surowce mogą być w danym miejscu podstawowe, jak np. gnojowica w dużych fermach zwierząt, jako surowiec do wytwarzania biogazu. Tu interesuje nas jednak zagadnienie produkcji surowcowej, a nie utylizacja produktów odpadowych, które przecież mogą być zagospodarowane także inaczej, niż na cele energetyczne.

Z biologicznego punktu widzenia istotne jest wyróżnienie grupy roślin o przebiegu fotosyntezy oznaczonej jako C_3 i C_4. Chodzi tu o różnice syntezy biomasy z dwutlenku węgla (CO_2) i wody (H_2O) według znanej formuły:

$$6CO_2+6H_2O+\text{energia słoneczna}=C_6H_{12}O_6+6O_2\ ; \qquad (5)$$

W przypadku grupy roślin określanych symbolem C_4 - należy do niej kukurydza, sorgo, miskantus - biochemiczna synteza węgla z dwutlenku węgla w cukry (sacharydy) i wielocukry (polisacharydy) zachodzi bardziej efektywnie niż u innych roślin. Praktyczne znaczenie wyróżnienia tej grupy roślin, tj. C_4, jest następujące: przyrost ich masy w okresie wegetacyjnym jest szybszy i większy niż roślin energetycznych typu C_3. Zatem na takiej samej powierzchni uprawy roślin energetycznych typu C_4 można pozyskać (zmagazynować) więcej energii słonecznej w biomasie - niż zgromadzi się jej w biomasie roślin C_3. Przykładowo duży plon suchej masy pszenicy(łącznie: ziarna i słomy) wynosi ok. 11 t/ha, a plon suchej masy kukurydzy może osiągnąć 35 t/ha.

Zwróćmy w tym miejscu uwagę: w produkcji roślin energetycznych, czy w ogóle surowca biologicznego do przetwarzania w biopaliwo, ważna jest tylko sucha masa, a nie masa wilgotna. Źródłem metanu w biogazie, czy etanolu z buraków cukrowych, nie jest

woda zawarta w surowcu, lecz tzw. sucha masa, tj. biochemicznie uformowana celuloza, olej roślinny, białko itd. Szacowanie potencjału energetycznego, jaki jest zawarty w surowcu uwodnionym (biomasie wilgotnej) jest typowym błędem – nie popełni go ten, kto rozumie różnicę pojęć „ciepło spalania" i „wartość opałowa" i potrafi odpowiednio skorygować (zmniejszyć) ilość energii zawartej rzeczywiście w biomasie o nieuniknione straty na podgrzanie i odparowanie zawartej w niej wody. Przykładowo: 100 ton biomasy kukurydzy, zebranej z powierzchni 1 hektara, zawiera w rzeczywistości ok. 35 ton suchej masy - przy wilgotności 35%. Tylko te 35 ton będzie źródłem biogazu w fermentacji metanowej, a nie 100 ton całkowitego plonu. Procentowy udział (odsetek) wody w niektórych, świeżo zebranych, surowcach roślinnych może być jeszcze większy (w trawie nawet 80%, w burakach cukrowych ok. 75%).

Woda jest więc tym składnikiem biomasy, oprócz budowy chemicznej (celuloza, lignina, skrobia, sacharoza, oleje roślinne, białko), która wpływa zasadniczo na ilość energii, jaka jest możliwa do pozyskania z jednostki masy (np. MJ/kg), lub jednostki powierzchni uprawy (np. w GJ/ha). W istocie jest przyczyną zmniejszenia się wartości opałowej biomasy bezpośrednio spalonej (nieprzetworzonej), jak na przykład drewna - tym większego zmniejszenia wartości opalowej im większa wilgotność.

Woda jest jednak podstawowym składnikiem reakcji fotosyntezy, a jej zużycie przez roślinę - podczas wegetacji - jest wielokrotnie większe , niż ta część, jaka zostaje wbudowana w biomasę. Do wytworzenia 1kg suche masy pszenicy zużywa się 557 litrów wody, do wytworzenia 1kg buraków cukrowych 377 litrów wody [CIGR Handbook of Agricultural Engineering, Vol.I, Land&Waterengineering]. Woda potrzebna jest do fizjologicznych przemian zachodzących w roślinie (np. oddychania), ale przede wszystkim do chłodzenia, zwłaszcza części nadziemnej, w procesie transpiracji. To przede wszystkim w tym celu roślina zuzywa kilkaset litrów wody na powierzchni uprawy $1m^2$ w ciągu sezonu wegetacyjnego (w Polsce od kwietnia do października). Woda ta pochodzi z opadów atmosferycznych: w Polsce są regiony (np. Kujawy), gdzie w ciągu roku wysokość opadów wynosi poniżej 500 mm ($1mm=1l/m^2$), a tylko pas nadmorski i podgórski charakteryzuje się opadami wyższymi (ok. 700 mm) opadami.

Nawet jeśli w roślinie tkwi genetycznie duży potencjał wytwarzania biomasy (rośliny z grupy C_4), przy niedostatku wody nie uzyska się oczekiwanego plonu. Jest to jedna z podstawowych przyczyn trudności przewidywania (planowania) możliwości pozyskania ilości surowca roślinnego, z celowo założonych plantacji do produkcji biopaliw. Zmienność opadów (susze) w wieloletnim okresie powodują ryzyko pozyskiwania zmiennych – np. mniejszych niż zakładano – ilości surowca do produkcji biogazu, bioetanolu, metyloestrów rzepakowych, czy peletów.

Oczywiście wiedza o genetycznym potencjale plonowania roślin, w powiązaniu z właściwą agrotechniką (uprawą), w racjonalnie wybranym miejscu uprawy, redukuje ryzyko uzyskania plonów mniejszych niż zaplanowano.

Podkreślmy jeszcze jeden zakres niewiedzy, lub niepewności naszej wiedzy, odnośnie uprawy roślin energetycznych. Niektóre z nich, np. miskantus, malwa pensylwańska, są uprawiane w Polsce od niedawna. Ich introdukcja do klimatyczno-glebowych w naszym kraju choć niełatwa powiodła się, ale rodzaje chorób i szkodników jakie mogą zmniejszyć plonowanie tych roślin są wciąż słabo poznane. Można jednak przypuszczać, że pojawią się w przyszłości. Odnosi się to także do plantacji wierzby energetycznej – jak do tej pory uprawianych bez potrzeby oprysków chemicznych dla zwalczania szkodników i chorób.

Specyficzne właściwości biomasy i biopaliw

Biomasa, przetworzona lub nieprzetworzona, jest nośnikiem energii, która zostaje uwolniona, a następnie wykorzystana w procesie spalania (oksydacji) - podobnie jak uwalniana i wykorzystywana jest energia z konwencjonalnych nośników energii. Spalanie metanu z biogazu przebiega podobnie, jak spalanie metanu z gazu ziemnego, spalanie estrów kwasów tłuszczowych jest podobne do spalania łańcuchów węglo-wodorowych oleju napędowego z ropy naftowej, a spalanie drewna, gdy po fazie pirolizy staje się węglem drzewnym, jest podobne do spalania węgla kamiennego. Oczywiście występują różnice w procesie spalania konwencjonalnych i niekonwencjonalnych paliw wynikające z różnic ich budowy chemicznej, jednak – ogólnie – zawsze chodzi tu o połączenie węgla (i wodoru) z tlenem.

Problem zastosowania biomasy, jako substytutu konwencjonalnych nośników energii może sprowadzić do rozwiązania dwóch zagadnień:

- należy dostosować (przetworzyć) tak biomasę, aby mogła być spalona w urządzeniach konstrukcyjnie przewidzianych do spalania nośników konwencjonalnych energii (np. silniku samochodowym, komorze spalania kotła grzewczego),
- należy dostosować urządzenie techniczne do specyficznych właściwości biomasy – jednak różnych od właściwości konwencjonalnych nośników energii – aby efektywnie wykorzystać zawartą tu (tj. w biopaliwie) energię.

Podstawowymi wskaźnikami oceny tych dwóch rozwiązań są:

- sprawność działania danego urządzenia technicznego (np. sprawność kotła grzewczego, sprawność silnika spalinowego), wyrażająca odsetek energii użytecznej (zwykle w procentach) i odsetek energii traconej,
- moc cieplna (np. kilowatach), jaką dane urządzenie może wytworzyć (np. ciepło do ogrzania budynku), lub przetworzyć w inny rodzaj energii (np. w energię mechaniczną w silniku spalinowym).

Są też zagadnienia, których w analizie zastosowań biomasy, do celów energetycznych nie należy pomijać, takie jak:

- emisja spalin, a zwłaszcza szkodliwych ich składników,
- pozostałość popiołu i sposób jego zagospodarowania,
- ryzyko samozapłonu biopaliwa,
- ryzyko mikrobiologicznego rozkładu (gnicie),
- chemiczne zmiany właściwości biopaliwa podczas jego długotrwałego magazynowania (np. pochłanianie wody przez alkohol czy zmiany właściwości metyloestrów olejów roślinnych),
- oddziaływanie biopaliw na instalacje, gdzie jest przechowywane lub używane (np. agresywne oddziaływanie metyloestrów na tworzywa sztuczne),

a także inne zagadnienia wynikające ze specyficznych właściwości biomasy i biopaliw.

Standaryzacja (normowanie) spełnia tu podstawową rolę – to znaczy: określanie parametrów, jakie są wymagane od surowca biologicznego (biomasy) na wejściu do danego systemu przetwarzania (lub bezpośredniego użytkowania), i na wyjściu, kiedy biomasa staje się biopaliwem, w wyniku technologicznego przetworzenia.

Spośród wielu specyficznych właściwości biomasy i biopaliw wymienimy te podstawowe, które wpływają na wspomnianą wyżej sprawność działania urządzenia technicznego i jego moc cieplną. Są to następujące właściwości:

– wartość opałowa [np. MJ/kg] niemal zawsze mniejsza od wartości opałowej porównywalnych paliw konwencjonalnych,
– gęstość objętościowa (usypowa) mniejsza niż stałych paliw konwencjonalnych,
– podatność na mikrobiologiczne oddziaływanie (np. gnicie).

Listę tych specyficznych właściwości można znacznie poszerzyć, tu zwracamy jedynie uwagę na zagadnienia podstawowe, o podstawowych konsekwencjach praktycznych.

Mniejsza wartość opałowa biomasy i biopaliw spowoduje, że ich zużycie musi być większe niż spalanie konwencjonalnych paliw – dla uzyskania tej samej ilości energii użytecznej. Należy spalić ok. 10% więcej biopaliwa rzepakowego, aby uzyskać tą samą ilość energii, jaką uzyskuje się z oleju napędowego - z tej samej ilości biopaliwa rzepakowego co olej napędowy uzyskuje się ok. 10% mniejszą moc silnika. Zastąpienie węgla (o wartości opałowej ok. 7,5 kWh/kg) peletami lub brykietami ze słomy (o wartości opałowej ok. 5 kWh/kg) powoduje, że należy ich spalić o ok. 35% więcej niż węgla (w kotle, w kominku).

Mniejsza gęstość usypowa (objętościowa) biomasy powoduje, że objętość (kubatura) pomieszczeń do ich przechowywania musi być większa niż paliw konwencjonalnych. Objętość magazynu węgla na zimowe zaopatrzenie domu jednorodzinnego może wynosić ok. 10m^3 (dla przechowania ok. 5 ton węgla kamiennego); dla zmagazynowania sprasowanej w kostki lub cylindryczne bele słomy – jako substytutu 5 ton węgla – należy przewidzieć pomieszczenie magazynowe co najmniej 10-kronie większe (ponad 100m^3).

Technicznie możliwe jest również współspalanie biopaliw: dodaje się przecież biomasę do kotłów węglowych w elektrowniach, czy alkohol etylowy do benzyny. Uzyskuje się przez to osiągnięcie (na razie częściowe) celów określonych dyrektywami urzędników Unii Europejskiej, tj. pozyskanie określonego odsetka energii z odnawialnych źródeł energii (10% w 2010 r., 20% w 2020 r.). Jeśli jednak priorytetowym celem ma być możliwie największa sprawność urządzenia technicznego (np. kotła do spalania), to współspalanie na chwilę obecną jest rozwiązaniem nieracjonalnym. Postęp tj. wzrost sprawności uzyskano przez wieloletnie, wzajemne, dostosowanie parametrów paliwa o ściśle określonych parametrach, do urządzenia technicznego (np. silnik) także o ściśle określonych parametrach pracy. Wprowadzenie do paliwa domieszki (biopaliwa) o zgoła odmiennych parametrach to wzajemne dostosowanie zakłóca – w mniejszym lub większym stopniu.

Z wartością opałową biomasy i jej gęstością objętościową związany jest jeszcze jeden uciążliwy (i kosztowny) skutek: aby zebrać biomasę z powierzchni uprawy konieczne jest przejechanie długiego odcinka drogi na polu. Gdyby zbierać jednorzędową sieczkarnią wierzbę energetyczną uprawianą w rzędach o szerokości międzyrzędzi 0,75 m, należy przejechać na powierzchni uprawy 1 hektara (100m x 100m) ok. 15 km (łącznie z nawrotami). Zbierzemy wówczas biomasę o wartości opałowej równoważnej ok. 5-7 ton węgla (w przeliczeniu na 1 rok uprawy plantacji). Nie mniejszy dystans muszą pokonać ciągniki z prasami do słomy i ciągniki do załadunku i przewiezienia sprasowanej słomy na powierzchni 1 hektara.

Biomasa, nieprzetworzona lub przetworzone w biopaliwo, pozostaje cały czas produktem biologicznym i ze swej natury może podlegać oddziaływaniu mikroorganizmów (mikrobiologicznemu rozkładowi). Sprzyja temu zwłaszcza obecność wody w biomasie, lub biopaliwie. Usunięcie tej wody, lub ograniczenie pochłaniania wilgoci, może zabezpieczyć przed destrukcyjnym oddziaływaniem mikroogranimów. Zwróćmy uwagę, że nie jest to zmartwieniem nabywcy, który kupuje węgiel, czy olej opałowy do ogrzewania budynku, ani też kierowcy, który kupuje olej napędowy do ciągnika. Te sam nabywca kupując nie-

zbyt wysuszone drewno, czy czysty (100%) metyloester rzepakowy nie może być spokojny – zwłaszcza, gdy te dwa nośniki energii są przechowywane dłużej (kilka miesięcy).

Reasumując: zanim zdecydujemy o zastosowaniu biomasy lub biopaliw jako substytutu paliw konwencjonalnych poznajmy szczegółowo ich właściwości fizyko-chemiczne. Nie ulegajmy łatwo entuzjazmowi z publikatorów, gdyż planowana substytucja może przynieść więcej rozczarowań niż korzyści, jak nam się wydaje niekiedy bez zimnej kalkulacji każdego przedsięwzięcia – także substytucji biomasę i biopaliwami konwencjonalnych źródeł energii.

Ogólne kryteria analizy przydatności biomasy do celów energetycznych

Kryteria analizy przydatności biomasy do celów energetycznych zostały już częściowo omówione powyżej. Zajmijmy się teraz tymi kryteriami bardziej wnikliwie – choć wciąż na poziomie ogólnym. Szczegółowa analiza powinna bowiem zawierać ocenę:

- lokalnych (regionalnych) możliwości wytwarzania biomasy, w tym uwarunkowania klimatyczno-glebowe oraz ekonomiczne (tam gdzie produkcja ogrodnicza, czy rolnicza, przynosi producentom zadowalające dochody, zachęcanie ich do zakładania produkcji roślin energetycznych jest nieuzasadnione),
- plonowania roślin energetycznych, jakie wynika z ich cech genetycznych, lub możliwości pozyskania biomasy jako produktu ubocznego (np. słomy zbóż, trocin i wiórów z tartaku, gałęzi z tzw. prześwietlenia drzew itp.),
- opłacalności produkcji biomasy do celów energetycznych z uwzględnieniem nie tylko aktualnego, ale i przyszłego subwencjonowania tej produkcji – podkreślamy: analiza ekonomiczna ma tu znaczenie podstawowe, jak w każdej innej działalności produkcyjnej,
- aktualnych i perspektywicznych możliwości zaopatrzenia w surowiec (biomasę) oraz zbytu produktu (biopaliwa) – zmiany cen produktów rolniczych są tak duże (np. ziarna zbóż, mleka), że ich producenci nie mają żadnej pewności co w dłuższym przedziale czasu będzie opłacalne, a co należy zaniechać produkować,
- uwarunkowań administracyjno – prawnych, jakie obowiązują w zakresie produkcji i obrotu handlowego biomasą i biopaliwami (np. aktualne, restrykcyjne, przepisy dotyczące produkcji biopaliwa silnikowego – 100l/ha/rok – na własne potrzeby w gospodarstwie, są zdaniem autora, jedną z podstawowych przyczyn braku rozwoju tej produkcji, podobnie jak podatki (VAT) w wielkoprzemysłowej produkcji tego biopaliwa),
- możliwości zagospodarowania (utylizacji) produktów ubocznych wytwarzania biopaliw, które zawsze powstają w większej lub mniejszej ilości, i powinny być zgodnie z przepisami i zdrowym rozsądkiem wykorzystane lub zutylizowane.

W tabeli 3 przedstawiono biopaliwa, surowce do ich produkcji oraz główne zastosowania. Z tabeli wynikają dwa główne spostrzeżenia:

- do produkcji biopaliwa można wykorzystać niemal każdy surowiec pochodzenia biologicznego (roślinny lub zwierzęcy),
- biopaliwa wytwarza się przede wszystkim, do napędu silników spalinowych (połączonych często z generatorami prądu elektrycznego), lub do ogrzewania pomieszczeń – inne zastosowania, takie jak wytwarzanie wodoru, paliwo do ogniw paliwowych itp. mają znaczenie marginalne.

Tabela 3. Rodzaje biopaliw, surowce do ich produkcji i zakres zastosowania

Rodzaj biopaliwa	Podstawowe surowce do produkcji biopaliwa	Zastosowanie biopaliwa
biogaz	– kukurydza i inne rośliny, – gnojowica, – produkty odpadowe przetwórstwa rolno-spożywczego, – przeterminowana żywność, – śmieci i ścieki komunalne	– spalanie w kotłach grzewczych, – paliwo silnikowe,
gaz generatorowy	– drewno kawałkowane	– spalanie w kotłach grzewczych – paliwo silnikowe,
bioetanol	– ziarno zbóż, ziemniaki (skrobia), buraki cukrowe, trzcina cukrowa (sacharoza), – celuloza z łodyg roślin i drewna (technologia przemysłowa jeszcze opracowywana)	– paliwo silnikowe,
estry olei roślinnych (estry tłuszczy zwierzęcych)	– oleje roślinne surowe – oleje roślinne zużyte (posmażalnicze) – tłuszcze zwierzęce	– paliwo silnikowe
biopaliwa II generacji	– każdy materiał roślinny (biomasa) podatny i łatwy do pirolitycznego rozkładu	– paliwo silnikowe
brykiety, pelety	– słoma – drewno	– spalanie w kotłach – spalanie w kominkach
drewno	– plantacje wierzby, topoli, olchy, robinii akacjowej i inne drzewa nieowocowe, – drewno pozyskane z lasów – drewno z sadów owocowych (prześwietlanie korony drzew)	– spalanie w kotłach, – spalanie w kominkach
węgiel drzewny	– drewno, głównie z drzew iglastych	– spalanie rekreacyjne (grillowanie), – spalanie w kominkach

Źródło: opracowanie własne

Inwestor, zamierzający podjąć towarową produkcję biopaliwa, bądź indywidualny użytkownik (np. właściciel gospodarstwa rolnego ma do wyboru nie tylko surowce, ma do wyboru gotowe sprawdzone, technologie produkcji biopaliw i urządzenia techniczne stosowane w tych technologiach. Są to technologie i urządzenia techniczne do produkcji biopaliw na małą i dużą skalę, których zakup w kraju lub za granica jest niemal bezproblemowy. Ważne jest jednak, że każda z tych technologii czy urządzeń technicznych, wymaga spełnienia określonych parametrów surowca wejściowego (biomasy) i tylko wtedy dostawca gwarantuje uzyskanie produktu końcowego (biopaliwa) o określonych także parametrach użytkowych.

Popyt na biomasę znacznie wzrósł w wyniku dyrektyw określających konieczność pozyskiwania części energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych. Elektrownie, w Polsce wykorzystujące w tym celu węgiel kamienny i brunatny – łącznie ok. $1{,}1 \cdot 10^8$ t w 2007 roku (wg Rocznika statystycznego, 2008 r.) kupują materiał roślinny (słomę, drewno), aby sprostać wymaganiom dyrektyw Unii Europejskiej w zakresie pozyskania energii ze źródeł

odnawialnych. Można sobie wyobrazić, jakiej wielkości jest to popyt, jeśli elektrociepłownia zużywa w ciągu roku np., około 10^6 t węgla, a powinna obecnie pozyskać 10%, a później 20%, energii ze źródeł odnawialnych. Oczywiście, prąd elektryczny wytwarza się nie tylko ze spalania paliwa – są przecież niekonwencjonalne, inne metody (elektrownie wiatrowe, wodne) – ale zastosowana biomasa zdaje się być rozwiązaniem najtańszym (na razie). W istocie rozwiązaniem tanim nie jest, gdyż energia elektryczna drożeje – między innymi – dlatego, że biomasa właśnie zastępuje tradycyjne paliwo (węgiel).

Analiza przydatności zastosowania biomasy do celów energetycznych powinna być przeprowadzona według różnych kryteriów w makroskali (np. kraju, lub regionu) i w mikroskali (np. budynku jednorodzinnego, budynku szkolnego, administracyjnego, czy osiedla).

Analizy w makroskali, ze swej natury, nie mogą uwzględniać tych wszystkich szczególnych czynników, jakie w danym miejscu mogą zastosowania biomasy wykluczać - bądź stymulować. Autorowi znane są opracowania z lat 80-tych ubiegłego wieku (XX w.), w których szacowano możliwości pozyskiwania ok. 40% energii w Polsce z biomasy. Inne, współczesne kalkulacje wskazują, że na uprawę roślin energetycznych można przeznaczyć ok. połowy powierzchni użytków rolnych, gdyż z ok. 42 arów przypadających statystycznie na jednego mieszkańca, tylko połowa potrzeba jest do wytworzenia dla niego żywności (na cały rok) – przy obecnym poziomie produkcji rolniczej w Europie. Obydwa te szacunki są rażąco różne od osiągniętego obecnie (2009 r.) poziomu energii pozyskiwanej ze źródeł odtwarzalnych w ogóle, a z biomasy w szczególności. Pytanie czy kalkulacje były nietrafne, czy też występują okoliczności, które nie pozwoliły osiągnąć kalkulowanego poziomu energii z biomasy pozostaje bez odpowiedzi. Wśród ekspertów panuje jednak przeświadczenie, że potencjalne możliwości naszego kraju są w tym zakresie – tj wykorzystania biomasy do celów energetycznych – nie wykorzystane.

Analiza w mikroskali, choćby tylko z uwzględnieniem przedstawionych kryteriów, wykazują obecnie (2009 r.), że energia z biomasy do ogrzewania budynków jest bardzo często równie kosztowna jak energia ze źródeł konwencjonalnych (w przeliczeniu na jednostkę energii np. kilowatogodzinę, czy gigadżul). Przykładowo: drewno, jakie można było kupić jeszcze kilka lat temu za cenę poniżej 100 PLN/m^3 kosztuje powyżej 200 PLN/m^3. Można przypuszczać, że przy rosnącym popycie na to paliwo jego cena też będzie rosła (podobnie też rynkowa cena słomy zbóż). Motywacja, aby dokonać substytucji tradycyjnego paliwa biomasą zmalała, zwłaszcza, że substytucja ta wymaga zwykle modernizacji instalacji do ogrzewania (np. wymiany kotła). Szybkie i trudne do dokładnego przewidzenia zmiany cen konwencjonalnych i niekonwencjonalnych nośników są poważnym utrudnieniem w podejmowaniu decyzji o wieloletnich konsekwencjach.

Perspektywy wykorzystania biomasy jako nośnika energii

Prognozy (plany) opracowuje się dla bliższej lub odległej perspektywy czasu. Zawsze prognostyk jest niepewny, czy uwzględnił wszystkie czynniki i okoliczności, jakie w przyszłości będą determinować spełnienie się (urzeczywistnienie) przewidywań. Te ogólne uwagi warto pamiętać także w odniesieniu do perspektyw wykorzystania biomasy jako nośnika energii.

Kryzys energetyczny jest wciąż kryzysem ekonomicznym, a nie brakiem paliw konwencjonalnych. Wprawdzie jest uzasadniona obawa, że wyczerpią się one za kilkadziesiąt

lat, ale wciąż wydobywa się ich tyle ile rosnący popyt wymaga. Niepokojący jest natomiast wzrost cen paliw konwencjonalnych, gdyż prowadzi do nieopłacalności różnego rodzaju produkcji przemysłowej i napięć społecznych. To nie paliwa brakuje, lecz staje się ono coraz droższe – w stosunku do indywidualnych czy grupowych dochodów (zarobków).

Kryzys energetyczny można rozumieć także jako kryzys zaopatrzenia w nośniki energii, co wynika bynajmniej nie z braku paliwa, lecz nieprzewidywalnych działań politycznych, gospodarczych, terrorystycznych – lub zgoła wpływów przyrody (np. zbyt dużych opadów śniegu, katastrofalne powodzie, wichury itp.). Z lat 70-tych XX wieku (tj. tzw. 1go kryzysu energetycznego) pochodzą liczne opracowania konstrukcyjne zastosowania biogazu jako paliwa silnikowego, czy kotłów wsadowych do spalania prasowanej słomy. Opracowania te, gdy kryzys zażegnano, poszły w dużej mierze w zapomnienie – dziś wraca się do nich ponownie, gdyż ryzyko nieprzewidywalnych wydarzeń politycznych, gospodarczych i terrorystycznych wzmacnia się dodatkowo argumentacją ekologiczną.

Kryzys energetyczny znajduje odbicie nie tylko w debatach politycznych i gospodarczych; odciska także swoje piętno na decyzje podejmowane indywidualnie. W domach jednorodzinnych instaluje się dodatkowo, obok kotłów gazowych, także kotły węglowe, pozostawia się kuchnie węglowe mimo, że w ogóle nie są one używane, izoluje się termicznie budynki.

W sferach gospodarczych prowadzenie jakiejkolwiek działalności w dziedzinie energetyki (produkcja, pośrednictwo, administrowanie itp.) uchodzi za jedną z najbardziej intratnych i pewnych w perspektywie wieloletniej. Monopolizacja tych działalności nie poddaje się łatwo regulacjom antymonopolowym.

Gdzieś w świadomości indywidualnej i zbiorowej (jeśli coś takiego istnieje) to podstawowe przeświadczenie: obok żywności, każdy człowiek chce mieć zabezpieczoną egzystencję swego i rodzinnego bytu a także pracy. Bezpieczeństwo energetyczne, jakikolwiek by to był rodzaj energii (do napędu samochodu, ogrzewania pomieszczeń, elektrycznego zasilania urządzeń technicznych), jest potrzebą współczesnego człowieka, z której on nie zrezygnuje.

Biomasa przez wieki była nośnikiem energii, zanim odkryto złoża węgla, ropy naftowej, gazu ziemnego i rozpoczęto ich eksploatację na masową skalę. W XIX wieku biomasą (drewnem) nie tylko ogrzewano pomieszczenia mieszkalne i przemysłowe, ale także wytapiano żelazo (Kuźnice k. Zakopanego), napędzano lokomotywy parowe i inne urządzenia techniczne. W latach wojny i powojennych, drewno przekształcano w paliwo silnikowe (Holzgas). Powrót do biomasy jako nośnika energii nie jest zatem odkryciem czegoś co człowiek w przeszłości nie znał i nie stosował. Oczywiście współczesne sposoby wykorzystania biomasy jako nośnika energii różnią się od XIX-wiecznych, ale też odkryliśmy sposoby przekształcania biomasy i skonstruowaliśmy urządzenia techniczne do tego przekształcania, jakich w minionych wiekach nie znano.

Przewidywania wykorzystania biomasy na cele energetyczne powinny uwzględniać następujące aspekty:

- biomasa będzie zawsze tylko uzupełniającym nośnikiem energii przy obecnym – i wciąż rosnącym – zapotrzebowaniu na paliwa gazowe, płynne i stałe,
- plantacje energetyczne będą zawsze tylko alternatywą dla plantacji upraw żywnościowych, przede wszystkim z uwagi na ceny rynkowe surowca (żywnościowego lub nieżywnościowego), a nie względy moralne (występowanie obszarów głodu),
- energia z biomasy będzie najprawdopodobniej – porównywalna, a może nawet droższa (jednostkowo – np. PLN/kWh), niż energia ze źródeł konwencjonalnych, gdyż w pro-

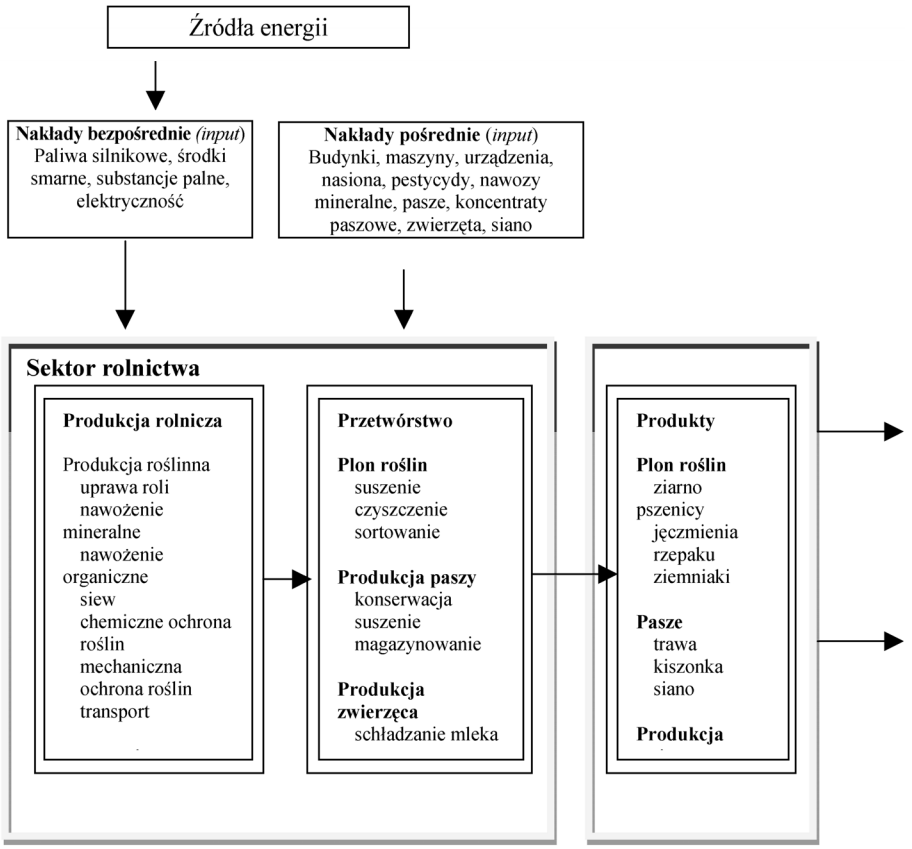
dukcji biomasy i jej przetwarzaniu jedynie energia słoneczna i praca mikroorganizmów jest bezpłatna,
- transport biomasy, (słomy drewna), zwłaszcza nieprzetworzonej na odległość większą niż 30-50 kilometrów, jest nieuzasadniony (z powodu małej gęstości objętościowej przewozimy powiem w przestrzeni ładunkowej niekiedy więcej powietrza niż biomasy),
- nieprzewidywalna polityka fiskalna (podatki) państw jest jedna z podstawowych przyczyn trudności przewidywania zakresu zastosowania biomasy jako nośnika energii,
- ocena ustawodawstwa regulującego zastosowanie biomasy do celów energetycznych, a zwłaszcza stymulującego oddziaływania tego ustawodawstwa, może być pozytywna tylko wtedy, gdy rzeczywiście nastąpi rozwój zastosowań energetycznych biomasy (jest oczywistym błędem, jeśli ktoś twierdzi, że ustawy są dobre, gdy zastosowania biopaliw są marginalne),
- przekonanie większości ekspertów – nie wszystkich – że zamknięty obieg dwutlenku węgla (CO_2) w przyrodzie, właśnie poprzez spalanie biomasy, przyczyni się do zmniejszenia efektu cieplarnianego (jeśli jest on rzeczywiście powodowany przez spalanie dużych ilości pali konwencjonalnych),

Warto w tym miejscu wymienić niektóre opinie, jakie wskazuja na przecenianie możliwości zastosowań biomasy do celów energetycznych. Są to, m.in., takie opinie jak:
- możliwość wykorzystania pod uprawę rzepaku lub innych roślin oleistych, terenów skażonych, a nawet hałd kopalnianych (wątpliwe, gdyż wymagania glebowe tych roślin wykluczają, w zasadzie, ich uprawę na tych terenach),
- możliwość wykorzystania odłogów pod uprawę rzepaku – jako źródła oleju do produkcji biopaliwa, (wątpliwe, gdyż każdy agrotechnik wie, jak duże wymagania glebowe ma ta roślina i że można ją uprawiać w płodozmianie co 3-4 lata – powyższe opinie wskazują zatem na brak podstawowej wiedzy fachowej osób, które je formułują),
- plonowanie roślin zależy przede wszystkim od ich potencjału genetycznego i uprawy, (wątpliwe, gdyż brak wystarczającej ilości opadów może decydować bardziej o wielkości plonu, niż gatunek rośliny energetycznej i jej uprawa),
- biomasa jest tanim substytutem konwencjonalnych nośników energii, (wątpliwe, gdyż wytwarzanie i przetwarzanie biomasy jest kosztowne i wymaga dużych nakładów energii – najczęściej z konwencjonalnych źródeł; biomasa może być zatem co najmniej tak drogim paliwem jak nośniki konwencjonalne),
- z lasów można pozyskać relatywnie dużo drewna z odpadów przy wycince drzew (gałęzie, wierzchołki drzew), (wątpliwe, gdyż wśród leśników przeważa opinia, że drewno to powinno jednak pozostać na leśnej glebie wzbogacając ją w próchnicę i poprawiając jej żyzność).

Koncepcja samozaopatrzenia energetycznego wsi i rolnictwa

Paradoks zaopatrzenia energetycznego rolnictwa polega na tym, że oczekuje się tu, tj. od rolnictwa, wyprodukowania biomasy co celów energetycznych – i przekazania tej biomasy na rynek – natomiast do produkcji rolniczej dostarcza się z zewnątrz paliwa konwencjonalne – rys. 3. Z logicznego i logistycznego punktu widzenia to przemieszczanie nośników energii w przeciwne strony jest nieracjonalne. Rodzi się bowiem pytanie: czy nie należałoby zastosować biomasy w miejscu jej wytworzenia? Ograniczyłoby to koszty jej

zastosowania do celów energetycznych poprzez wyeliminowanie transportu biomasy – niekiedy na znaczne odległości.



Rys. 3. Schemat zużycia energii w rolnictwie (na podst. Economic monitoring of fossil use in EU agriculture, 2009)

Przypomnijmy kilka podstawowych informacji dotyczących zużycia energii w rolnictwie:

- zużycie paliwa do ciągników i maszyn rolniczych, głównie oleju napędowego wynosi 100-200 litrów rocznie, w przeliczeniu na 1 hektar użytków rolnych,
- ogrzewanie tuneli foliowych i szklarni wymaga spalenia 25-60 kg węgla w ciągu roku, w przeliczeniu na powierzchnie $1m^2$,
- suszenie ziarna zbóż wymaga zużycia ok. 1 mln ton węgla w ciągu roku – w całym kraju,
- ogrzewania wymagają pomieszczenia inwentarskie (kurniki, chlewnie).

Średnia ilość energii zużywana w europejskim rolnictwie na wyprodukowanie 1 kg pszenicy wynosi 3,0 MJ, jęczmienia 3,4 MJ, rzepaku 5,9 MJ, ziemniaków 1,5 MJ, buraków

cukrowych 0,4 MJ. W przeliczeniu na 1 hektar zapotrzebowania energii wynosi odpowiednio: pszenica 18,8 GJ, jęczmienia 16,3 GJ, rzepaku 16,4 GJ, ziemniaków 45,5 GJ, buraków cukrowych 22,8 GJ. Przeciętne zużycie energii na wyprodukowanie 1 kg mleka wynosi 5,4 MJ, 1kg mięsa wołowego 60 MJ, 1 kg mięsa wieprzowego 40 MJ (na podst. *Economic monitoring of fossil energy use in EU agriculture, 2009*). Przeliczenie powyższych ilości energii, wyrażonych w megadżulach lub gigadżulach, na masę nośnika energii, np. węgla, obrazuje jak wiele niekonwencjonalnych nośników energii wymaga współczesna produkcja rolnicza (1 kg węgla kamiennego = ok. 27 MJ energii, 1 t węgla = ok. 27 GJ). Są to tylko przykłady szacunkowej ilości spalanych nośników energii i miejsc ich zużycia bezpośrednio w produkcji rolniczej.

Do celów socjalnych, ogrzewanie pomieszczeń i wody zużywa się w jednorodzinnym czy wielorodzinnym domu rolnika podobne ilości opału jak i w mieście (ok. 5-7 ton węgla rocznie), oczywiście.

Wieś to miejsce zamieszkania ludności, która z rolnictwem zgoła nie ma nic wspólnego: ludzie ci pracują w mieście, a środowisko wiejskie zamieszkania wybrali dla jego naturalnych walorów (cisza, czyste powietrze itd.). Ich domy wymagają także zaopatrzenia w paliwo do ogrzewania.

Zwróćmy uwagę, że w środowisku wiejskim, jest czynnych zawodowo i zamieszkuje prawie. 39% ludności (wg Rocznika statystycznego, 2008). Jeśli dodamy do tego małe miasta, to ilość potencjalnych odbiorców (klientów) zainteresowanych biomasą jako nośnikiem energii wzrośnie do kilku (jeśli nie kilkunastu) milionów.

Samo zaopatrzenie energetyczne wsi i rolnictwa wydaje się więc logicznym i racjonalnym rozwiązaniem w naszym kraju, niestety jest dalekie od akceptacji, a jeszcze dalsze od realizacji. Koncepcja ta, to jest samozaopatrzenie rolnictwa i wsi, jest znana autorowi z innych krajów (zwłaszcza Austrii i Szwajcarii), dlatego wskazuję na przykłady, jakie można przynieść do naszego kraju.

W miejscowości Mureck (Styria, Austria) kilkuset rolników wykorzystuje od ok. 20 lat nasiona rzepaku jako surowiec do produkcji biopaliwa ciągnikowego, a makuchy jako dodatek do paszy dla zwierząt. Produkowane z własnego surowca (nasiona rzepaku) biopaliwo nie jest kierowane do obrotu handlowego, lecz zużywane w gospodarstwach do produkcji rolniczej, w związku z czym nie podlega opłatom (podatkom) związanym z rynkowym obrotem paliw. Instalacja do produkcji biopaliwa rzepakowego została zbudowana ze środków własnych rolników i kredytu (przy częściowym wsparciu rządu regionalnego i krajowego) i funkcjonuje sprawnie od wielu lat.

Należy mieć na uwadze, że ilość biopaliwa pozyskiwanego z 1 hektara uprawy rzepaku – np. z 3 ton nasion ok. 1400 litrów biopaliwa – pozwala zaopatrzyć ciągniki i maszyny do pracy na 7,5-14 hektarach w ciągu roku. Te 1400 litrów biopaliwa dla autobusu miejskiego zapewne nie byłby wystarczające na więcej niż 10 dni jazdy.

Miasteczko Lasse, w pobliżu Wiednia, ogrzewane jest w dużej mierze biomasą (słomą) spalaną w centralnej ciepłowni, gdzie dostarczają ją okoliczni rolnicy (naturalnie odpłatnie). W Styrii można znaleźć liczne osiedla z centralnymi kotłowniami dostarczającymi ciepło rurociągami do poszczególnych domów – paliwem jest biomasa odpadowa z tartaków, lasów i upraw polowych.. W Szwajcarii można znaleźć liczne przykłady zastosowania kotłów na drewno do wytwarzania gazu generatorowego (spalanego do ogrzewania domów), kotły na brykiety i pelety. W Danii wciąż można spotkać jeszcze na wsi kotły wsadowe do spalania prasowanej słomy – nawet z lat 70-tych ubiegłego wieku (XX w.)

Racjonalne spalanie biomasy na wsiach przyczyniłoby się ponadto do ograniczenia emisji tych toksycznych składników spalin, jakie powstają przy spalaniu w kotłach tworzyw sztucznych, gumy i innych odpadów. To nagminne zjawisko na wsi, która z miejsca czystego powietrza przekształca się zimą w środowisko bardziej skażone niż środowisko miejskie. Konsekwencje zdrowotne osób, które spalają te odpady, ich sąsiadów bliżej i dalej – turystów, jacy tu przyjeżdżają – są tylko kwestią czasu, o ile już nie nastąpiły…

I. Prawne i gospodarczo-społeczne uwarunkowania produkcji biopaliw

Anna Szeląg-Sikora
Instytut Inżynierii Rolniczej i Informatyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

DOFINANSOWANIE PRODUKCJI BIOPALIW

Wytwarzanie energii ze zróżnicowanych źródeł może skutecznie ograniczyć ilość importowanych kopalin, zwiększając bezpieczeństwo energetyczne kraju. Produkcja energii z biomasy bezpośrednio przyczynia się do zmniejszenia zanieczyszczenia środowiska naturalnego, ponieważ w procesie jej wytwarzania uwalnia się o wiele mniej szkodliwych dla środowiska gazów i pyłów niż w przypadku tradycyjnej produkcji energii. Unia Europejska (UE) jasno wyznacza cele, które stoją zarówno przed całą Wspólnotą, jak i państwami członkowskimi. Zasadniczymi celami są: ograniczenie emisji gazów cieplarnianych przynajmniej o 20%, przy jednoczesnym zmniejszeniu zużycia energii pierwotnej o 20% oraz wzroście do 20% udziału odnawialnych źródeł w ogólnym zużyciu energii.

Rozporządzenie ministra środowiska z 12 września 2008 r. wskazuje materiały, które uznawane są za biomasę naturalną [Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 12 września 2008]. Od 2005 roku przedsiębiorstwa, które zajmują się sprzedażą energii elektrycznej odbiorcom końcowym, są zobowiązane do uzyskania i przedstawienia do umorzenia prezesowi Urzędu Regulacji Energetyki (URE) świadectwa pochodzenia energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnych źródłach energii. System ten niejako wymusza na przedsiębiorstwach energetycznych zakup energii wytworzonej z odnawialnych źródeł energii [Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 14 sierpnia 2008 r.].

W marcu 1994 roku weszła w życie Ramowa Konwencja Narodów Zjednoczonych w sprawie Zmian Klimatu (UN FCCC), podpisana przez przedstawicieli 154 państw [Ramowa Konwencja Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu (UN FCCC) 1992]. Konwencja nakreśliła podstawowe zasady, jakimi powinny kierować się państwa, aby nie dopuścić do zwiększenia koncentracji gazów cieplarnianych w atmosferze. Protokół do tej Konwencji, znany jako Protokół z Kioto, stanowił pierwsze prawnie wiążące międzynarodowe porozumienie, mające na celu ochronę środowiska naturalnego w skali globalnej. Postanowienia Protokołu weszły w życie w lutym 2005 roku. Protokół z Kioto nałożył na państwa rozwinięte oraz państwa z gospodarką przejściową obowiązek redukcji emisji gazów cieplarnianych średnio o 5,2% w latach 2008-2012 w stosunku do roku bazowego 1990.

Rozwój nowych technologii wykorzystujących odnawialne źródła energii doprowadził do sytuacji, w której w roku 2004 energia ze źródeł odnawialnych stanowiła prawie 17% światowej energii pierwotnej [Protokół z Kioto do Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych 1997]. Na tę wielkość złożył się również fakt, że część ludności świata pozbawiona jest dostępu do konwencjonalnych źródeł energii. Największy udział w produkcji energii pierwotnej ze źródeł odnawialnych ma nieprzetworzona biomasa - 9,0% - i tzw. duża energetyka wodna - 5,7%. Pozostałe źródła odnawialne, choć stanowią tylko 2% w struktu-

rze energii pierwotnej, charakteryzują się największym potencjałem rozwojowym. To właśnie do tej grupy zalicza się nowoczesne technologie wykorzystania biomasy, m.in. fermentację beztlenową, w wyniku której powstaje biogaz.

W roku 2004 zainwestowano na świecie czterokrotnie więcej środków w rozwój odnawialnych źródeł energii niż w roku 1995. Wartość inwestycji sięgnęła 30 mld USD, co stanowiło około 20% całkowitych inwestycji w sektorze energetycznym. Środki te pochodziły z różnorodnych źródeł publicznych i prywatnych. Inwestorzy zaczynają coraz wyraźniej dostrzegać duży potencjał tkwiący w energetyce odnawialnej. Na finansowaniu odnawialnych źródeł energii koncentrują się zarówno duże banki komercyjne, jak i prywatni inwestorzy. Powstają ponadto liczne fundusze celowe nakierowane na rozwój energetyki odnawialnej, m.in. German Development Finance Group (KfW), World Bank Group i Global Environment Facility (GEF). Polityka energetyczna UE i wynikające z niej zapisy prawa wspólnotowego nakładają na państwa członkowskie UE obowiązek zwiększenia udziału odnawialnych źródeł energii (OZE) w całości produkowanej i zużywanej energii. W 2010 roku ma nastąpić wzrost udziału OZE w całkowitym zużyciu energii przez państwa członkowskie do 12%. Dla Polski ustalono tzw. wskaźnik referencyjny udziału OZE, który ma wynieść 7,5% krajowego zużycia energii elektrycznej brutto do 2010 roku [Piwowarski, Lipka 2008]. Mając powyższe na uwadze, zdecydowano, iż ze środków unijnych dostępnych w okresie budżetowym 2007-2013 znaczna część funduszy zostanie przeznaczona na wsparcie produkcji energii ze źródeł odnawialnych. Do szerokiego grona beneficjentów funduszy europejskich dołączą więc podmioty, realizujące inwestycje w zakresie OZE (np. przedsiębiorcy, jednostki samorządowe itp.) Oprócz energii z wiatru czy wody do odnawialnych źródeł energii zalicza się również znana od dawna, ale od kilkunastu lat ciesząca się coraz większą popularnością - biomasa.

Szukając źródeł finansowania umożliwiających wsparcie produkcji energii z biomasy, każdy potencjalny inwestor powinien przeanalizować dokumenty związane z takimi potencjalnymi źródłami jak:

1. Program Operacyjny Infrastruktura i Środowisko [Warszawa, grudzień 2007],
2. 16 regionalnych programów operacyjnych właściwych, w zależności od miejsca realizacji projektu, dla 16 województw [www.agroenergetyka.pl],
3. Program Rozwoju Obszarów Wiejskich [Warszawa, lipiec 2007],
4. Dopłaty bezpośrednie [www.arimr.gov.pl].

Zamieszczona poniżej charakterystyka programów, w ramach których przewidziano współfinansowanie produkcji oraz przetwarzania biomasy i które swym zakresem czasowym obejmują obecny okres akcesyjny tj. 2007-2013. W tym miejscu należy zaznaczyć, iż celowo nie uwzględniono dokładnych terminów realizacji (otwarcia konkursów), gdyż w wielu przypadkach ją one wyznaczane w miarę realizacji przyjętych szczegółowych celów projektów. Tym samym zdarza się, iż w tym zakresie mają miejsce przesunięcia czasowe. Nie oznacza to jednak że brak jest aktualnych informacji. Śledząc aktualności na stronach poszczególnych jednostek administracji państwowej odpowiedzialnych za realizację poszczególnych działań, można dotrzeć do harmonogramów realizacji programów oraz wszelkich wprowadzonych zmian.

Ad. 1. Program Operacyjny Infrastruktura i Środowisko (POIiŚ)

Ma na celu podniesienie atrakcyjności inwestycyjnej Polski i jej regionów poprzez rozwój infrastruktury technicznej przy równoczesnej ochronie i poprawie stanu środowi-

ska, zdrowia, zachowaniu tożsamości kulturowej i rozwijaniu spójności terytorialnej. Jak wskazano w postanowieniach POIiŚ, jego cechę stanowi integralne ujęcie problematyki obejmującej zarówno infrastrukturę techniczną, jak też ważne elementy infrastruktury społecznej. Program finansowany jest z dwóch źródeł: Funduszu Spójności oraz Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

W realizację POiIŚ zaangażowana zostanie niebagatelna kwota 36,3 mld €, co stanowi blisko połowę wszystkich środków publicznych zaangażowanych we wdrażanie funduszy unijnych w Polsce. Co istotne, w ramach programu na wsparcie mogą liczyć - z pewnymi ograniczeniami, duże przedsiębiorstwa. Dla przedsiębiorców chcących rozwijać się dzięki wsparciu unijnemu w obszarze energetyki, przewidziano wiele różnorodnych działań, o łącznym budżecie ponad 3 mld €.

Wskazany w celu ogólnym program ma zostać zrealizowany dzięki celom szczegółowym wśród których jeden z głównych brzmi: zapewnienie długookresowego bezpieczeństwa energetycznego Polski poprzez dywersyfikację dostaw, zmniejszenie energochłonności gospodarki i rozwój odnawialnych źródeł energii.

Do realizacji wszystkich celów wyznaczono XV priorytetów wokół których zbudowana jest struktura programu. Sektor energetyczny, jako jedna z najważniejszych gałęzi polskiej gospodarki, wspierany będzie przy wykorzystaniu zasobów z dwóch osi priorytetowych, to jest (IX i X):

Priorytet IX: Infrastruktura energetyczna przyjazna środowisku, którego zadaniem jest poprawa bezpieczeństwa energetycznego państwa w zakresie oddziaływania sektora energetyki na środowisko.

Charakterystyka wybranych działań w ramach priorytetu IX w których przewidziano dofinansowanie inwestycji bezpośrednio lub pośrednio związanych z produkcją lub wykorzystaniem biopaliw.

Działanie 9.4. „Wytwarzanie energii ze źródeł odnawialnych"

Wzrost wykorzystywania źródeł odnawialnych do produkcji energii elektrycznej i cieplnej z tych źródeł stanowi cel Działania 9.4 POIiŚ. Oprócz wymiernego efektu środowiskowego, niniejsze działanie ma przyczynić się także do rozwoju regionalnego poprzez zagospodarowanie lokalnych zasobów odnawialnych oraz zwiększenie liczby miejsc pracy. Działanie posłuży również do realizacji postanowień Dyrektywy 2001/ 77/WE w sprawie promocji na rynku wewnętrznym energii elektrycznej produkowanej z odnawialnych źródeł energii (OZE).

Beneficjentami mogą być: przedsiębiorcy, jednostki samorządu terytorialnego i ich związki, podmioty wykonujące usługi publiczne na podstawie umowy zawartej z jednostką samorządu terytorialnego, w których większość udziałów lub akcji posiada samorząd terytorialny, podmioty wybrane w wyniku postępowania przeprowadzonego na podstawie przepisów o zamówieniach publicznych, wykonujące usługi publiczne na podstawie umowy zawartej z jednostką samorządu terytorialnego.

Wśród projektów, które mogą zostać zrealizowane w ramach niniejszego działnia znajduje się wskazana w Uszczegółowieniu POIiŚ budowa elektrowni na biomasę lub biogaz.

Zakresem działania nie są objęte technologie współspalania paliw kopalnych z biomasą lub biogazem.

Alokacja finansowa na Działanie 9.4. ogółem wynosi 1 762,31 mln €. Maksymalny udział środków UE w kosztach kwalifikowanych projektu określony został na poziomie 20%. Minimalna wartość projektu wynosi 20 mln PLN, z wyjątkiem inwestycji w zakresie wytwarzania energii elektrycznej z biomasy lub biogazu oraz w zakresie budowy lub rozbudowy małych elektrowni wodnych, gdzie wartość ta wynosi 10 mln PLN. Nie określono dolnej ani górnej granicy dofinansowania projektu.

Działanie 9.5. „Wytwarzanie biopaliw ze źródeł odnawialnych"

Celem Działania 9.5. jest zwiększenie wytwarzania biokomponentów i biopaliw. Wdrażanie działania przyczynić się ma również do przyspieszenia realizacji zobowiązań wynikających z Dyrektywy *20031301WE* w sprawie promowania użycia w transporcie biopaliw lub innych paliw odnawialnych. Oprócz wymiernego efektu środowiskowego, niniejsze działanie ma przyczynić się także do rozwoju regionalnego poprzez zagospodarowanie lokalnych zasobów odnawialnych oraz zwiększenie liczby miejsc pracy.

Beneficjentami działania będą wyłącznie przedsiębiorcy. Przykładowe typy projektów, wskazane w Uszczegółowieniu POIiŚ to budowa zakładu/instalacji do produkcji biokomponentów, np. ester metylowy kwasów tłuszczowych, instalacji do produkcji biogazu.

Alokacja finansowa na Działanie 9.5. ogółem wynosi niemal 235 mln €. Maksymalny udział środków UE w kosztach kwalifikowanych projektu określony został na poziomie 30%. Minimalna wartość projektu wynosi 20 mln PLN. Nie określono dolnej ani górnej granicy dofinansowania projektu.

Działanie 9.6. „Sieci ułatwiające odbiór energii ze źródeł odnawialnych"

Ostatnie z opisywanych działań w ramach priorytetu IX, ma na celu ułatwienie rozwoju energetyki odnawialnej poprzez budowę sieci umożliwiających odbiór energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych. Efektem działania ma być także zniesienie istotnej bariery dla rozwoju energetyki odnawialnej, jaką jest brak dostatecznie rozwiniętych sieci przesyłowych i dystrybucyjnych na obszarach, gdzie budowane są jednostki wytwarzania energii elektrycznej z OZE .

Beneficjentami mogą być:_przedsiębiorcy, jednostki samorządu terytorialnego i ich związki, podmioty wykonujące usługi publiczne na podstawie umowy zawartej z jednostką samorządu terytorialnego, w których większość udziałów lub akcji posiada samorząd terytorialny, podmioty wybrane w wyniku postępowania przeprowadzonego na podstawie przepisów o zamówieniach publicznych, wykonujące usługi publiczne na podstawie umowy zawartej z jednostką samorządu terytorialnego.

Alokacja finansowa na Działanie 9.6 ogółem wynosi 55,29 mln €. Maksymalny udział środków UE w kosztach kwalifikowanych projektu określony został na poziomie 85%. Minimalna wartość projektu wynosi 20 mln PLN. Nie określono dolnej ani górnej granicy dofinansowania projektu.

Priorytet* X: *Bezpieczeństwo energetyczne, w tym dywersyfikacja źródeł energii, ukierunkowany na poprawę bezpieczeństwa energetycznego państwa poprzez tworzenie nowych zdolności przesyłowych i transportowych energii elektrycznej, gazu ziemnego i ropy naftowej oraz rozbudowę podziemnych magazynów gazu ziemnego, a także poprzez zapewnienie dostępności sieci gazowej na terenach niezgazyfikowanych i modernizację istniejących sieci dystrybucji.

Działaniami Priorytetu X poza projektami polegającymi na rozwoju systemów przesyłowych i dystrybucyjnych energii elektrycznej, gazu ziemnego, ropy naftowej, dofinansowanie obejmie także produkujący urządzenia służące do produkcji paliw i energii ze źródeł odnawialnych. Dla wsparcia celu, jakim jest rozwój przemysłu produkującego urządzenia służące do produkcji paliw i energii ze źródeł odnawialnych przewiduje się również możliwość współfinansowania ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego inwestycji przedsiębiorstw w zakresie produkcji urządzeń dla OZE np. turbin, śmigieł, wież, kotłów na biomasę, kolektorów słonecznych, pomp ciepła, co przyczyni się do szybszego osiągnięcia celów w zakresie OZE i wzmocnienia bezpieczeństwa energetycznego kraju poprzez dywersyfikację źródeł energii.

Działanie 10.3. Rozwój przemysłu dla odnawialnych źródeł energii

Cel działania: Ułatwienie dywersyfikacji źródeł energii oraz rozwoju energetyki odnawialnej poprzez wsparcie przemysłu produkującego urządzenia służące do wytwarzania paliw i energii ze źródeł odnawialnych. Wsparcie w ramach działania będzie kierowane na budowę nowoczesnych linii technologicznych wytwarzających urządzenia wykorzystywane do produkcji energii elektrycznej i cieplnej ze źródeł odnawialnych oraz biokomponentów i biopaliw określonych w ustawie z dnia 25 sierpnia 2006 roku o biokomponentach i biopaliwach ciekłych (Dz.U. Nr 169, poz. 1199 z późn. zm.). W ramach działania wsparcie uzyskać mogą inwestycje polegające na budowie zakładów produkujących urządzenia do wytwarzania:

- energii elektrycznej z wiatru, wody w małych elektrowniach wodnych do 10 MW, biogazu i biomasy,
- ciepła przy wykorzystaniu biomasy oraz energii geotermalnej i słonecznej,
- energii elektrycznej i ciepła w kogeneracji przy wykorzystaniu wyłącznie biomasy lub energii geotermalnej.
- biokomponentów oraz biopaliw stanowiących samoistne paliwa, z wyłączeniem urządzeń do produkcji biopaliw stanowiących mieszanki z paliwami ropopochodnymi, produkcji bioetanolu z produktów rolnych oraz czystego oleju roślinnego.

Rolą tego działania jest ułatwienie i zmniejszenie kosztów nabywania urządzeń do budowy jednostek wytwarzania paliw i energii ze źródeł odnawialnych, o których mowa w działaniach 9.4 i 9.5. Wynikiem realizacji działania oprócz efektu środowiskowego będzie również zwiększenie ilości miejsc pracy.

Wysokość wsparć maksymalnie może wynieść 30% wydatków kwalifikowalnych, ale nie więcej niż 30 mln PLN. Minimalna wartość projektu – 20 mln PLN. Jako beneficjentów przewidziano przedsiębiorców.

Przykładowe projekty:

Budowa zakładów produkujących urządzenia do wytwarzania energii elektrycznej z biogazu i biomasy lub ciepła przy wykorzystaniu biomasy.

Ad.2. Regionalne programy operacyjne

Mniejsze projekty w zakresie biomasy, które ze względu na swoją wartość nie mogą zostać objęte wsparciem w ramach opisanych powyżej działań POiIŚ, mogą zostać dofinansowane z regionalnych programów operacyjnych (RPO). RPO właściwym dla danego projektu jest Program dla województwa, w którym dany projekt będzie zlokalizowany. Nie wszystkie województwa wyszczególniły specjalne działania na wsparcie inwestycji z za-

kresu odnawialnych źródeł energii dla przedsiębiorstw. W niektórych województwach istnieje możliwość wsparcia takich projektów z działań dotyczących ochrony środowiska, pozostałe natomiast nakazują startować firmom do konkursów wraz z innymi inwestycjami przedsiębiorstw. Co do zasady projekty o niższej wartości (mniej niż 20 mln PLN oraz w przypadku wytwarzania energii elektrycznej z biomasy lub biogazu) mogą otrzymać wsparcie na nową inwestycję w zakresie Odnawialnych Źródeł Energii z 16 Regionalnych Programów Operacyjnych wdrażanych na poziomie poszczególnych województw (tab. 4). Wszystkie regiony stosują konkursową procedurę wyłaniania dofinansowywanych operacji dla przedsiębiorstw.

O wyborze konkretnego Regionalnego Programu Operacyjnego decyduje lokalizacja inwestycji (zdarza się również, iż konieczna jest siedziba Wnioskodawcy na terenie danego województwa). Przykładowo jeśli firma będzie chciała wybudować biogazownie w Jaśle (woj. podkarpackie) o wartości 5 mln złotych, należy skorzystać z Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Podkarpackiego. Inny przykład mamy w woj. mazowieckim, gdzie spośród działań wymienionych w Uszczegółowieniu do RPO, na wsparcie przedsiębiorców dokonujących inwestycji w zakresie biomasy nakierowane jest Działanie 4.3. Ochrona powietrza, energetyka, którego celem jest m.in. zwiększenie wykorzystania odnawialnych źródeł energii. Wsparcie w ramach Działania 4.3. może zostać m.in. przyznane na budowę, rozbudowę, modernizację infrastruktury do produkcji energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych (np. z biomasy).

Tabela.4. Możliwości finansowania inwestycji z funduszy unijnych z zakresu odnawialnych źródeł

WOJEWÓDZTWO	DZIAŁANIE	ALOKACJA FINANSOWA (w mln euro)
Dolnośląskie	5.1 – Alternatywne źródła energii	21,7
Kujawsko-Pomorskie	2.4 – Infrastruktura energetyczna przyjazna środowisku	36,0
Lubelskie	6.2 – Energia przyjazna środowisku	23,3
Lubuskie	3.2 – Poprawa jakości powietrza, efektywności energetycznej oraz rozwój i wykorzystanie OZE	18,6
Łódzkie	2.9 – Odnawialne źródła energii	32,2
Małopolskie	7.2 – Poprawa jakości powietrza i zwiększenie wykorzystanie OZE	28,7
Mazowieckie	4.3 – Ochrona powietrza, energetyka	146,8
Opolskie	4.3 – Ochrona powietrza, OZE	20,1
Podkarpackie	2.2 – Infrastruktura energetyczna	63,8
Podlaskie	5.1 – Rozwój regionalnej infrastruktury ochrony środowiska	38,5
Pomorskie	5.4 – Rozwój energetyki opartej na źródłach odnawialnych	16,5
Śląskie	5.3 – Czyste powietrze i odnawialne źródła energii	57,8
Świętokrzyskie	4.1 – Rozwój regionalnej infrastruktury ochrony środowiska i energetycznej	59,8
Warmińsko-Mazurskie	6.2 – Ochrona środowiska przez zanieczyszczeniami i zniszczeniami	44,9
Wielkopolskie	3.7 – Zwiększenie wykorzystania odnawialnych zasobów energii	20,6
Zachodniopomorskie	4.1 – Energia odnawialna i zarządzanie energią	21,0

Źródło: www.pnoconsultants.com/countries/pl

Generalnie regionalne programy wspierają:

- budowę, rozbudowę i modernizację infrastruktury służącej do produkcji i przesyłu energii odnawialnej o wartości do 20 mln PLN,
- inwestycji wykorzystujących nowoczesne technologie oraz know how w zakresie wykorzystania odnawialnych źródeł energii o wartości do 20 mln PLN,
- budowy i modernizacji sieci elektroenergetycznych umożliwiających przyłączanie jednostek wytwarzania energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych o wartości do 20 mln PLN.

Ad.3. Program Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2007 -2013

Kolejnym z programów unijnych, w ramach którego możliwe jest dofinansowanie produkcji biopaliw jest Program Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2007-2013 (PROW 2007-2013). Program ten jest częścią przyjętej w UE polityki rozwoju obszarów wiejskich, jej uzupełnieniem jest Wspólna Polityka Rolna, która współfinansuje produkcję biomasy (szczegółowe omówienie w dalszej części rozdziału).

Zgodnie z przepisami Rozporządzenia Rady (WE) 1698/2005 z dnia 20 września 2005 r. w sprawie wsparcia rozwoju obszarów wiejskich przez Europejski Fundusz Rolny na rzecz Rozwoju Obszarów Wiejskich (EFRROW), poziom pomocy ze środków EFRROW wynosi maksymalnie 75 proc. Kosztów kwalifikowalnych inwestycji. Natomiast, co najmniej 25 proc. kosztów kwalifikowanych pochodzi ze środków własnych beneficjenta. Maksymalna kwota wsparcia na realizację projektów w zakresie wytwarzania lub dystrybucji energii ze źródeł odnawialnych w jednej gminie w okresie realizacji programu nie może przekroczyć 3 mln PLN. PROW 2007-2013 finansowany jest z Europejskiego Funduszu Rolnego na rzecz Rozwoju Obszarów Wiejskich, jego łączny budżet wynosi 17,2 mld €. [Rozporządzenie Ministra RiRW z dnia 14 marca 2008]. Opiera się on na realizacji poszczególnych działań skupionych wokół 4 osi, współfinansowanie rozwoju działalności z zakresu energii odnawialnej w tym bipaliw należy poszukiwać w ramach działań przewidzianych w osi 1 i 3.

Oś 1 (gospodarcza): wsparcie konkurencyjności sektora rolnego i leśnego w ramach której realizowane jest działanie: Zwiększanie wartości dodanej podstawowej produkcji rolnej i leśnej

Beneficjent: osoba fizyczna, osoba prawna, jednostka organizacyjna nie posiadająca osobowości prawnej, która:

- wykonuje działalność w zakresie przetwórstwa lub wprowadzania do obrotu produktów rolnych,
- działa jako przedsiębiorca wykonujący działalność jako małe lub średnie przedsiębiorstwo lub przedsiębiorstwo zatrudniające mniej niż 750 pracowników, lub przedsiębiorstwo, którego obrót nie przekracza równowartości w złotych 200 mln €.

Kryteria dostępu:

- inwestycja spełnia wszystkie wymagania określone przepisami prawa mające do niej zastosowanie,
- podmiot, którego dotyczy inwestycja, wykazuje żywotność ekonomiczną,
- jeśli inwestycja zakłada wzrost mocy produkcyjnych, ponadto warunkiem przyznania pomocy jest wykazanie możliwości zbytu planowanej produkcji,
- inwestycje dotyczące handlu detalicznego nie są wspierane,

– wspierane są projekty realizowane przez zakłady, które zaopatrują się w surowce na podstawie umów długoterminowych zawieranych z producentami rolnymi.

Poziom wsparcia w odniesieniu do biopaliw może wynosić:

1. 25% kosztów inwestycji kwalifikującej się do wsparcia, realizowanej przez przedsiębiorcę, który nie jest małym lub średnim przedsiębiorcą,

2. 40% kosztów inwestycji kwalifikującej się do objęcia pomocą, realizowanej przez przedsiębiorcę wykonującego działalność jako małe lub średnie przedsiębiorstwo,

3. 50% kosztów inwestycji kwalifikującej się do objęcia pomocą, realizowanej przez przedsiębiorcę wykonującego działalność jako małe lub średnie przedsiębiorstwo:

– który zaopatruje się w surowce na podstawie umów długoterminowych, zawieranych z grupami producentów rolnych lub wstępnie uznanymi grupami względnie,
– który jest zarejestrowany jako grupa producentów rolnych lub ich związek lub wstępnie uznana grupa, lub uznana organizacja producentów owoców i warzyw, a także,
– który realizuje projekt dotyczący przetwarzania produktów rolnych na cele energetyczne.

Rodzaj inwestycji:

I. Inwestycje materialne obejmują budowę, modernizację lub przebudowę budynków lub budowli stanowiących infrastrukturę zakładów przetwórstwa lub handlu hurtowego produktami rolnymi, zakup lub instalację maszyn lub urządzeń do przetwarzania, magazynowania lub przygotowania produktów do sprzedaży, zakup lub instalację aparatury pomiarowej, kontrolnej oraz sprzętu do sterowania procesem produkcji lub magazynowania, zakup specjalistycznych środków transportu, zakup lub instalację urządzeń służących poprawie ochrony środowiska.
II. Inwestycje niematerialne obejmują zakup oprogramowania służącego zarządzaniu przedsiębiorstwem oraz sterowaniu procesem produkcji i magazynowania, wdrożenie procedury systemów zarządzania jakością, przygotowanie dokumentacji technicznej projektu, przygotowanie biznesplanu, opłaty za patenty lub licencje, koszty nadzoru urbanistycznego, architektonicznego, budowlanego lub konserwatorskiego.

Wysokość pomocy przyznana w okresie realizacji PROW jednemu beneficjentowi maksymalnie może wynosić 20 mln PLN. Wielkość pomocy przyznanej na realizację jednego projektu nie może być niższa niż 100 tys. PLN. Pomoc ma formę refundacji.

Oś 3 (społeczna) Jakość życia na obszarach wiejskich i różnicowanie gospodarki wiejskiej w ramach której realizowane jest działanie: Różnicowanie w kierunku działalności nierolniczej. Beneficjent - osoba fizyczna: rolnik, małżonek rolnika lub domownik.

Pomocy w odniesieniu do produkcji biopaliw udziela się z tytułu podjęcia lub rozwoju działalności w zakresie: wytwarzania materiałów energetycznych z biomasy;

Pomoc może być przyznana, jeżeli projekt jest uzasadniony pod względem ekonomicznym, spełnia wymagania wynikające z obowiązujących przepisów prawa, jedno z miejsc wykonywania działalności gospodarczej beneficjenta, zlokalizowane jest na obszarach wiejskich, tzn.: w miejscowościach należących do gminy wiejskiej, albo w miejscowościach należących do gminy miejsko-wiejskiej, poza miastem liczącym powyżej 5 tys. mieszkańców, albo w mieście o liczbie mieszkańców mniejszej niż 5 tysięcy, wiąże się z możliwością zatrudnienia w ramach podjętej albo rozwijanej działalności nierolniczej.

Poziom pomocy wynosi maksymalnie 50% kosztów kwalifikowalnych projektu. Maksymalna wysokość pomocy udzielonej jednemu beneficjentowi i na jedno gospodarstwo rolne w ramach działania, w okresie realizacji Programu, nie może przekroczyć 100 tys. PLN.

Oś 3 (Społeczna) Jakość życia na obszarach wiejskich i różnicowanie gospodarki wiejskiej w ramach której realizowane jest działanie: Tworzenie i rozwój mikroprzedsię-

biorstw. Beneficjent: osoby fizyczne, prawne lub jednostki organizacyjne nie posiadające osobowości prawnej, prowadzące działalność jako mikroprzedsiębiorstwo zatrudniające poniżej 10 osób i mające obrót nie przekraczający równowartości w zł 2 mln €.

Pomoc udzielana będzie na realizację projektów w zakresie tworzenia lub rozwijania mikroprzedsiębiorstw. Pomocy w odniesieniu do produkcji biopaliw udziela się z tytułu podjęcia lub rozwoju działalności w zakresie wytwarzania materiałów energetycznych z biomasy.

Poziom pomocy finansowej wynosi maksymalnie 50% kosztów kwalifikowanych

Wysokość pomocy przyznanej na realizację operacji nie może przekroczyć:

– 100 000 PLN (25 616,1 €) - jeśli biznes plan przewiduje utworzenie od 1 do 2 miejsc pracy co jest uzasadnione zakresem rzeczowym operacji,
– 200 000 PLN (51 232,1 €) - jeśli biznes plan przewiduje utworzenie od 2 do 5 miejsc pracy co jest uzasadnione zakresem rzeczowym operacji,
– 300 000 PLN (76 848,2 €) jeśli biznes plan przewiduje utworzenie co najmniej 5 miejsc pracy co jest uzasadnione zakresem rzeczowym operacji.

Maksymalna wysokość pomocy udzielonej jednemu beneficjentowi, w okresie realizacji programu nie może przekroczyć 300 000 PLN (76 848,2 €). Pomoc ma formę zwrotu części kosztów kwalifikowanych operacji.

Ad. 4. Dopłaty bezpośrednie do uprawy roślin energetycznych

W latach 2007-2009 Agencja Rynku Rolnego i Agencja Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa realizowały mechanizm WPR dotyczący wsparcia finansowego w sektorze roślin energetycznych. Agencja Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa była odpowiedzialna przede wszystkim za rozpatrywanie składanych przez rolników, wniosków o przyznanie płatności do upraw roślin energetycznych oraz wypłatę tej płatności.

W związku ze zmianą przepisów prawa wspólnotowego, rok 2009 był ostatnim rokiem, w którym rolnicy mogli ubiegać się w Agencji Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa o płatność do upraw roślin energetycznych. Rośliny energetyczne zebrane w 2009 r. i objęte ww. płatnością powinny zostać przetworzone na końcowe produkty energetyczne zgodnie z ich przeznaczeniem najpóźniej do 31 lipca drugiego roku po roku zbiorów, tj. 31 lipca 2011 roku.

Zmianie uległy warunki kwalifikowania do jednolitej płatności obszarowej tzw. „zagajników o krótkiej rotacji". Do tej kategorii zakwalifikowano uprawę jednolitego gatunku drzew na odrębnej działce rolnej o powierzchni minimum 0,10 ha. Przyznaje się tę płatność do następujących gatunków drzew: wierzba, topola, brzoza i robinia akacjowa.

Płatności bezpośrednich po które mogli sięgnąć producenci roślin energetycznych przyznawane rolnikom oraz stawki płatności na rok 2009:

– jednolita płatność obszarowa (JPO) – 506,98 PLN/ha,
– krajowe uzupełniające płatności obszarowe (UPO), w tym:
  - płatność do grupy upraw podstawowych – 356,47 PLN/ha,
  - płatność do upraw roślin energetycznych – 190,33 PLN/ha,
  - pomoc do rzepaku – 176 PLN/ha.

Sumując dostępne w tamtym okresie dopłaty, producent roślin energetycznych mógł liczyć na dofinansowanie swojej działalności w wysokości 1053,78 PLN/ha. W gospodarstwach gdzie strukturze zasiewu jako roślina energetyczna znalazł się rzepak wartość tą należało zwiększyć o 176 PLN/ha. W tym miejscu należy również wspomnieć od już nie

istniejącej (ostatnia edycja 2009 r.) dopłacie do zakładania plantacji, stawki której zamieszczono w tabeli 5.

Zważywszy na, fakt iż w wielu przypadkach rośliny energetyczne są roślinami wieloletnimi, a pierwszy plon nie zawsze producent uzyskuje już pierwszym roku produkcji, podjęcie decyzji o ukierunkowanie produkcji na tego typu rośliny wiąże się z wieloletnim planem działania. Niewątpliwie w tego typu planach producenci uwzględniali możliwość pozyskiwania dopłat o których mowa powyżej, stąd należy wnioskować, iż poczynione zmiany, których konsekwencją jest brak dopłat bezpośrednich oraz na zakładanie plantacji może niekorzystnie wpłynąć na wzrost intensywności produkcji tej grupy roślin.

Tabela 5. Wysokość pomocy do 1 ha założonej plantacji trwałej w zależności od rodzaju rośliny w roku 2009

Lp.	Rodzaj rośliny	Zryczałtowany koszt założenia 1 ha	Wysokość pomocy do 1 ha założonej plantacji	
			% zryczałtowanych kosztów	PLN
1.	Wierzba (Salix sp.)	8 600 PLN	50%	4 300 PLN
2.	Topola (Populus sp.)	8 400 PLN	30%	2 520 PLN
3.	Miskant (Miscanthus sp.)	18 000 PLN	40%	7 200 PLN
4.	Ślazowiec pensylwański (Sida hermaphrodita)	10 200 PLN	40%	4 080 PLN

...Źródło: www.pnoconsultants.com/countries/pl

Zważywszy na okres zobowiązań wobec dotychczasowych beneficjentów w niniejszej pracy przedstawiono wybrane dotychczasowe zasady dotyczące dopłat bezpośrednich do roślin energetycznych oraz dofinansowania zakładania plantacji.

Płatność do upraw energetycznych dotyczyły roślin:

– przeznaczonych do przetworzenia na produkty energetyczne
– przeznaczonych do wykorzystania lub przetworzenia na cele energetyczne w gospodarstwie

Do powierzchni uprawy roślin energetycznych przysługiwała także jednolita płatność obszarowa oraz, w zależności od rośliny uprawnej - uzupełniająca płatność do grupy upraw podstawowych, pod warunkiem, że grunty, na których są uprawiane te rośliny były utrzymywane w dobrej kulturze rolnej na dzień 30 czerwca 2003 r.

Powierzchnia referencyjna w UE na 2009 r. wynosiła 2 mln ha. W przypadku, gdy powierzchnia, dla której wnioskowana jest pomoc, przekroczy maksymalną powierzchnię gwarantowaną, powierzchnia przypadająca na rolnika, dla której wnioskowana jest pomoc jest proporcjonalnie zmniejszana w danym roku.

Plon reprezentatywny:

– plon, który należało osiągnąć dla każdego gatunku roślin energetycznych,
– corocznie ogłaszany w drodze rozporządzenia Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi, przy uwzględnieniu średnich plonów poszczególnych gatunków roślin energetycznych uzyskiwanych z jednego hektara uprawy tych roślin.

Warunki przyznawania płatności do upraw roślin energetycznych

Płatności do upraw roślin energetycznych, przyznawane były rolnikowi, jeżeli:
- posiadał działki rolne o łącznej powierzchni nie mniejszej niż 0,3 ha;
- utrzymywał wszystkie grunty rolne zgodnie wymogami dobrej kultury rolnej (zgodnie z normami) w ciągu całego roku kalendarzowego, w którym został złożony wniosek o przyznanie płatności;
- został mu nadany numer identyfikacyjny w trybie przepisów o krajowym systemie ewidencji producentów, ewidencji gospodarstw rolnych oraz ewidencji wniosków o przyznanie płatności.

Wniosek powinien był zostać złożony w terminie od 15 marca danego roku. do 15 maja w danym roku. Możliwe było także złożenie wniosku po terminie (do 25 dni), które prowadziło do zmniejszenia płatności, o 1 % za każdy dzień roboczy, kwot do których rolnik byłby uprawniony jeżeli wniosek o pomoc zostałby złożony w terminie.

Wnioski złożone po 25 dniach kalendarzowych nie były rozpatrywane. Wnioski składane były w biurze powiatowym ARiMR właściwym ze względu na miejsce zamieszkania lub siedzibę rolnika. Płatności były przekazywane raz w roku w okresie od 1 grudnia do 30 czerwca kolejnego roku kalendarzowego. Art. 28 ust. 2 rozporządzenia Rady (WE) nr 1782/2003.

Dofinansowanie zakładania plantacji roślin energetycznych

Zasady uruchomionego w latach 2007-2009 przez Agencję Rynku Rolnego mechanizmu „Pomoc do plantacji trwałych" kosztów poniesionych przez rolnika z tytułu założenia plantacji wieloletnich roślin energetycznych.

Uczestnik mechanizmu

O pomoc do plantacji trwałych mógł ubiegać się Rolnik (osoba fizyczna lub prawna, bądź grupa osób fizycznych lub prawnych, bez względu na status prawny takiej grupy i jej członków), który prowadzi działalność rolniczą na terytorium Polski, jest zarejestrowany w Centralnym Rejestrze Przedsiębiorców (CRP) prowadzonym przez ARR.

Przedmiot dopłaty

Rodzaje roślin objętych pomocą do plantacji trwałych to: wierzba (Salix sp.), topola (Populus sp.), miskant (Miscanthus sp.), ślazowiec pensylwański (Sida hermaphrodita).

Stawki dopłat

Przysługiwała kwota pomocy wyliczona będzie w oparciu o zryczałtowane koszty założenia 1 ha plantacji danego rodzaju rośliny energetycznej, określone w rozporządzeniu Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi.

Wybrane warunki przyznawania pomocy

Pomoc do plantacji trwałych przyznawana jest, jeżeli plantacja:
- obejmuje obszar co najmniej 1 ha, a nie przekracza 100 ha,
- nie została założona na trwałych użytkach zielonych,

– jest objęta wnioskiem o przyznanie płatności do upraw roślin energetycznych za rok, w którym plantacja została założona lub za rok następujący po roku założenia plantacji,
– została założona zgodnie z wymogami agrotechniki.

Wniosek o przyznanie pomocy do plantacji trwałych powinien zostać złożony w terminie do 3 miesięcy od dnia złożenia, w Biurze Powiatowym ARiMR, wniosku o przyznanie płatności do upraw roślin energetycznych.

Na chwilę obecną Agencja Rynku Rolnego jest nadal odpowiedzialna za:
– nadzorowanie procesu skupu i przetwórstwa roślin energetycznych na końcowe produkty energetyczne,
– zatwierdzanie podmiotów skupujących i pierwszych jednostek przetwórczych.

Poza wymienionymi powyżej formami wsparcia analiza możliwości finansowania powinna także uwzględniać pożyczki preferencyjne, np. z Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, a także możliwości związane z inicjatywą finansowania odnawialnych źródeł energii przez NFOŚiGW w formie dotacji.

Szansa na otrzymanie wsparcia jest uzależniona nie tylko od spełnienia kryteriów dostępu do pomocy finansowej (np. wartość projektu, rodzaj projektu, rodzaj beneficjenta), ale również od spełnienia wymogów formalnych, takich jak skompletowanie niezbędnych załączników do dokumentacji aplikacyjnej czy też złożenie wniosku w terminie wyznaczonym na składanie wniosków w danej rundzie aplikacyjnej.

Szansa na pozyskanie wsparcia jest również uzależniona od wyczerpania się puli alokacji finansowej przewidzianej na dane działanie. Niezależnie od szczegółowych reguł naboru wniosków największe szanse na sukces, tj. otrzymanie dotacji, mają wnioski, nad którymi prace rozpocznie się odpowiednio wcześniej, przygotowując harmonogram inwestycji, biznesplan, kompletując wymagane załączniki (w tym niezbędne pozwolenia środowiskowe), a także odpowiednio uzasadniając i prezentując aspekty finansowe (w tym potwierdzenie źródeł finansowania) i celowość projektu.

Bibliografia

Batel W. et al. 1980. Pflanzenöle für die Kraftstoff – und Energieversorgung. Grundl. Landtechnik, nr 2.

Dreszer K., Michałek R., Roszkowski A. 2003. Energia odnawialna - możliwości jej pozyskania i wykorzystania w rolnictwie. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Kraków.

Duffied J.A., Collings K. 2006. Evolution of renewable energy policy. CHOICES. The magazine of food, farm and resource issues. American Agricultural Economics Association. 21 (1).

Ebert H.P. 2003. Palenie drewnem we wszystkich rodzajach pieców. Studio Astro-psychologii, Białystok.

Faber A., Kuś J., Matyka M. 2009. Uprawa roślin na potrzeby energetyki. Polska Konfederacja Pracodawców Prywatnych, zlecenie wydawnictwa: Vattenfall Heat Poland.

Gahr H. 2008. Energie aus dem Wald- eine ökologische Pflicht, ein ökonomisches Ziel. Landtechnik im Alpenraum; ART-Schriftenreihe 7. Agroscope Reckenholz - Tänikon ART, Szwajcaria.

Gallagher P.W. 2006. Energy Production with Biomass: What are the Prospects? CHOICES. The magazine of food, farm and resource issues. American Agricultural Economics Association. 21 (1).

Gradziuk P. i in. 2002. Biopaliwa. Wydawnictwo Wieś Jutra Sp. z o.o., Warszawa.

Grzybek A., Gradziuk P., Kowalczyk K. 2001. Słoma. Energetyczne paliwo. Wydawnictwo Wieś Jutra Sp. z o.o., Warszawa.

Jóźwiak D., Szlęk A. 2006. Ocena oleju rzepakowego jako paliwa kotłowego. Energetyka, 6.

Juliszewski T. 1994. Ograniczenia produkcji oleju napędowego z olejów roślinnych. Materiały konferencji "Rozwój teorii i technologii w technicznej modernizacji rolnictwa". ART Olsztyn.
Juliszewski T. 2007. Energetyczne samozaopatrzenie rolnictwa. Magazyn Farmerski, nr 5.
Juliszewski T. 2007. The self-supply of energy In agriculture and rural areas. Proceedings of the XXXII CIOSTA-CIGR V Conference "Advances in Labour and Machinery Management for Profitable Agriculture and Forestry", Nitra, Slovakia, pp. 383-388.
Juliszewski T. 2009. Ogrzewanie biomasą. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Poznań.
Juliszewski T., Zając T. 2007. Biopaliwo rzepakowe. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Poznań.
Kampa A.,Wolfensberger U. 2007. Biotreibstoffe. ART-Schriftenreihe 5. Agroscope Reckenholz – Tänikon.
Kurpaska S. 2007. Szklarnie i tunele. Inżynieria i procesy foliowe. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Poznań.
Lasselberger L. 2008. Verbrennung fester Biomasse - Typenprüfung. Landtechnik im Aplenraum; ART-Schriftenreihe 7, Agroscope Reckenholz - Tanikon ART, Szwajcaria.
Lijima W. et al. 2004. Development of New Process of Biodiesel Fuel from Animal Fat. Proceedings of AgEng Conference, Leuven. Belgium.
Maurer K. 1991. Pflanzenölgewinnung und - Verwertung in landwirtschaftlichen Betrieben als Treibstoff. Landtechnik, 12-91.
Mokrzycki E. i in. 2005. Podstawy gospodarki surowcami energetycznymi. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków.
Piwowarski S., Lipka M. 2008. Dotacje unijne na wykorzystanie biomasy do produkcji energii. Gazeta Prawna.
Rinaldi M. 2003. Praktischer Einsatz von Rapsöl-Kerosin-Gemisch als Dieseltreibstoff. FAT-Berichte, Nr. 596, Herausgeber: Eidg. Forschungsanstalt für Betriebswirtschaft und Landtechnik (FAT).
Rinaldi M., Herger E. 1998. Schweitzer Pflanzenölester als Dieseltreibstoff. FAT-Berichte, Nr. 514, Herausgeber: Eidg. Forschungsanstalt für Betriebswirtschaft und Landtechnik (FAT).
Schröfl J. 1991. Biodiesel - Chance und Alternative für die Landwirtschaft. Praktische Landtechnik. 2.
Szczukowski S., Stolarski M., Tworkowski]., Kopaczel M. 2007. Efektywność energetyczna produkcji wierzby krzewiastej w dolinie Dolnej Wisły. Fragmenta Agronomia, nr 4 (96).
Tytko R. 2008. Odnawialne źródła energii. Wybrane zagadnienia (wyd. 3). Wydawnictwo Deka, Kraków.
Wcisło G. 2005. Determining energy value of biodiesel FAME. Proceedings of PTNSS Kongress "The Development of Combustion Engines", Szczyrk, Poland.
Wolfensberger V., Stadler E., Schiess I. 1993. Rapsmethylester als Treibstaff für Dieselmotoren. FAT-Berichte, Nr. 427, Herausgeber: Eidg. Forschungsanstalt für Betriebswirtschaft und Landtechnik (FAT).
Zima T., M. Bela. 2009. Jak pozyskać dotację na projekty wykorzystujące energię odnawialną – szansa dla gmin na rozwój. http://www.pnoconsultants.com/countries/pl/PL/Konferencje-i-Media/ Media/Publikacje-PNO/Pages/
Agencja Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa. www.arimr.gov.pl
Biofuels. Application of biologically derived products as fuels or additives in combustion enginees. Directorate - General XII. Science, Research and Development. EUR 15647 EN. 1994
CIGR Handbook of Agricultural Engineering. Vol. I. Land&Water Engineering. 1999. Published by American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph MI.
CIGR Handbook of Agricultural Engineering. Vol. V. Energy & Biomass Engineering. 1999. Published by American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph MI.
Economic monitoring of fossil use in EU agriculture. ART-Schiftenreihe 2009. Agroscope Reckenholz - Tänikon ART, Szwajcaria.
Heizen mit Holz. 1988. Landeskammer. Steiermark.

http://www.agroenergetyka.pl/?a=article&id=457 Lukratywny ekointeres - biogazownie. Rembowski Łukasz. [dostęp: 01.27.2010]
http://www.agroenergetyka.pl/?a=article&id=457 za Łukaszem Skibą Management & Consulting Group [dostęp: 03.03.2010]
Program Operacyjny Infrastruktura i Środowisko. Narodowe Strategiczne Ramy Odniesienia 2007-2013. Szczegółowy opis priorytetów. Dokument opracowany zgodnie z art. 26 ust. 1 pkt 2 ustawy z dnia 6 grudnia 2006 r. o zasadach prowadzenia polityki rozwoju (tekst jednolity: dz. u. z 2009 r. nr 84, poz. 712) dla programu operacyjnego zatwierdzonego przez komisję europejską decyzją z dnia 7 grudnia 2007 r. oraz uchwałą rady ministrów z dnia 3 stycznia 2008 r.
Program Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2007-2013 (PROW 2007-2013) Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi; Warszawa, lipiec 2007 r.
Protokół z Kioto do Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu, sporządzony w Kioto dnia 11 grudnia 1997 r. (Dz. U. Z dnia 17 października 2005 r.)
Ramowa Konwencja Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu (UN FCCC) . Rio de Janeiro 5 czerwca 1992 roku. (Dz. U. z 1996 r. nr 53, poz. 238)
Roczniki 2005, 2006, 2007, 2008. „Ökoenergie". Europas auflagenstarkste Zeitung für erneuerbare Energien. Österreichischen Biomase-Verband.
Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 14 sierpnia 2008 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii (Dz. U. z 2008 r., Nr 156, poz. 969, z późn. zm.)
Rozporządzenie Ministra RiRW z dnia 14 marca 2008 r. w sprawie plonów reprezentatywnych roślin energetycznych w 2008 r. (Dz.U. nr 44, poz. 267)].
Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 12 września 2008 r. w sprawie sposobu monitorowania wielkości emisji substancji objętych wspólnotowym systemem handlu uprawnieniami do emisji (Dz. U. z dnia 16 października 2008 r.)
Załącznik do Zarządzenia 186/2009/Z Prezesa ARR z dnia 28 sierpnia 2009 roku Warunki uzyskania pomocy do plantacji trwałych w 2009 roku

II. Plantacje roślin energetycznych

Maciej Pach, Zbigniew Kołodziej, Leszek Bartkowicz, Jan Karczmarski, Jerzy Skrzyszewski
Katedra Szczegółowej Hodowli Lasu, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

ZAKŁADANIE I UTRZYMANIE PLANTACJI

Rośliny drzewiaste

Głównym źródłem drewna użytkowego w Polsce są lasy, których powierzchnia systematycznie wzrasta. Prowadzone prace zalesieniowe zwiększyły lesistość Polski z 20,8% w 1946 roku do 29,0% w 2008 roku (Grzywacz 2002; Leśnictwo 2009), a ich kontynuacja ma doprowadzić do lesistości na poziomie 33,0% w 2050 roku (Łonkiewicz 1996). Rośnie również wielkość pozyskania drewna, i tak: w 1995 roku pozyskano 22 492 tyś. m^3, dziesięć lat później 31 945 tyś. m^3, natomiast w 2008 roku 34 273 tyś. m^3 (Leśnictwo 2009). Wzrost podaży drewna jest jednak ciągle poniżej zapotrzebowania rynku na ten surowiec. W najbliższych latach należy oczekiwać, że deficyt będzie się pogłębiał wraz ze wzrostem jego znaczenia jako nośnika czystej energii.

Sposobem na zwiększenie podaży drewna mogą być plantacje szybkorosnących rodzimych oraz obcych gatunków drzew i krzewów. Powierzchnie tak zagospodarowane będą tańszym źródłem drewna niż obecne lasy, ponieważ nie podlegają one ograniczeniom jakie obowiązują w lasach gospodarczych, gdzie staramy się godzić cele produkcyjne z celami pozaprodukcyjnymi. Pełne pogodzenie funkcji produkcyjnych lasu z jego funkcjami pozaprodukcyjnymi w obrębie jednej powierzchni jest bardzo trudne. Zwrócił na to uwagę Chodzicki [1976], przedstawiając koncepcję kierunków hodowli lasu, w myśl której 10% powierzchni leśnej lasów państwowych powinno być przeznaczone pod intensywne plantacyjne uprawy drzew.

Plantacją drzew lub krzewów szybkorosnących nazywamy intensywną uprawę kultywarów drzew lub krzewów wyselekcjonowanych na podstawie cech przyrostowych lub wyhodowanych drogą sztucznego krzyżowania gatunków, charakteryzujących się wczesną kulminacją przyrostu miąższości, które zakładane są w celu wyprodukowania dużych ilości surowca drzewnego w skróconym cyklu (max. do 60 lat). Na uprawie takiej stosowany jest jednorodny genetycznie materiał sadzeniowy, który poddawany jest bardzo intensywnym zabiegom agromelioracyjnym i pielęgnacyjnym.

Na plantacjach wysadzane są kultywary drzew lub krzewów, czyli odmiany uprawowe, które wyróżniają się pewnymi cechami (morfologicznymi, fizjologicznymi itp.) ważnymi dla rolnictwa, leśnictwa lub ogrodnictwa, przekazywanymi dalej potomstwu [Hejmanowski 1975]. Klonem natomiast nazywamy zbiór osobników powstałych drogą wegetatywnego rozmnażania z jednej rośliny matecznej [Hejmanowski 1975]. Kultywary stosowane na plantacjach muszą odznaczać się szybkim wzrostem. Według Międzynarodowego Związku Leśnych Instytutów Badawczych (IUFRO) za kryterium gatunku szybko rosnącego przyjmuje się produkcję drewna w wysokości co najmniej 10 t s.m./ha/a [IUFRO 2010].

Drewno produkowane na plantacji drzew szybko rosnących może być wykorzystywane jako drewno konstrukcyjne, budowlane, czy przeznaczone do przerobu fizykochemicznego. Należy oczekiwać, iż w związku z przyjęciem przez Parlament Europejski w dniu 17 grudnia 2008 r. „Pakietu energetyczno-klimatycznego", głównym celem produkcji na plantacjach szybko rosnących drzew i krzewów stanie się drewno opałowe.

W zależności od długości cyklu produkcyjnego można wyróżnić następujące rodzaje plantacji [Zajączkowski 2003]:

- plantacje o długim cyklu (pełnym) - długość cyklu 25 – 60 lat, zagęszczenie w wieku rębności: 100 – 400 drzew na hektar, podstawowy cel produkcji: sortymenty grube, przede wszystkim drewno tartaczne i łuszczarskie, docelowa pierśnica: 0,3 – 0,5 m.
- Plantacje o średnim cyklu - długość cyklu 10 – 20 (25) lat, zagęszczenie w wieku rębności: 600 – 2000 drzew na hektar, podstawowy cel produkcji: masa drzewna dla potrzeb przemysłu papierniczego i płytowego, docelowa pierśnica: 0,15 – 0,25 (0,30) m.
- Plantacje odroślowe o krótkim cyklu - długość cyklu 2 – 5 (10) lat, Zagęszczenie: 2500 – 20000 (40000) roślin przeznaczonych do produkcji odrośli na hektar, podstawowy cel produkcji: surowiec energetyczny lub dla potrzeb przemysłu płytowego, przeciętny roczny przyrost suchej masy: 9-12 t/ha.

Do gatunków roślin drzewiastych uprawianych na plantacjach można zaliczyć topolę, wierzbę, brzozę brodawkowatą i omszoną, modrzewia europejskiego, olszę czarną, świerk pospolity, robinię akacjową, czereśnię ptasią, a z gatunków introdukowanych jedlicę zieloną, jodłę olbrzymią, sosnę Weymoutha, modrzew japoński i eurojapoński i świerk sitkajski [Rozwałka 2003, Zabielski 1998].

Plantacje topolowe

Topole (*Populus* L.) wraz z wierzbami należą do rodziny wierzbowatych (*Salicaceae* Lindl.). Szacuje się, że rodzaj *Populus* reprezentuje od 30 do nawet 110 gatunków, a więc znacznie mniej niż w przypadku wierzb [Bugała 1973]. Topole niezależnie od gatunku odznaczają się bardzo zbliżonymi wymaganiami siedliskowymi. Występują głównie w dolinach rzek, potoków czy jezior, gdzie znajdują odpowiednie warunki wilgotnościowe i troficzne w ramach siedlisk łęgowych [Bugała 1973]. Wyjątek stanowią osiki, należące do gatunków pionierskich, które rosną w różnych warunkach siedliskowych, nawet przy ograniczonym dostępie wody [Jaworski 1994].

Krajowy Dobór Topól

Obecnie w Polsce obowiązuje czwarty krajowy dobór topól z 1986 roku, w ramach którego do uprawy plantacyjnej dopuszczone są wybrane kultywary topól [Wytyczne 1986].

Wieloletnie badania prowadzone przez Instytut Badawczy Leśnictwa wskazują, iż do uprawy plantacyjnej w Polsce z tego doboru nadają się tylko kultywary 'Androscoggin', 'Fritzi Pauley', i 'Hybrida 275' z sekcji *Tacamahaca* (topole balsamiczne) [Zajączkowski 2003]. Dokładny opis topól należących do obecnie obowiązującego jeszcze doboru można znaleźć w pracy Jaworskiego [1973] i Zajączkowskiego [2006a]. W testach polowych największą produkcyjnością w krótkim cyklu (5-letnim) wykazały się mieszańce *P*. x *euramericana* (Dode) Gunier 'Dorskamp', *P*. x *interamericana* Van Broekhuizen 'Barn' i 'Beaupré' wyselekcjonowane w Belgii i Holandii. Odmiany te uprawiane w odpowiednich warunkach siedliskowych są w stanie wyprodukować średnio powyżej 8 t

s.m./ha/a [Zajączkowski i in. 2001; Zajączkowski 2006a]. Wśród innych testowanych w Belgii i Francji odmian topoli należy wymienić mieszańce *P. trichocarpa* x *P. deltoides, P. deltoides* x *P. trichocarpa, P. trichocarpa* x *P. balsamifera, P. deltoides* x *P. nigra*, dla których zaleca się 4 letnią rotację z zagęszczeniem drzewek wahającym się od 2500 do 10000 szt./ha [Ceulemans i Deraedt 1999]. Wyniki przeprowadzonych w Belgii testów 17 różnych klonów topól wskazują, iż największą produkcję biomasy (8–11.4 t s.m./ha/a) w cyklu 3- i 4-letnim przy obsadzie 10 000 szt./ha zrzezów osiągnęły mieszańce *P. trichocarpa* 'Fritzi Pauley', 'Columbia River' i 'Trichobel' oraz *P. nigra* 'Wolterson', oraz w cyklu tylko 4-letnim *P.* (*trichocarpa* x *deltoides*) 'Hazendans' i 'Hoogvorst' [Laureysens i in. 2004, 2005; Al Afas i in. 2008]. W ostatnich latach większego znaczenia nabierają topole wyselekcjonowane we Włoszech: *P.* x *generosa* x *P. nigra* 'Monviso' oraz *P. deltoides* x *P. nigra* 'Sirio' i 'AF2' [Alasia Franco 2006; Fara i in. 2009].

Lokalizacja plantacji

Zakładanie plantacji topolowych powinno być poprzedzone rozpoznaniem przyrodniczych warunków produkcji (ekspertyza glebowo-siedliskowa), ustaleniem kultywaru, przyjęciem określonej rotacji.

Przy wyborze lokalizacji plantacji należy dążyć do największej koncentracji powierzchniowej z uwagi na łatwiejsze prowadzenia zabiegów pielęgnacyjnych i ochronnych oraz mniejsze ich koszty jednostkowe. Z tego względu wskazane jest zakładanie upraw na powierzchni przekraczającej 30 ha [Hejmanowski 1989]. Zaleca się, aby plantacje właściwe zakładać w formie mozaiki bloków jednokultywarowych, przy czym pojedyncze bloki nie powinny zajmować powierzchni większej niż 5 ha [Zajączkowski 2003]. Bloki powinny być rozdzielone strefami ekotonowymi.

Na lokalizację plantacji nadają się tereny równe, poziome lub o nachyleniu nie przekraczającym 5%, odpowiadający typom siedliskowym las łęgowy, las wilgotny i ols jesionowy [Brożek i Zwydak 2003]. Poziom przepływowych wód gruntowych nie powinien być wyższy niż 0,70 m (w II połowie maja), a w przypadku braku wody gruntowej w zasięgu korzeni w okresie wegetacji, opady roczne w wysokości co najmniej 550 mm. Występujące okresy zalewów nie mogą być dłuższe niż 2 tygodnie, a położenie terenu na wysokości nie wyższej niż 300 m n.p.m. [Wytyczne 1986].

Pod plantacje należy przeznaczać grunty nieleśne, wykorzystywane w przeszłości przez rolnictwo [Sobczak 1997], pod warunkiem pełnego przygotowania gleby i nawożenia, na podstawie odrębnych wytycznych Dyrektora Generalnego LP [Rozwałka 2003]. W większości wypadków będą to nieużytki rolnicze powyżej IVb klasy bonitacji rolniczej (300 tys. ha) [Zajączkowski i in. 2001].

W celu uzyskania wysokiego przyrostu topole wymagają długiego okresu wegetacji (minimum 180 dni), wysokiej temperatury (zwłaszcza w okresie czerwiec-wrzesień) [Węgorek 2003], dużego zaopatrzenia w składniki odżywcze oraz wysokiego poziomu przepływowej wody gruntowej [Zabielski 1973]. Z tego względu gleby pod plantacje powinny być biologicznie czynne, o dobrej przepuszczalności wodnej, przewiewne, zasobne w tlen i podstawowe pierwiastki (NPKCa), odczyn powinien się wahać od 6.0 do 7.5 pH, a dla topól balsamicznych od 5.5 do 6.5 pH. Nie mogą to być gleby mokre ani kamieniste, z uwagi na trudności w obsłudze mechanicznej plantacji [Mitchell i in. 1999].

Wstępna uprawa gleby

Uprawę gleby można przeprowadzić jesienią wraz z wiosenną uprawą uzupełniającą na glebach cięższych lub tylko wiosną na glebach lżejszych. W ramach jesiennej uprawy wykonuje się wapnowanie (przed pełną orką) na podstawie wyników chemicznej analizy gleby. Dawka i rodzaj nawozu zależy od mechanicznego składu gleby, pH gleby oraz wymagań topól (balsamiczne pH 5,5-6,5, euramerykańskie pH 6,0-7,5). Pełną orkę wykonuje się niezależnie od kultywaru do głębokości 0,5-0,6 m z pozostawieniem gleby w ostrej skibie do wiosny. Dopuszcza się orkę płytszą (do 0,3 m) jeżeli orka głęboka powoduje wyorywanie martwicy i niszczy strukturę gleby. Na wiosnę przeprowadza się uzupełniającą uprawę gleby jak najwcześniej, gdy tylko gleba lekko przeschnie i jest możliwa praca ciągnikiem. W zależności od potrzeb stosuje się talerzowanie broną talerzową, włókowanie, kultywatorowanie, wałowanie lub bronowanie [Wytyczne 1986; Karwowska-Marska 2007].

Materiał sadzeniowy, więźby i sadzenie

Materiałem sadzeniowym są zrzezy pędowe zdrewniałe o długości ok. 0,2 – 0,25 m, pochodzące z jednorocznych, zdrowych pędów jednolitych pod względem kulty waru topoli [Mitchell i in. 1999]. Jednakże udatność takich nasadzeń jest stosunkowo niska. Z tego względu zaleca się stosowanie jednorocznych sadzonek [Zajączkowski i in. 2001]. Coraz większego ostatnio znaczenia nabiera produkcja materiału sadzeniowego metodą mikrorozmnażania (wegetatywnego mnożenia *in vitro*). Ważną zaletą tego sposobu jest możliwość uzyskania w krótkim czasie dużej liczby osobników o tym samym wyselekcjonowanym genotypie. [Szczygieł 2006].

Najczęściej stosowaną więźbą, określającą sposób rozmieszczenia sadzonek i odległości między nimi, jest prostokątna, która powinna być dostosowana do rozstawu kół maszyn pielęgnujących uprawę. Z tego względu zaleca się sadzenie topól w więźbie 3 x 0.5 (0.6) m w zależności od kultywaru dla cyklu 2-letniego lub 3 x 2 m dla cyklu 4-5-letniego, co daje obsadę 1600 do 6600 szt./ha [Alasia Franco 2006]. Stosuje się także gęściejsze więźby 1x1 m (10 000 szt./ha) [Ceulemans i Deraedt 1999; Dowell i in. 2009]. Natomiast Zajączkowski i in. [2001] zalecają wysadzanie tylko 1000 szt./ha materiału sadzeniowego.

Przed sadzeniem zrzezy powinno się moczyć przez 24 godziny w wodzie w celu pobudzenia procesów wzrostowych. Sadzenie przeprowadza się wczesną wiosną, jak tylko będzie możliwe wjechanie sprzętem na teren przyszłej uprawy. Sadzenie może być ręczne lub mechaniczne z zastosowaniem specjalnych sadzarek, których wydajność może sięgać nawet do 1 ha/h [Mitchell i in. 1999]. Sadzenie najlepiej wykonywać wzdłuż dłuższej krawędzi powierzchni z pozostawieniem kilkumetrowego (7m) pasa wolnego od roślin z obu końców pola w celu nawrotu maszyn wykorzystywanych do pielęgnacji i ścinania pędów [Alasia Franco 2006]. Po posadzeniu zrzezy powinny wystawać do ok. 20-30 mm nad powierzchnią gleby [Mitchell i in. 1999; Karwowska-Marska 2007].

Nawożenie

Każdorazowo decyzja o zastosowaniu nawożenia musi być poprzedzona analizą chemiczną gleby na zawartość podstawowych składników pokarmowych. W przypadku uprawy topól balsamicznych należy zrezygnować z nawożenia startowego, gdyż każda forma

nawożenia mineralnego jest szkodliwa, powodująca słaby rozwój korzeni, a nawet ich obumieranie i wypadanie sadzonek [Wytyczne 1986; Hejmanowski 1989]. Nowsze badania wskazują jednak na pozytywny wpływ nawożenia wieloskładnikowego na przyrost topól w pierwszych trzech latach po posadzeniu [Brown i van den Driessche 2002]. W naszych warunkach klimatycznych sadzonki topoli z reguły nie potrzebują nawożenia mineralnego w pierwszym roku. W przypadku jednak niedostatecznego zaopatrzenia gleby w podstawowe makroelementy należy wykonać nawożenie w ilości 150 kg N, 120 kg P i 250 kg K [Alasia Franco 2006] lub przyjąć zasadę, iż na każdy 1 mg niedoboru K_2O i P_2O_5 należy wysiać 15 kg czystego składnika na 1 ha [Hejmanowski 1989]. Możliwym sposobem nawożenia plantacji jest zastosowanie osadów ściekowych w rowy w roku poprzedzającym wysadzeniem topól [Felix i in. 2008] lub nawożenie ściekami wodnymi w trakcie wzrostu drzew [Christersson 2006]. Od drugiego roku uprawy i po każdym cięciu zaleca się zastosować nawożenie organiczne lub azotowe w dawce 70-80 kg/ha [Karwowska-Marska 2007].

Pielęgnacyjna uprawa gleby

Celem pielęgnacyjnej uprawy gleby jest polepszenie warunków wzrostu i rozwoju uprawianych kultywarów topoli i zwiększenie ich plonu [Hejmanowski 1975]. Wskazanym sposobem utrzymania gleby jest czarny ugór, który polega na systematycznym (2-3 razy) wzruszaniu gleby (najczęściej za pomocą brony talerzowej) w okresie wegetacyjnym w celu jej spulchnienia i niedopuszczenia do zachwaszczenia. Częstotliwość zabiegów zależy od warunków pogodowych, rodzaju gleby, stopnia jej zachwaszczenia i szybkości wzrostu topól [Wytyczne 1986; Alasia Franco 2006; Karwowska-Marska 2007].

Herbicydy

Warunkiem udatności uprawy topoli jest skuteczna walka z chwastami już na etapie przygotowywania terenu pod plantacje. Wśród najczęściej stosowanych należy wymienić herbicydy dolistne z grupy aminofosfonianów tj. glifosat (Roundup i jego odpowiedniki) Zaraz po wysadzeniu topól na wiosnę należy zastosować środki chemiczne, których aktywnymi składnikami są: oxadiazon, oxifluorofen i pendimenthalin [Demchik i in. 2002; Stanturf i in. 2002; Alasia Franco 2006]. W kolejnych latach po wycięciu roślin, jeszcze przed ruszeniem wegetacji, na międzyrzędy można zastosować inne herbicydy np. Gesatop [Karwowska-Marska 2007].

Wielkość plonu na plantacjach topolowych o krótkim cyklu

Ilość biomasy jaką można uzyskać z upraw o krótkim cyklu szacuje się na 20–25 t s.m./ha/a [Ceulemans i Deraedt 1999]. Autorzy ci podają, iż z hodowlanego i ekonomicznego punktu widzenia korzystne jest sadzenie topól w więźbie 1x1 m (10000 szt/ha) i wydłużenie rotacji do 5, a nawet więcej lat. W Ameryce Północnej nawadniane i nawożone plantacje topól osiągnęły produkcję 20 t s.m./ha/a w cyklu cztero do siedmioletnim, a we Francji ok. 30 t s.m./ha/a w intensywnym cyklu dwuletnim [Karačić i in. 2003]. Autorzy ci uważają, iż uprawy o cyklach produkcyjnych w granicach 10-15 lat wyselekcjonowanych topól w korzystnych warunkach siedliskowych gleb rolniczych na terenie Szwecji mogą dostarczyć dużej ilości drewna do produkcji papieru lub biomasę energetyczną. Z kolei w Wielkiej Brytanii czteroletnia uprawa klonów *P. trichocarpa* x *P. deltoides* ‘Boelare’

i ‘Beaupré’ posadzonych w więźbie 1x1 m osiągnęła produkcję roczną biomasy w zakresie 6.4 – 13.6 t s.m./ha/a [Armstrong i in. 1999]. Krótsze rotacje (4-6 lat) są wskazane dla intensywnie nawożonych i pielęgnowanych plantacji topolowych, natomiast dłuższe (ok. 10 lat) dla nienawożonych upraw zakładanych na żyznych gruntach porolnych [Armstrong i in. 1999; Mitchell i in. 1999; Karačić i in. 2003]. W Ameryce Północnej od wielu lat prowadzi się doświadczenia polowe z topolami uprawianymi w krótkim cyklu [Ceulemans i in. 1992]. Na żyznych terenach zalewowych produkcyjność klonów *P. deltoides* w cyklu 5-letnim wyniosła 57,8 t s.m./ha/a przy obsadzie 10 000 szt. zrzezów na hektar [Dowell i in. 2009]. W cyklu 6-letnim nawadniane i nawożone azotem uprawy mieszańców topól *P. deltoides* x *P. nigra*, *P. trichocarpa* x *P. deltoides* i *P. nigra* x *P. maximowiczii* osiągnęły produkcyjność w granicach 41-72 t s.m./ha/a [Pearson i in. 2010]. Na podstawie wielu badań można stwierdzić, iż możliwy do pozyskania średni plon z plantacji topolowych o krótkim cyklu w warunkach strefy umiarkowanej Europy Centralnej wynosi w granicach 10-12 t s.m./ha/a [Kauter i in. 2003]. W badaniach prowadzonych przez IBL najlepsze kultywary topól osiągały plony w cyklu 3-letnim od 8.3 do 10.8 t s.m./ha/a i były one większe niż u wierzby, ale dyskusyjna była ich zdrowotność w kolejnych cyklach [Zajączkowski i in. 2001]. Z tego względu autor ten twierdzi, iż należy poczekać do wyciągania definitywnych wniosków co do przydatności uprawy topól w krótkich cyklach produkcyjnych.

Plantacje wierzbowe

Charakterystyka wierzby

Do rodzaju wierzba (*Salix*) należą dwupienne drzewa, krzewy, a nawet krzewinki, jednak tylko nieliczne z nich osiągają drzewiasty pokrój (*S. alba* i *S. fragilis*) i znaczne rozmiary (do 30 m wysokości i 1-2 m pierśnicy [Boratyński i Boratyńska 1990]. Niektóre z gatunków mogą być, w zależności od sposobu użytkowania, zarówno drzewami jak i krzewami, np. wierzba iwa (*S. caprea*) [Dubas 2003]. Według różnych autorów na świecie opisano 300-500 gatunków wierzb [Boratyński i Boratyńska 1990]. W Polsce występuje 28 rodzimych gatunków wierzb, kilka powszechnie stosowanych gatunków introdukowanych oraz wiele odmian, mieszańców i kultywarów o różnym zastosowaniu gospodarczym m.in. na plantacjach wiklinowych (*S. viminalis*, *S. purpurea* i *S. amygdalina*) [Jaworski 1994] i plantacjach energetycznych (*S. viminalis*, *S. amygdalina*, *S. dasyclados* oraz liczne mieszańce), na których uprawia się głównie tzw. wierzby wąskolistne [Kowalik 1990, Jasiulewicz i Kiełczewski 2006, Zabrocki i Ignacek 2007].

Kultywary wierzb

Wierzba uprawiana na cele energetyczne powinna charakteryzować się intensywnym wzrostem, szybkim odrostem pędów po zbiorze, odpornością na choroby i szkodniki, dużą mrozoodpornością, dawać wysoki plon suchej masy drewna o dużej wartości kalorycznej. W wielu krajach stosuje się różne odmiany i kultywary wierzb, wśród których dominują mieszańce *S. viminalis*. Według badań Instytutu Badawczego Leśnictwa najlepszymi wierzbami pod kątem produkcyjności na terenie Polski okazały się klony ‘Stipularis’, ‘Tenuifolia’ i ‘Reifenwardii’, **‘**ORM’ oraz *S. viminalis var. gigantea* i *S. purpurea* ‘Piaskówka’ [Zajączkowski 2003, 2006a, 2006b]. W Katedrze Hodowli Roślin i Nasiennictwa Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego od wielu lat prowadzi się badania dotyczące hodowli,

przydatności, plonowania oraz technologii uprawy ok. 150 genotypów wierzb w warunkach polskich [Szczukowski i in. 2004a]. W wyniku tych prac zgłoszone zostały do Centralnego Ośrodka Badania Odmian Roślin Uprawnych trzy odmiany wierzby *S. viminalis* START, SPRINT, TURBO, które charakteryzują się wysokim plonem biomasy w różnych warunkach siedliskowych [Pierwsze polskie odmiany wierzby energetycznej 2009]. W literaturze podawanych jest wiele różnych odmian i mieszańców wierzb, których przydatność do upraw energetycznych testuje się w warunkach polowych [Honkanen 1994; Kopp i ni. 1997; Heinsoo i in. 2002; Tunçtaner 2002; Szczukowski i in. 2004b, 2005; Stolarski i in. 2008; Latmännen Agroenergi 2009]. Podejmuje się również działania zmierzające nawet do otrzymania mieszańców międzygatunkowych (*S. viminalis* x *Populus spp.*) [Zenkteler 2005].

Lokalizacja plantacji

Wierzby wąskolistne (*S. alba* L., *S. fragilis*, *S. viminalis*, *S. purpurea*, *S. amygdalina*, i *S. incana*) są gatunkami eutroficznymi (wymagają gleb żyznych) i mezohigrofitami (wrażliwe na okresowe susze) [Faliński 1990; Jaworski 1994]. Najwłaściwsze gleby do uprawy plantacji energetycznych to gleby aluwialne, głównie mady rzeczne o różnym udziale części spławialnych, właściwe, czarnoziemne i brunatne, (także gleby murszowe, czarne ziemie wilgotne), z wodą przepływową (w zasięgu okresowych wylewów rzek), zasobne w składniki pokarmowe, o odczynie obojętnym lub lekko zasadowym 6-7,5 (czasem lekko kwaśnym 5,5-6,0) [Faliński 1990; Jaworski 1994]. Powinny się one charakteryzować dobrymi stosunkami wodnymi i powietrznymi, o znacznej zawartości próchnicy oraz dostateczną głębokością, co umożliwia rozwój korzeni. Ze względu na to, iż zawartość wody w glebie jest czynnikiem decydującym o udatności uprawy [Lindroth i Båth 1999], optymalny poziom wód gruntowych powinien wynosić 1,0-1,3 m dla gleb piaszczystych i 1,6-1,9 dla gleb gliniastych oraz suma opadów rocznych nie może być mniejsza niż 500 mm. Gleby rolne najbardziej przydatne do zagospodarowania pod plantacje wierzbowe to użytki zielone i gleby użytkowane płużnie II-IV klasy bonitacji (wilgotne) oraz gleby słabszych bonitacji (V) pod warunkiem ich nawadniania (np. osadami ściekowymi lub nawozami mineralnymi + nawadnianie). [Wytyczne 1986; Dubas 2003; Szczukowski i in. 2004a; Zajączkowski 2006b]. Optymalne warunki klimatyczne wierzby znajdują w klimacie umiarkowanie ciepłym i stosunkowo łagodnym z długim okresem wegetacji wynoszącym 210-215 dni (warunki nizinne i podgórskie do wysokości 500-550 m n.p.m), cechującym się brakiem zagrożeń przymrozkami wczesnowiosennymi [Jaworski 1994; Dubas 2003; Szczukowski i in. 2004a].

Należy pamiętać, aby miejsce uprawy było udostępnione drogami przejezdnymi w zimie, ze względu na konieczność dojazdu sprzętem do ścinania i wywozu biomasy [Dawson 2007; Latmännen Agroenergi 2009] oraz o pozostawieniu z obu końców rzędów 8-10 m wolnego miejsca na nawrót maszyn ścinających [Latmännen Agroenergi 2009]. Pierwszy rząd należy obsadzić w odległości 3 m od skraju plantacji [Alasia Franco 2006].

Przygotowanie powierzchni

Przygotowanie gleby zależy od jej rodzaju, poziomu kultury rolnej oraz wcześniejszych upraw [Dubas 2003] i powinno ono nastąpić latem w roku poprzedzającym założenie uprawy. Czynnikiem decydującym o sukcesie uprawy jest skuteczna walka z chwastami

[Abrahamson i in. 2002; Dubas 2003; Szczukowski i in.2004a; Dawson 2007; Latmännen Agroenergi 2009] za pomocą głównie środków chemicznych (Roundup – 4-8 l/ha). Po kilku tygodniach należy rozdrobnić zniszczoną masę roślinną a późną jesienią wykonać pełną orkę na głębokość 0,35 m, z pogłębiaczem na gruntach użytkowanych wcześniej rolniczo [Szczukowski i in. 2004a]. Na wiosnę należy przeprowadzić kultywatorowanie i bronowanie w celu wyrównania powierzchni (konieczne jest usuniecie kamieni) oraz może być celowy dodatkowy oprysk herbicydami doglebowymi [Dubas 2003; Latmännen Agroenergi 2009]. W ramach prac przygotowawczych należy również uregulować pH gleby oraz zastosować nawożenie startowe w ilości nie przekraczającej 20 kg N, 18 kg P_2O_5 i 40 kg K_2O w przeliczeniu na czysty składnik na hektar [Dubas 2003]. Jednakże zawsze przed podjęciem decyzji o nawożeniu trzeba przeprowadzić chemiczną analizę gleby. Na powierzchniach badawczych testowane są również alternatywne metody przygotowania gleby, które zmniejszają koszty założenia plantacji oraz niebezpieczeństwo wystąpienia erozji z równoczesnym niewielkim wpływem na plonowanie wierzb i topól. Polegają one głównie na przygotowaniu gleby w bruzdy na wiosnę i stosowaniu roślin okrywających (żyta) przed założeniem plantacji [Volk i in. 2002].

Materiał sadzeniowy

Wierzbę rozmnaża się wegetatywnie za pomocą zrzezów pędowych zdrewniałych (tzw. sztobrów) czyli kawałków pociętego pędu. Ich długość powinna wynosić 200-250 mm, grubość 5-12 mm a grubość w środku nie powinna być mniejsza niż 7 mm [Dubas 2003]. Zrzezy powinny być czyste, bez zanieczyszczeń, zdrowe, odpowiedniej wilgotności i pochodzić z dolnej lub środkowej części jednorocznych lub dwuletnich najsilniejszych pędów pozyskanych w okresie od listopada do marca (przed rozpoczęciem wegetacji), bezpośrednio przed sadzeniem z czystych odmianowo plantacji matecznych. Na całej długości zrzezów powinno występować co najmniej 5 pączków [Dubas 2003]. Bezpośrednio po cięciu zrzezy należy wiązać w pęczki po 100 szt. i układać pionowo, pączkami do góry (biegunowość). Wierzchołki powinno się zanurzyć w wodzie wapiennej lub farbie emulsyjnej na głębokość 20 mm (oznakowanie biegunowości) [Szczukowski i in. 2004a]. Zrzezy przechowujemy w chłodniach w temperaturze -4^0C do $+2^0$C lub w piwnicy, gdzie utrzymuje się niska temperatura i wysoka względna wilgotność powietrza. Przed sadzeniem dobrze jest umieścić zrzezy w wodzie (na głębokość kilkudziesięciu mm) na 2 dni w celu pobudzenia wzrostu [Dubas 2003; Szczukowski i in. 2004a].

Sadzenie

Sadzenie przeprowadzamy najczęściej wczesną wiosną, możliwie jak najwcześniej (luty-kwiecień). Możliwe jest również jesienne sadzenie (do momentu zamarznięcia gleby), które jednak zależy od warunków pogodowych i organizacyjnych [Dubas 2003; Szczukowski i in. 2004a]. Plonowanie roślin posadzonych wczesną wiosną jest jednak większe o ok. 30% od posadzonych jesienią i na przełomie wiosny i lata [Turnbull i in. 2004]. Gęstość sadzenia (więźba) uzależniona jest od wielkości i przeznaczenia plantacji, rozstawu kół maszyn zastosowanego sprzętu oraz przyjętego cyklu produkcji. Na plantacjach matecznych i jednorocznych energetycznych można zastosować 40 tys. sztuk na hektar (32 tys. po uwzględnieniu dróg technologicznych) w więźbie 0,75 x 0,33 m. W przypadku dłuższych cyklów produkcyjnych (3 i 4 letnich) zrzezy zaleca się sadzić dwurzędowo (0,5 x 0,75 m) w pasach odległych od siebie o 1,25 – 1,5 m lub 2,8 m (drogi technologicz-

ne), co daje 18 -20 tys. sztuk sztobrów na hektar [Dubas 2003; Szczukowski i in. 2004a; Dawson 2007]. W trakcie sadzenia należy pamiętać o biegunowości sztobrów. Staramy się je sadzić pod niewielkim kątem nachylenia do południowej strony (lepsze nagrzanie sadzonki przez słońce) oraz na taką głębokość, aby co najmniej 2 uśpione pączki wystawały ponad glebę [Dubas 2003]. Udatność uprawy na poziomie co najmniej 85% po trzech tygodniach od posadzenia należy uznać za zadowalającą [Dubas 2003]. Miejsca wypadów powinno uzupełnić się nowymi zrzezami, dobrze przechowanymi. Sadzenie można przeprowadzić ręcznie lub mechanicznie (sadzarki), co znacznie przyspiesza proces sadzenia. Na ręczne obsadzenie 1 hektara należy przeznaczyć ok. 10 roboczodni [Dubas 2003; Szczukowski i in. 2004a]. Alternatywą może być sadzenie poziome prętów na dnie wcześniej przygotowanych bruzd, na głębokość 0,07-0,10 m i przykrycie je ziemią [Szczukowski i in. 2004a]. Pierwsze efekty takiego sadzenia są obiecujące [Lowthe-Thomas i in. 2010]. Na plantacjach wielohektarowej należy stosować kilka odmian wierzb w celu zwiększenia bioróżnorodności oraz odporności na choroby i szkodniki [Dubas 2003; Szczukowski i in. 2004a; Dawson 2007; Begley i in. 2009].

Pielęgnacja w 1 roku

Najważniejszym zabiegiem w pierwszym roku uprawy jest odchwaszczanie, które można już wykonać herbicydami doglebowymi w okresie pierwszych trzech dni po posadzeniu zanim zaczną rozwijać się pędy. Jego skuteczność oceniana jest na 6-8 tygodni [Szczukowski i in. 2004a; Latmännen Agroenergi 2009]. Późniejsze zastosowanie herbicydów wymaga użycia dolistnych środków selektywnych na rośliny jedno- i dwuliścienne z dodatkiem oleju parafinowego (np. Paroil 95 SC), który ułatwia zatrzymywanie ich na liściach chwastów [Dubas 2003]. Można również zastosować odchwaszczanie mechaniczne lub ręczne (tylko na niewielkich powierzchniach) w postaci płytkiego dwu- i trzykrotnego pielenia w okresie wegetacji zanim chwasty rozwiną silny system korzeniowy [Szczukowski i in. 2004a; Latmännen Agroenergi 2009]. Bardzo istotną sprawa jest ochrona plantacji przed zwierzyną oraz chorobami i szkodnikami. Te aspekty zostały omówione w rozdziale 3.1.3. Po pierwszym sezonie wegetacyjnym należy przeprowadzić koszenie pędów, ręcznie lub maszynowo, w okresie od listopada do połowy marca, w celu pobudzenia rozkrzewiania się roślin w drugim roku uprawy. Cięcie powinno być wykonane gładko, bez szarpania pozostających w glebie karp, w taki sposób, aby ponad ziemią pozostały co najmniej 2-3 uśpione pączki, z których nastąpią odrosty w kolejnym roku [Dubas 2003; Szczukowski i in. 2004a]. Wycięte pędy mogą być przeznaczone na materiał sadzeniowy jeżeli spełniają wymagania jakościowe.

Pielęgnacja po 1 roku

W drugim roku istnienia plantacji chwasty nie stanowi już większego problemu. Można jeszcze wczesną wiosną przed ruszeniem wegetacji zastosować herbicyd doglebowy (np. Azotop 50 WP w dawce 3 kg/ha) lub dolistny w trakcie sezonu wegetacyjnego (Targa Super 05 EC) [Szczukowski i in. 2004a]. Drugi rok uprawy jest początkiem fazy produkcyjnej plantacji, w którym rośliny intensywnie pobierają z gleby składniki pokarmowe niezbędne do tworzenia biomasy. Ocenia się, iż wierzby pobierają z gleby 75-86, 10-11, 27-32, 52-79 i 4-5 kg/ha/a odpowiednio N,P,K,Ca i Mg [Adegbidi i in. 2001]. W tym czasie należy dostarczyć do gleby podstawowe makroskładniki w dawce: N – 90 kg, P_2O_5 – 30 kg, K_2O – 90 kg w drugim roku uprawy oraz N – 80 kg, P_2O_5 – 30 kg, K_2O – 80 kg

w trzecim roku uprawy [Ford-Robertson i in. 1993; Szczukowski i in. 2004a]. Nawożenie potasem i fosforem powinno się wykonać po każdym zbiorze (przed rozpoczęciem wegetacji), a azotem w trakcie wegetacji [Szczukowski i in. 2004a]. Do nawożenia można również wykorzystać pod pewnymi warunkami osady ściekowe lub ścieki, które mogą zmniejszyć koszty uprawy [Labrecque i Teodorescu 2003; Dimitriou 2005; Larsson 2005; Ericsson i in. 2006; Latmännen Agroenergi 2009].

Produktywność (plonowanie)

Wysokość plonu zależy od genotypu wierzby, warunków siedliskowych, zagęszczenia pędów, długości cyklu produkcyjnego oraz zabiegów pielęgnacyjnych. Badania Szukowskiego i in. [2006] wskazują, iż ilość biomasy *S. viminalis var. gigantea* wzrasta z wydłużeniem cyklu produkcyjnego - od 14,9 (jednoroczny) do 21,5 t s.m./ha/a (trzyletni), z równoczesnym wzrostem wartości energetycznej plonu – z 18,55 do 19,56 MJ/kg s.m. Podobne wnioski wynikają z pracy Stolarskiego i in. [2006, 2008], gdzie wyższe plony uzyskano dla większości klonów w cyklu czteroletnim niż jako suma czterech jednorocznych oraz Szczukowskiego i in. [2004a, 2005], gdzie największą ilość biomasy (29.6 t s.m./ha/a) dostarczył mieszaniec *S. viminalis* x *S. viminalis lanceolata* w cyklu czteroletnim oraz w czwartym roku po posadzeniu (jednoroczny cykl - 19.6 t s.m./ha/a). Sulima i in. [2006] stwierdził, że spośród wielu badanych mieszańców i gatunków wierzb najbardziej produktywnym okazała się *S. viminalis*, która w trzech jednorocznych cyklach osiągnęła średnio 52.15 t /ha/a świeżej masy przy obsadzie 200 tys. szt./ha. Osiągane ilości biomasy dochodzą czasem nawet do 36 t s.m./ha/a w przypadku intensywnego nawożenia i nawadniania [Ford-Robertson i in. 1993]. W warunkach upraw gospodarczych możliwe jest osiągnięcie 20 t s.m./ha/a dzięki ulepszeniu metod pielęgnacji oraz zastosowaniu nowych wyselekcjonowanych odmian wierzb [Ford-Robertson i in. 1993]. Analiza opłacalności uprawy wierzby energetycznej wskazuje, iż jest ona bardziej rentowna w porównaniu z uprawą jęczmienia lub pszenicy w przypadku, gdy cena zrębków osiągnie wartość 11 €·MWh [Ericsson i in. 2006]. Zajączkowski [2006] podaje, iż przeciętny roczny plon biomasy w drugim cyklu produkcyjnym osiągnął wielkość 8,5 t s.m./ha/a u odmiany 'ORM', a więc więcej niż uważa się za próg opłacalności (8 t s.m./ha/a). Dodaje również, iż średnia produkcja biomasy w dwóch pierwszych rotacjach na uprawie założonej na glebie wytworzonej z gliny zwałowej lekkiej była 3,5 razy większa niż założonej na madach piaszczystych i bardzo lekkich z piaskiem luźnym w podglebiu. W warunkach podgórskich (wysokość 400 m n.p.m.) osiągano również bardzo dobre rezultaty uprawy wierzb na glebach brunatnych z wysokim poziomem wody gruntowej, gdzie w czwartym roku po posadzeniu produkcja biomasy wyniosła 66.8 t s.m./ha/a u klonu *S. american* HS 5/57 (klon 19) [Kozak i Sowiński 2004]. W Kanadzie Labrecque i Teodorescu [2003] wskazują na możliwości osiągania produkcji biomasy wierzbowej powyżej 20 t s.m./ha/a w cyklach trzy letnich na nawożonych plantacjach założonych na gruntach porolnych. W Estonii najlepszymi pod względem plonowania były klony *S. viminalis* 78021 i 78183, których średnia produkcja biomasy osiągnęła wartość od 5,2 do 6,2 t s.m./ha/a, a w przypadku intensywnego nawożenia do 11 t s.m./ha/a w 4-letnim cyklu produkcyjny [Heinsoo i in. 2002].

Uprawa gatunków drzew leśnych

W Polsce bardzo nieliczne są doświadczenia w zakresie możliwości produkcyjnych i zasad plantacyjnej uprawy gatunków szybko rosnących innych niż topole i wierzby. W plantacyjnej uprawie drzew leśnych zaleca się stosować tylko te gatunki, które osiągają przeciętny przyrost roczny miąższości w wysokości co najmniej 8 m^3/ha [Zajączkowski i Załęski 2007]. Spośród tych gatunków najczęściej opisywane są doświadczenia z brzozą brodawkowatą (*Betula pendula* Roth) oraz modrzewiem (*Larix sp.*) [Urbański i in. 1985; Arbatowski i Załęski 1991; Nowakowska i in. 1993; Nowakowska i Borecki 1997; Drogoszewski i in. 1998; Załęski i Kantorowicz 1998; Drogoszewski i in. 2000]. Pojawiają się również wyniki badań nad uprawą w formie plantacji takich gatunków jak: świerka pospolitego (*Picea abies* L.) [Urbański i in. 1985; Bodły i Załęski 2009], daglezji zielonej (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) [Urbański i in. 1985; Arbatowski 1991; Arbatowski i Załęski 1991] oraz sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) [Nowakowska i in. 1993; Nowakowska i Borecki 1997]. W przypadku tych wszystkich doświadczeń celem produkcji było i musi pozostać drewno średnio- i wielkowymiarowe produkowane w 40-60 letnim cyklu [Zajączkowski i Załęski 2007]. Gatunki te nie odznaczają się bowiem siła odroślową, która jest warunkiem koniecznym opłacalności zakładania plantacji o krótkim (1-5 letnim) cyklu produkcyjnym.

Brzoza brodawkowata jest dostosowana do wzrostu na otwartej powierzchni w warunkach klimatu kontynentalnego. Wzrasta na glebach mineralnych i organogenicznych, których zasobność decyduje o jej tempie wzrostu; nie znosi wysokiego poziomu wody gruntowej. Brzoza wykazuje szybki wzrost od 2 - 3 roku życia. Na zasobnych glebach kulminację przyrostu na wysokość osiąga w wieku 10 - 15 lat, a na słabych w 20 - 25 roku. Podobne wymagania siedliskowe wykazuje brzoza omszona (*Betula pubescens* Ehrh.), która jednak w przeciwieństwie do brzozy brodawkowatej stosunkowo dobrze wzrasta na glebach silnie uwilgotnionych i podtapianych, rośnie nawet na stanowiskach zabagnionych [Jaworski 1994]. W oparciu o prowadzone doświadczenia z plantacyjną uprawą brzóz oraz wyniki uzyskane na plantacjach gospodarczych zaleca się obecnie zakładać plantacje tych gatunków więźbie 2,0 × 2,5 m w przypadku monokultur i więźbie 2,5 × 3,0 m, gdy oprócz brzozy na plantację wprowadzamy świerk jako gatunek współprodukcyjny [Gunia i Nowakowska 1995; Zajączkowski i Załęski 2007]. Zadawalających efektów produkcyjnych można oczekiwać na zasobnych i świeżych glebach w przypadku brzozy brodawkowatej oraz wilgotnych w przypadku brzozy omszonej. Na siedliskach takich możliwe jest osiągnięcie przeciętnego rocznego przyrostu miąższości na poziomie 8-11 m^3/ha w okresie pierwszych 20 - 25 lat [Załęski i Kantorowicz 1998]. Arbatowski i Załęski [1991] przewidują wielkość produkcji z plantacji brzozy na siedlisku lasu mieszanego świeżego oraz lasu świeżego, prowadzonej w 40-letnim cyklu, na poziomie od 338 do 426 m^3/ha przy przeciętnym przyroście rocznym w granicach od 8,5 do 10,7 m^3/ha. W Polsce dotychczas nie zweryfikowano możliwości prowadzenia plantacji brzozowej w krótkiej rotacji i silnym zagęszczeniu. Teoretycznie istnieje taka możliwość ponieważ kilkuletnie okazy brzoza wykazują tendencję wytwarzania odrośli z pnia, niestety brak informacji w zakresie utrzymywania się tej cechy u okazów ścinanych wielokrotnie. Arbatowski i Kwiecień [1991] podają, że w Finlandii znajdują się odroślowe drzewostany brzozy omszonej, „z których nieomal połowa uznawana jest jako nadające się na odroślowe plantacje energetyczne w krótkim cyklu".

Modrzew podobnie jak brzozy należy do gatunków pionierskich, którym sprzyjają warunki powierzchni otwartej. Optymalne warunki wzrostu znajduje modrzew na głębokich, przewiewnych i niezbyt zwięzłych glebach o stałym, średnim uwilgotnieniu [Jaworski 1994]. Plantacje modrzewiowe zakłada się w więźbie od 2,5 × 2,0 m do 4,0 × 4,0 m wysadzając 2 - 3 letnie sadzonki szkółkowane, spełniające wymogi pierwszej klasy polskiej normy na sadzonki drzew i krzewów do upraw leśnych i na plantacje [PN-R-67025 1999]. W plantacjach modrzewia europejskiego odmiany polskiej i sudeckiej założonych w takich więźbach uzyskano przeciętny roczny przyrost miąższości w przedziale 10 - 16 m^3/ha, w okresie pierwszych 25 lat wzrostu [Załęski i Kantorowicz 1998]. Przewiduje się, że wielkość produkcji z plantacji modrzewiowej założonej na siedlisku boru mieszanego świeżego, lasu mieszanego świeżego czy lasu świeżego, prowadzonej w cyklu 60-letnim, będzie się wahać od 675 do 860 m^3/ha, przy przeciętnym przyroście rocznym od 11,3 do 14,3 m^3/ha [Arbatowski i Załęski 1991]. Z plantacji modrzewiowych można zatem pozyskiwać znaczne ilości surowca drzewnego i osiągnąć zadawalające efekty ekonomiczne jednak w cyklu 60-70 letnim [Arbatowski 1991].

W leśnictwie świerk pospolity od dziesięcioleci jest cenionym gatunkiem ze względu na wielkość i jakość produkowanego drewna. Gatunek ten optymalne warunki wzrostu znajduje na świeżych, średnio zasobnych glebach [Jaworski 1994]. W początkowym okresie wzrostu świerk rośnie wolniej niż sosna, modrzew czy brzoza, ale stosunkowo szybko, około 40 roku, góruje nad tymi gatunkami pod względem zasobności drzewostanu. Chcąc jednak w pełni wykorzystać zdolności przyrostowe tego gatunku na plantacji, powinniśmy projektować cykl produkcyjny nie krótszy niż 60 lat, ze względu na późna kulminację przyrostu przeciętnego. Właśnie z tego względu niektórzy specjaliści nie zaliczają świerka do grona gatunków szybko rosnących, podkreślając równocześnie jego wysoką produkcyjność [Zabielski 1998]. Świerka proponuje się obecnie wysadzać na plantacjach w więźbie od 2,0 × 2,5 m do 2,5 × 3,0 m wykorzystując materiał sadzeniowy wyprodukowany z nasion pochodzących z wyłączonych drzewostanów nasiennych lub plantacji nasiennych [Gunia i Nowakowska 1995; Zajączkowski i Załęski 2007]. Więźba ta sprzyja produkcji grubych sortymentów w cyklu produkcyjnym co najmniej 60 letnim. Biorąc pod uwagę zakładanie plantacji celem produkcji drewna opałowego, wskazane jest zagęszczenie więźby i skrócenie cyklu produkcyjnego. Na siedlisku lasu mieszanego wilgotnego czy lasu mieszanego świeżego w północnej Polsce, plantacje założone w więźbie od 1,5 × 1,5 m do 2,0 × 2,5 m, w wieku 40 i 37 lat wykazały produkcyjność odpowiednio 416 i 461 m^3/ha, przy przeciętnym przyroście rocznym 10 – 13 m^3/ha [Bodły i Załęski 2009].

Daglezję zieloną Zajączkowski i Załęski [2007] kwalifikują do gatunków podstawowych. Przewiduje się, że na plantacji tego gatunku założonej w więźbie 3,0 × 3,0 m, na siedlisku lasu świeżego, produkcja w cyklu 60-letnim wyniesie 689 m^3/ha, a przyrost przeciętny 11,5 m^3/ha [Arbatowski i Załęski 1991]. Dotychczasowe wyniki doświadczeń wskazują na niską produkcyjność w pierwszych dwudziestu latach uprawy plantacyjnej. W okresie takim produkcyjność daglezji na siedlisku lasu świeżego wyniosła tylko 50 m^3/ha, co daje przyrost przeciętny całkowitej produkcji na poziomie 2,5 m^3/ha [Gunia i Nowakowska 1995]. Daglezja zachowuje się zatem identycznie jak świerk pospolity. Zagrożeniem dla plantacji daglezjowej są mrozy i przymrozki, które można ograniczyć stosując materiał sadzeniowy wyhodowany z nasion pochodzeń odpornych na mrozy i przymrozki (Columbia Brytyjska w Kanadzie, Stan Washington w USA oraz Polskie drzewostany i drzewa o potwierdzonej dobrej wartości hodowlanej) [Arbatowski i Załęski 1991; Zajączkowski i Załęski 2007].

Poza wymienionymi gatunkami Zajączkowski i Załęski [2007] wymieniają jeszcze olsze czarną, którą można również traktować jako gatunek potencjalnie przydatny do zakładania plantacji energetycznych. Olsza wykazuje najintensywniejszy przyrost w pierwszych pięciu latach, do 20 roku spada on do 3/4, a w wieku 30 lat do 1/3 przyrostu początkowego [Jaworski 1994]. Ponadto olsza wykazuje zdolność wytwarzania odrośli pniowych nawet w zaawansowanym wieku, które korzystając z systemu korzeniowego ściętego drzewa, przyrastają bardzo intensywnie. Niestety w zakresie wykorzystania olszy czarnej na plantacjach energetycznych nie prowadzono dotychczas żadnych badań. Z pewnością czynnikiem ograniczającym możliwości wykorzystania olszy są jej wysokie wymagania względem zasobów wody i żyzności siedliska. Optymalne warunki wzrostu znajduje bowiem na wilgotnych, głębokich glebach organogenicznych z zasobna wodą przepływową w zasięgu korzeni.

Gatunkiem drzewiastym o potencjalnie dużej przydatności w zakresie zakładania plantacji energetycznych jest robinia akacjowa (*Robinia pseudoacacia* L.). Niestety w Polsce do tej pory brak doświadczeń z tego typu plantacjami [Węgorek 2003; Zajączkowski 2007]. Na Węgrzech plantacje energetyczne robinii akacjowej założone w więźbie 1,5 × 0,3 m, 1,5 × 0,5 m i 1,5 × 1,0 m wyprodukowały w cyklu pięcioletnim odpowiednio 32,4; 21,7 i 15,9 t/ha suchej masy [Rédei i Veperdi 2009]. Wspomniani autorzy zalecają cykl produkcyjny nie krótszy niż pięcioletni, podkreślając iż użytkowanie w rotacji trzyletniej oznacza plon 2–3 krotnie mniejszy i większe zagrożenie plantacji ze strony szkodników. Grünewald i in. [2009] wykazali, iż z ekonomicznego punktu widzenia bardziej opłacalna jest produkcja biomasy z robinii akacjowej w cyklu trzyletnim niż dziewięcioletnim. W tym drugim przypadku na słaby efekt ekonomiczny wpływ miały wysokie koszty pozyskania biomasy. Należy zaznaczyć, że robinia akacjowa poza wieloma cechami pozytywnymi tj. szybki przyrost, miododajność czy wiązanie azotu, wykazuje zwłaszcza na żyźniejszych glebach wyraźną ekspansywność.

Jako potencjalne źródło biomasy do celów energetycznych zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 8 grudnia 2009 r. Dz. U. nr 215 poz. 1670, traktowana jest leszczyna z plonem reprezentatywnym na poziomie 8 t s.m./ha/a. Do gatunków takich teoretycznie można zaliczyć jeszcze klona jesionolistnego (*Acer negundo* L.), którego wartość opałową drewna badał Frączek i in. [2009] oraz graba pospolitego (*Carpinus betulus* L.), który podobnie jak klon jesionolistny wykazuje zdolności tworzenia odrośli oraz produkuje bardzo dobre drewno opałowe [Węgorek 2003].

II. Plantacje roślin energetycznych

Dariusz Kwaśniewski
Instytut Inżynierii Rolniczej i Informatyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
Krzysztof Mudryk, Marek Wróbel
Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Trawy i byliny

Przewiduje się, że plantacje roślin energetycznych będą stanowić w Polsce – obok lasów, plonów ubocznych rolnictwa (np. słoma) oraz terenów zielonych w miastach – główne źródło biomasy przeznaczonej do produkcji biopaliw. Taki system produkcji zagwarantować może określoną ilość biomasy o ujednoliconych parametrach wymaganych w procesach przetwórczych.

Tabela 6. Plony wybranych gatunków roślin energetycznych w doświadczeniach prowadzonych w IUNG w Puławach

Gatunek	Plony (t/ha suchej masy)				
	2004r.	2005r.	2006r.	2007r.	Średnio
Ciężka czarna ziemia (kompleks 8 -zbożowo-pastewny mocny)					
Wierzba - średnio z 4 klonów	14,7	12,8	11,1	12,7	12,8
Miskant - średnio z 5 klonów	10,2	19,2	15,6	15,8	15,2
Ślazowiec - obsada 10 tys/ha	7,4	10,0	10,3	9,3	9,2
Ślazowiec - obsada 20 tys/ha	14,8	20,8	20,4	17,1	18,3
Gleba średnia (kompleks 4 - żytni bardzo dobry)					
Wierzba - średnio z 4 klonów	13,3	10,8	11,5	12,4	12,0
Miskant - średnio z 5 klonów	13,9	20,7	16,7	21,0	18,1
Ślazowiec - obsada 10 tys/ha	6,4	9,0	11,4	9,6	9,1
Gleba lekka (kompleks 5 żytni dobry)					
Wierzba - średnio z 8 klonów	-	10,1	11,9	12,3	11,1
Miskant - średnio z 5 klonów	-	8,5	8,8	-	8,6
Ślazowiec - obsada 20 tys/ha	11,2	20,5	12,9	11,1	13,9
Topinambur (części nadziemne)	7,8	13,2	8,1	-	9,7

Źródło: opracowanie własne na podstawie Faber i inni 2009, Faber, Kuś 2007

Wyniki przeprowadzonych badań przez IUNG w Puławach wskazują, że potencjalnie do produkcji biomasy można wykorzystywać kilka gatunków roślin. Do najpopularniejszych należą: omawiana już w poprzednim podrozdziale wierzba wiciowa, a także ślazowiec pensylwański, miskanty i topinambur. W praktyce dobór ten będzie uzależniony od warunków siedliskowych, przyjętego sposobu zagospodarowania biomasy (spalanie, produkcja biogazu, produkcja gazu drzewnego itp.) oraz kosztów produkcji i transportu. W ścisłych doświadczeniach polowych uzyskuje się przeciętne plony większe o ok. 20%

niż w produkcji, a w przypadku roślin energetycznych różnica ta może być nawet większa – z uwagi na konieczność wprowadzenia odpowiednich dróg technologicznych. Realne plony roślin energetycznych, możliwe do uzyskania w produkcji mogą wynosić ok. 9-11 t/ha suchej masy [Faber, Kuś 2007].

W tabeli 6 przedstawiono porównanie plonów wyrażonych w [t/ha] suchej masy dla wybranych gatunków roślin uprawianych na cele energetyczne, dla różnych rodzajów gleby.

Ślazowiec pensylwański *Sida hermaphrodita* Rusby

Sida, malwa wirginijska, całkowicie błędnie nazywany też malwą pensylwańską – jest byliną, odrastającą corocznie, zwiększającą liczbę łodyg w zwartej kępie od jednej w pierwszym roku. Należy do rodziny ślazowatych, która obejmuje kilkaset gatunków roślin. Pochodzi z Ameryki Północnej gdzie występuje w środowisku naturalnym kilku stanów m. in. Wirginia i Pensylwania. Inne gatunki z tego rodzaju spotykane są na obszarach Afryki, Australii i Wyspach Zielonego Przylądka. W Polsce pojawił się w latach 50. ale dopiero w ostatnich latach propagowana jest uprawa ślazowca jako rośliny energetycznej [Majtkowski 2007]. Systematyka rośliny i jej wygląd przedstawiono w tabeli 7. W całym podrozdziale przyjęto systematykę za [Szweykowski i Szweykowski 2006].

Tabela 7. Ślazowiec pensylwański *Sida hermaphrodita* Rusby - systematyka

Klasa	dwuliścienne	*Dicotyledones*	
Podklasa	ukęślowe	*Dilleniidae*	
Nadrząd	ślazopodobne	*Malvanae*	
Rząd	ślazowce	*Malvales*	
Rodzina	ślazowate	*Malvaceae*	
Rodzaj	ślazowiec	*Sida*	
Gatunek	ślazowiec pensylwański	*Sida hermaphrodita* Rusby	

Źródło: opracowanie własne

Pokrój

Zwarta kępa o silnym systemie korzeniowym wykształcająca od kilku do kilkunastu pędów o wysokości ponad 3,5 metra.

Pędy

Wzniesione o przekroju okrągłym, średnicy od 5 do 50 mm, z otworem w środku w części dolnej, odrastające co roku z pączków wzrostowych znajdujących się na korzeniach w strefie przyłodygowej.

Liście

Dłoniaste, klapowane, brzegiem piłkowane, o dużej zmienności wcięć, omszenia i wielkości. Barwa liści od intensywnie ciemnozielonej poprzez jasnozieloną do seledynowej.

Kwiaty

Roślina owadopylna chętnie oblatywana przez pszczoły i obcopylna o dużym poliformiźmie. Kwiatostanem jest podbaldach składający się z drobnych kwiatków o średnicy ok. 20 mm o 5 białych płatkach korony, 5 działkach kielicha i żółtych pylnikach. Okres kwitnienia od lipca do września.

Owoc

Rozłupnia zawierająca średnio 5-8 nasion, o masie tysiąca nasion 2,5-4 g. Nasiona nie osypują się, a więc nie dochodzi do naturalnego podsiewania. Ze względu na tzw. zjawisko "twardości" nasion, ich zdolność kiełkowania bezpośrednio po zbiorze wynosi zaledwie 2%. Po roku przechowywania zdolność ta wzrasta do 50-60%. Owoce dojrzewają stopniowo na przełomie sierpnia i września.

Gatunek *Sida hermaphrodita* jest rośliną wieloletnią, polikarpiczną, o corocznie zamierających pędach. Dzięki obecności pączków wzrostowych na korzeniach, w strefie przyłodygowej roślina corocznie odrasta i zwiększa liczbę łodyg, od jednej w pierwszym roku do 20-30 w czwartym i w latach następnych. Ślazowiec pensylwański cechuje duży polimorfizm, łatwy do zaobserwowania na przykładzie kształtu liści. W łanie występują rośliny z liśćmi o bardzo wąskich, długich klapkach obok roślin tworzących liście o klapkach szerokich i krótkich. Można, więc wyodrębnić formy mniej ulistnione, tzw. łodygowe, bardziej przydatne do spalania i formy silnie ulistnione, bardziej predysponowane do produkcji np. biogazu [Gradziuk i inni 2003]. W czasie 50 dni od wschodów pojedyncza roślina osiąga wysokość 0,11-0,18 m, a u podstawy łodygi widać formujące się pączki. Pod koniec okresu wegetacyjnego ślazowiec wzrasta na 0,4-0,7 m wysokości. W następnych latach łodygi osiągają średnicę od 5 do 30 mm.

Interesujący jest sposób rozmnażania ślazowca. Może on być rozmnażany zarówno generatywnie (przez nasiona), jak i wegetatywnie przez różne części rośliny. Jednak najczęściej plantacje zakłada się wysiewając nasiona. Oprócz rozmnażania generatywnego, z powodzeniem można stosować sposób wegetatywny poprzez sadzonki z odcinków korzeni, przez dzielenie podziemnej części, a nawet przez sadzonki zielne, otrzymywane z zielonych pędów nadziemnych. W zależności od sposobu rozmnażania różnie rozwija się system korzeniowy ślazowca. Rozmnażanie generatywne prowadzi do wykształcenia głębokiego, palowego systemu korzeniowego, wegetatywne zaś spłyca rozmieszczenie korzeni, powodując horyzontalne, szersze jego rozmieszczenie. Korzeń główny roślin pochodzący z rozmnażania generatywnego po kilku latach może sięgać do 2,5-3,0 m w głąb gleby [Kościk i inni 2003].

Ślazowiec pensylwański nie ma specjalnych wymagań glebowych. Rośnie na wszystkich rodzajach gleb, nawet na piaszczystych V klasy bonitacyjnej, pod warunkiem, że są dobrze uwilgotnione. Uprawiając ślazowiec na cele energetyczne czy dla pozyskania nasion, należy pamiętać, że użytkowanie plantacji będzie trwać nie 3-4 lata (użytkowanie paszowe) ale 15-20 lat [Borkowska, Styk 2006].

Przygotowanie pola pod założenie plantacji ślazowca wymaga starannego odchwaszczenia oraz wykonania analiz chemicznych gleby w celu ustalenia właściwych potrzeb wapnowania oraz nawożenia fosforem i potasem. Na polach zaniedbanych (zaperzone i zarośnięte chwastami wieloletnimi) konieczne jest zastosowanie nieselektywnych herbicydów (zawierających glifosat). Na glebach silnie zakwaszonych (pH poniżej 5,5) zalecane jest zastosowanie przed uprawą pożniwną 2-3 t/ha nawozów wapniowych w przeliczeniu na CaO [Faber i inni 2009].

Podstawową czynnością jest orka przedzimowa na głębokość 0,18-0,22 m lub na całą miąższość warstwy ornej. Do tego zabiegu możemy się ograniczyć w przypadku, gdy przedplonem będzie roślina okopowa. Po innych przedplonach orka powinna być poprzedzona możliwie najwcześniej wykonaną i pielęgnowaną podorywką. Przyczyni się to do poważnego zmniejszenia zachwaszczenia i rozłożenia resztek pożniwnych i zachowania wilgoci w glebie. Wiosną, gdy rola obeschnie na tyle, że można wejść z narzędziami bez obawy tzw. mazania się gleby należy wykonać bronowanie, po kilku dniach kultywatorowanie i powtórne bronowanie. Aby ograniczyć liczbę przejazdów można zastosować agregat uprawowy.

Siew jest jedną z najważniejszych czynności w agrotechnice ślazowca. Musi on zapewnić określone zagęszczenie roślin na jednostce powierzchni, odpowiednie ich rozmieszczenie i możliwie jak najbardziej wyrównaną głębokość przykrycia nasion. Przedstawione wymagania spełnia siew maszynowy, który równocześnie zmniejsza pracochłonność uprawy. W zależności od wielkości zakładanej plantacji można stosować siewniki ogrodowe i zbożowe [Kościk i inni 2003]. Ślazowiec pensylwański wysiewamy w kwietniu. W przypadku dobrego uwilgotnienia gleby termin siewu można przesunąć na maj. Szeroka rozstawa rzędów (0,6-0,7 m) ułatwia międzyrzędowe zabiegi pielęgnacyjne w latach następnych. Nasiona można też wysiewać w marcu do rozsadnika, wazonów torfowo-glebowych lub do palet i wysadzać w kwietniu lub maju ukorzenione siewki. Ze względu na niewielkie rozmiary nasion, głębokość ich umieszczenia nie powinna przekraczać 10-15 mm. W zasadzie dla zapełnienia odpowiedniej obsady roślin, w optymalnych warunkach, wystarczy wysiew ok. 2 kg/ha. Uwzględniając jednak, że wiele czynników odbiega od optymalnych wartości (niedostatek wilgoci, niskie temperatury, zaskorupienie gleby itp.), bezpieczniej jest zwiększyć ilość wysiewu do 5-6 kg/ha. Nawet zbyt duże początkowe zagęszczenie siewek osiągnie optimum przed zakończeniem wegetacji w wyniku przepadania słabszych roślin [Borkowska, Styk 2006].

Wysiewając ślazowiec przy pomocy siewnika zbożowego należy wcześniej wymieszać nasiona z materiałem balastowym (trociny, drobne nasiona pozbawione zdolności kiełkowania, kasza manna lub inny podobny materiał) w celu równomiernego wysiewu tych drobnych nasion. Stosując siewnik ogrodniczy nie musimy mieszać nasion z balastem [Kościk i inni 2003].

Nawożenie ślazowca uzależnione jest od kierunku użytkowania plantacji, typu gleby, uwilgotnienia, czynników meteorologicznych itp. W roku zakładania plantacji z reguły nie stosuje się nawożenia mineralnego. W kolejnych latach należy stosować nawozy wczesną wiosną i wymieszać je z glebą. Wyższe dawki nawozów azotowych należy podzielić na dwie części, pierwszą zastosować wraz z nawozami fosforowo-potasowymi, zaś drugą przed zwarciem rzędów. Ślazowiec najsilniej reaguje na azot, którego dawka wynosić może nawet 250 kg/ha. Jednak należy przeanalizować efektywność ekonomiczną przed każdym nawożeniem azotem. Dawki nawozów fosforowych i potasowych powinny być

ustalone na podstawie analizy gleby. Nawożenie optymalne waha się w zależności od celu, na jaki zmierzamy przeznaczyć rośliny. W przypadku, gdy planujemy pozyskiwać nasiona, nawożenie potasowe to ok. 150 kg/ha K_2O, fosforowe to 60-90 kg/ha P_2O_5, zaś azotowe do 100 kg N/ha. Z kolei najwyższy plon łodyg uzyskano po wniesieniu 90-120 kg/ha P_2O_5, zmniejszeniu dawki potasu do 50-100 kg/ha oraz azotu do 100-150 kg/ha. Właśnie takie nawożenie można zalecać na plantacjach energetycznych ślazowca pensylwańskiego [Borkowska, Styk 2006].

Pielęgnowanie i ochrona plantacji ślazowca koncentruje się głównie na walce z chwastami. Bardzo istotne jest tu właściwe odchwaszczenie gleby przed siewem lub sadzeniem roślin, kiedy możliwe jest zastosowanie herbicydów. Po wschodach roślin ochrona ogranicza się do zabiegów mechanicznych.

Jeśli chodzi o choroby to przeprowadzone badania [Borkowska i Styk 1997, Styk 1984], wykazały, że ślazowiec nie jest porażany przez choroby, które mogłyby zagrozić plantacji. Niebezpiecznym patogenem może być *Sclerotinia sclerotiorum* wywołująca zgniliznę twardzikową. Dotychczas nie stwierdzono występowania szkodników na roślinach ślazowca pensylwańskiego [Anasiewicz 1989].

Biomasa ślazowca charakteryzuje się właściwościami, które powodują, iż jest on bardzo dobrym surowcem do produkcji brykietów i peletów (tabela. 8). Podczas procesów zagęszczania rozdrobniona rębarką, a następnie zmielona młynem biomasa bardzo dobrze się prasuje dając w efekcie końcowym trwały produkt. Że względu na te właściwości ślazowiec może pełnić rolę lepiszcza dodawanego do biomasy o gorszych właściwościach np.: biomasy miskanta.

Tabela 8. Plony oraz zawartość suchej masy w łodygach ślazowca pensylwańskiego w zależności od rodzaju podłoża i sposobu rozmnażania

Rodzaj podłoża	Rozmnażanie	
	generatywne	wegetatywne
Plon suchej masy [t/ha]		
Gleba mineralna	15,6-16,0	13,8-17,8
Osad ściekowy	9,3-9,6	11,0-11,3
Zawartość suchej masy [%]		
Gleba mineralna (zbiór jesienią)	45,0-66,3	45,0-72,4
Osad ściekowy (zbiór zimą)	70,0-77,1	63,4-76,6

Źródło: Kościk i inni 2003

Miskant olbrzymi *Miscanthus ×giganteus* Greef et Deu.

Synonimy to trzcina chińska, trzcinnik olbrzymi. Miskant jest również całkowicie błędnie nazywany trawą słoniową, która to jest pospolitą trawą afrykańską (*Pennisetum purpureum* Schumach.), jedną z najważniejszych składników roślinności sawannowej, zwłaszcza tzw. sawanny wysokiej. Miskant natomiast, to okazała, wieloletnia trawa kępowa z rodziny wiechlinowatych pochodząca pierwotnie z krajów Azji Południowo-Wschodniej. W środowisku naturalnym występuje na obszarze Japonii, Chin oraz Korei. W Europie uprawiana jest od ok. 50 lat jako roślina ozdobna. Dopiero w 1982 r. w Moser

k. Magdeburga została po raz pierwszy w Europie założona plantacja miskanta na cele energetyczne. Miskant olbrzymi jest naturalnym mieszańcem, powstałym ze skrzyżowania Miskanta Chińskiego (*Miscanthus sinensis* Anders.) z Miskantem cukrowym (*Miscanthus sacchariflorus* Maxim.). Roślina o cyklu fotosyntetycznym C4 lepiej wykorzystująca światło w procesie fotosyntezy niż rośliny cyklu C3 [Majtkowska i Majtkowski 2005]. W tabeli 9 przedstawiono systematykę oraz pokrój miskanta olbrzymiego oraz miskanta cukrowego omawianego w dalszej części podrozdziału.

Tabela 9. Miskant olbrzymi *Miscanthus ×giganteus* Greef et Deu.- systematyka

Klasa	jednoliścienne	*Monocotyledones*
Podklasa	liliowe	*Liliidae*
Nadrząd	komelinopodobne	*Commelinaes*
Rząd	trawowce	*Poales*
Rodzina	trawy	*Poaceae=Gramineae*
Rodzaj	miskant	*Miscanthus*
Gatunek:	miskant olbrzymi *Miscanthus ×giganteus* Greef et Deu. 	miskant cukrowy *Miscanthus sacchariflorus* Maxim 

Źródło: opracowanie własne autorów

Pokrój

Zwarta kępa o silnym systemie korzeniowym sięgającym do 2,5 m w głąb ziemi. Wykształca od kilku do kilkudziesięciu pędów o wysokości do 3,5 m (a nawet 4 m).

Pędy

Zwane źdźbłami są grube, sztywne i wypełnione gąbczastym rdzeniem. Średnica waha się od 10 do 30 mm. Tkanka twórcza znajduje się w dolnej części każdego międzywęźla.

Liście

Dwurzędowo ustawione, naprzemianległe, pochwiaste, równowąskie, żyłkowanie równoległe. W miejscu złączenia blaszki liściowej z pochwą występuje języczek. Blaszki liściowe ciemnozielone, długości 0,6–1,0 m, szerokości 8–32 mm, z charakterystycznym grubym, białym nerwem głównym.

Kwiaty

Charakterystyczny pierzasty kwiatostan (do 0,3 m długości) typu palmiasto – groniastej wiechy, który składa się z kilkudziesięciu cienkich gałązek rozmieszczonych grupami na piętrach osi kwiatostanu. Wzdłuż każdej gałązki znajdują się niewielkie sterylne kłoski (ok. 5 mm długości) z plewami pokrytymi jedwabistymi włoskami. Kwiaty trójkrotne, obupłciowe. Często jednak do nadejścia zimy kwiatostany są schowane w pochwach. Okres kwitnienia - koniec października.

Owoc

Roślina sterylna - nie wytwarza nasion.

Trawa ta nie ma dużych wymagań co do jakości gleby, na której jest uprawiana – mogą to być gleby nawet V klasy, a także nieużytki. Średnia roczna ilość opadów niezbędna do prawidłowego jej wzrostu i rozwoju wynosi 0,60 m, a średnia roczna temperatura ok. 8^{o}C. Wadą miskanta jest słaba odporność na mrozy, szczególnie w pierwszym roku uprawy [Grzybek 2009].

Sadzonki miskanta pełnię rozwoju osiągają dopiero w trzecim sezonie wegetacyjnym, dlatego należy zwrócić szczególną uwagę na staranne przygotowanie gleby przed wysadzeniem roślin. Jesienią wskazana jest pogłębiona orka zimowa poprzedzona wysoką dawką nawozów organicznych (obornik lub kompost) [Gradziuk i inni 2003]. Na glebach o pH poniżej 5,8-6,0 należy, przed wykonaniem uprawy pożniwnej, zastosować 2-3 t/ha nawozów wapniowych, w przeliczeniu na CaO [Faber i inni 2009]. Okres jesienny i wczesnowiosenny należy wykorzystać do prowadzania intensywnych zbiegów odchwaszczających – mechanicznych (kultywatorowanie, bronowanie) lub chemicznych (np. Roundup 360SL). Przed wysadzeniem roślin należy spulchnić glebę [Roszewski 1996].

W warunkach Polski miskant nie wytwarza dojrzałych nasion, co uniemożliwia jego generatywne rozmnażanie. Materiał nasadzeniowy uzyskuje się przez produkcję sadzonek kłączowych pozyskiwanych z plantacji matecznych. Plantację mateczną stanowi najczęściej trzyletni plantacja miskanta. Sadzonki można pozyskiwać przed lub po wschodach roślin. W pierwszym przypadku w kwietniu lub w maju wyoruje się kłącza roślin, dzieli na fragmenty długości ok. 0,1 m, które po przetransportowaniu na nowe pole przyoruje się na głębokość 0,15-0,20 m. Po sadzeniu niezbędne jest wałowanie wałem gładkim oraz (w razie okresowych niedoborów wody) nawadnianie. Sadzonki można też pozyskiwać po wschodach roślin, kiedy wysokość pędów osiągnie 0,10-0,15 m. Podobnie jak w pierwszym przypadku kłącza należy wykopać i podzielić na odcinki z pojedynczymi pędami. Wysadzanie można przeprowadzić mechanicznie za pomocą sadzarki ogrodniczej lub ręcznie w odstępach 1 x 1 m. Gęściejsze sadzenie nie jest korzystne ze względu na znaczną wysokość roślin i tworzenie dużej masy nadziemnej [Gradziuk inni 2003].

Obsada roślin miskanta, niezależnie od użytego materiału rozmnożeniowego powinna wynosić od 10 do 12 tys./ha. Zalecana rozstawa rzędów wynosi 0,075 – 1,0 m, a odległość roślin w rzędzie 0,6 -1,0 m. Głębokość sadzenia jest uwarunkowana wielkością sadzonek, ale na ogół nie przekracza 70-80 mm [Faber i inni 2009].

Miskant nie wymaga wysokiego poziomu nawożenia mineralnego, mimo iż wytwarza znaczny plon biomasy. Jako roślina o cyklu fotosyntetycznym C_4 ma większe możliwości przyrostu biomasy i lepiej wykorzystuje światło w procesie fotosyntezy niż rośliny w cyklu C_3. Dawki nawozów mineralnych dla miskanta olbrzymiego wahają się w granicach:

60-90 kg N/ha, 30-40 kg P_2O_5/ha, oraz 120-150 kg K_2O/ha. Nawożenie azotowe stosuje się na przełomie kwietnia i maja po ruszeniu wegetacji, a fosfor i potas jesienią lub wiosną. Na przełomie jesieni i zimy można stosować na plantacji miskanta płynny nawóz organiczny w postaci gnojowicy w maksymalnej ilości 30 m^3/ha, co odpowiada 180 kg N, 75 kg P_2O_5 i 150 kg K_2O i 30 kg MgO. Dawka ta może całkowicie zastąpić nawożenie mineralne [Gradziuk i inni 2003].

Nawozy należy wysiać wiosną po obeschnięciu pola i można je wymieszać z glebą narzędziem stosowanym do odchwaszczania międzyrzędzi. Z plonem miskanta wywozi się z pola małe ilości składników nawozowych, gdyż w czasie zasychania pędów roślina przemieszcza je do karp korzeniowych, a część powraca do gleby z opadającymi liśćmi.

Pielęgnacja plantacji w roku założenia polega głównie na ograniczeniu zachwaszczenia. Niezależnie od sposobu zakładania plantacji, obok mechanicznego zwalczania chwastów w międzyrzędziach, konieczne jest ich ręczne usuwanie z rzędów.

Późną jesienią trzeba zabezpieczyć plantację przed wymarzaniem. Należy wykosić tuż nad powierzchnią gleby odrosty miskanta i pozostawić je na powierzchni pola oraz rozrzucić cienką warstwę słomy lub liści. W następnych latach wyrównany łan miskanta ogranicza wzrost chwastów. Dotychczas nie stwierdzono na tej roślinie większego nasilenia chorób i szkodników [Faber i inni 2009].

Ze względu na wysoką efektywność wykorzystywania składników pokarmowych miskant odznacza się wysokim potencjałem plonowania na obszarze centralnej i południowej Europy, gdzie przewyższa plonowanie zbóż. Plonowanie miskanta do pewnego tylko poziomu wzrasta pod wpływem nawożenia. Wynika z tego, że miskant wymaga niewielkiego nakładu energii (nawożenia azotowego) na wyprodukowanie wysokiego plonu biomasy. Na dobrych glebach, przy sprzyjających warunkach atmosferycznych miskant olbrzymi, charakteryzuje się najwyższą produktywnością, może osiągać plon biomasy nawet do 40 t/ha. Ze względu na długi okres użytkowania plantacji (15-20 lat), jak i wysokie plonowanie jest bardzo cenny jako alternatywne źródło energii [Gradziuk i inni 2003].

Miskant cukrowy Miscanthus sacchariflorus Maxim.

Roślina osiągająca wysokość 1-4 m o sztywnych, wypełnionych rdzeniem źdźbłach i rozbudowanym, sięgającym do 2,5 m w głąb ziemi systemie korzeniowym, który umożliwia miskantowi cukrowemu skuteczne pobieranie z gleby składników pokarmowych i wody, a duża zawartość ligniny i celulozy chroni go przed uszkodzeniami mechanicznymi [Kościk i inni 2003]. Morfologia rośliny bardzo podobna do miskanta olbrzymiego z tą różnicą, że liście i źdźbła stosunkowo mniejsze, a kępa bardziej zwięzła. Cechą charakterystyczną rośliny jest wytwarzany corocznie, również w naszych warunkach, pierzasty kwiatostan (por. foto w tabeli 9).

Zalecana obsada może wynosić od 1 do 4 roślin na 1 m^2, co odpowiada rozstawie międzyrzędzi i odległości między roślinami 0,5–1 m. Zalecenia nawozowe dla miskanta cukrowego wynoszą: 60 kg N/ha, 50 kg P_2O_5/ha, oraz 100 kg K_2O/ha [Gradziuk i inni 2003].

Uprawiany przez wiele lat na jednym miejscu nie wymaga większej pielęgnacji. Zbiór i wykorzystanie biomasy podobnie, jak miskanta olbrzymiego. Daje się łatwo rozmnażać przez podział rozłogów. Lubi gleby lekkie, zasobne w składniki pokarmowe, o umiarkowanej wilgotności, chociaż toleruje także stanowiska suche, pozbawione kompleksu sorpcyjnego. Posiada zdolność do intensywnego pobierania z gleb metali ciężkich jest także wykorzystywanych jako roślina przeciwerozyjna. Najwyższe plony daje przy wysokich temperaturach i dużym nasłonecznieniu, dobrze reaguje też na nawożenie azotem [Kościk i inni 2003].

Ze względu na większą odporność na niskie temperatury i suszę miskant cukrowy wydaje się być lepiej przystosowany do uprawy w Polsce niż miskant olbrzymi (nie wymaga ściółkowania). [Kościk i inni 2003].

Słonecznik bulwiasty *Helianthus tuberosus* L.

Topinambur, bulwa, karczoch jerozolimski, grusza ziemniaczana, a nawet cytrus północy to inne nazwy tego gatunku byliny należącej do rodziny astrowatych. Występuje dziko w Ameryce Północnej. Do Polski sprowadzony został w drugiej połowie XIX w., jako roślina uprawna. Obecnie występuje też w środowisku naturalnym na całym niżu i w niższych położeniach górskich, jako uciekinier z uprawy. Na niektórych stanowiskach jest dość liczny. Według ekologów stanowi zagrożenie dla gatunków rodzimych i należy zaniechać jego uprawy na obszarach chronionych. Pokrój rośliny i systematyka znajduje się w tabeli 10.

Tabela 10. Topinambur *Helianthus tuberosus* L. - systematyka

Klasa	dwuliścienne	*Dicotyledones*	
Podklasa	astrowe	*Asteridae*	
Nadrząd	astropodobne	*Asteranae*	
Rząd	astrowce	*Asrerales*	
Rodzina	złożone	*Asteraceae=Compositae*	
Rodzaj	słonecznik	*Helianthus*	
Gatunek	słonecznik bulwiasty	*Helianthus tuberosus* L.	

Źródło: opracowanie własne

Łodyga

Wzniesiona, prosta, dorasta do 4m wysokości. Cała jest szorstko owłosiona.

Kwiaty

Zebrane w koszyczki podobne do koszyczków słonecznika, ale mniejsze. Zewnętrzne kwiaty w koszyczku (ok. 10), to płone kwiaty języczkowe o długości 25-45 mm, wewnętrzne to drobne kwiaty rurkowe, z których powstają nasiona. Kwiaty języczkowe są żółte, zaś rurkowe są pomarańczowe lub brunatne. Koszyczek okryty ciemnozielonymi lub prawie czarnymi i luźno odstającymi listkami okrywy. Kwitnie od lipca do listopada, owadopylny.

Owoc

Tzw. niełupki, są wyraźnie drobniejsze od owoców słonecznika i najczęściej nie dojrzewają, roślina rozmnaża się z podziemnych bulw pędowych.

Liście

Ulistnienie naprzeciwległe. Duże liście o owalnym lub jajowatym kształcie, grubo piłkowane i zaostrzone. Ich dwa dolne nerwy boczne są silnie łukowato wydłużone.

Część podziemna

Roślina wytwarza rozłogi na końcach których powstają podziemne bulwy pędowe, zawierające do 20% węglowodanu inuliny, nieszkodliwego dla cukrzyków, a zawartość skrobi i innych cukrów prostych jest niewielka. Dzięki takiej zawartości inuliny rośliny znoszą mróz i mogą zimować w glebie w naszych warunkach klimatycznych w przeciwieństwie do ziemniaka. Jedna roślina wytwarza do kilkudziesięciu bulw o różnej wielkości. Mają one nieregularny i różnorodny kształt.

W środowisku naturalnym występuje na przydrożach, w zaroślach nadrzecznych. Roślina ruderalna. Słonecznik bulwiasty łatwo zaopatruje się w wodę i składniki mineralne dzięki systemowi korzeniowemu, który jest mocny, dość głęboki (wprawdzie główna masa korzenia znajduje się na głębokości do 0,3 m, jednak pojedyncze korzenie sięgają 1,5 m w głąb gleby). Z węzłów podziemnej części łodygi oprócz korzeni wyrastają pędy podziemne (rozłogi), zwane stolonami, na końcach których tworzą się bulwy. Bulwa pod względem anatomicznym stanowi silnie skróconą, zgrubiałą, mięsistą łodygę podziemną, służącą do wegetatywnego rozmnażania, podobnie jak bulwy ziemniaka. Bulwy topinamburu mają wypukłe oczka i są dość liczne – roślina może wytworzyć do 50 bulw. Barwa skórki bulw zarejestrowanych roślin w Polsce ma być biała (odmiana Albik) bądź czerwonofioletowa (odmiana Rubik); barwa miąższu obydwu odmian jest biała.

Wymagania topinamburu są niewielkie. Dobrze znosi zmienne warunki klimatyczne i niskie temperatury jednak najkorzystniejsza dla tego gatunku jest pogoda ciepła i wilgotna. W warunkach ciepłego i słonecznego okresu wegetacji zawiązywanie bulw jest intensywne, natomiast chłody powodują obfitsze tworzenie zielonej masy. Bulwy topinamburu, w przeciwieństwie do bulw ziemniaka, dobrze znoszą niskie temperatury, nawet do -30°C, co jest związane z faktem, iż w ich składzie występuje wielocukier inulina, który powoduje podwyższenie stężenia soku komórkowego, przez co zwiększa odporność na mróz. Słabe jesienne przymrozki nie uszkadzają też części nadziemnych rośliny [Kościk i inni 2003].

Topinambur, podobnie jak inne rośliny okopowe, najlepiej udaje się na glebach średnio zwięzłych, przewiewnych, o dużej zasobności w składniki pokarmowe i dostatecznej wilgotności. Może być uprawiany na gorszych stanowiskach, mniej przydatnych do uprawy ziemniaka. Na glebach podmokłych i kwaśnych topinambur słabo plonuje [Góral 1999].

Przedplonem dla topinamburu mogą być wszystkie rośliny uprawne, a także niezbyt zachwaszczone odłogi. Warunkiem jest jednak staranna uprawa roli i właściwy dobór stanowiska. Podobnie jak pod inne okopowe, warstwa orna musi być głęboka: na glebach bielicowych 0,25 m, a na glinkach, lessach i murszach do 0,30 m [Gradziuk i inni 2003].

Uprawa roli pod topinambur powinna być głęboka, ponieważ części podziemne silnie się rozrastają. Głębokość uprawy decyduje o dobrym wzroście roślin w pierwszym roku, jak również plonowaniu w latach następnych. Podstawowym zabiegiem jest głęboka orka

do 0,30 m, a gdy warstwa orna jest płytka - orka z pogłębiaczem. Uprawki wiosenne na polu zaoranym jesienią polegają na stosowaniu brony zwykłej lub aktywnej; jeżeli gleba jest zbita, należy zastosować kultywator na głębokość 0,12-0,14 m. Przed sadzeniem bulw należy wyrównać wierzchnią warstwę gleby, co ułatwi sadzenie i korzystnie wpłynie na kiełkowanie [Kościk i inni 2003].

Topinambur jest rośliną dnia krótkiego, dlatego długi dzień letni w naszej szerokości geograficznej powoduje zahamowanie rozwoju generatywnego roślin. Niektóre biotypy uprawne zakwitają we wrześniu lub październiku, ale w większości przypadków nie dojrzewają przed nastaniem jesiennych przymrozków. Dlatego też na skalę produkcyjną topinambur rozmnażany jest wyłącznie wegetatywnie [Góral 1999].

Materiałem rozmnożeniowym topinamburu są bulwy wielkości 4-6 dag. Sadzenie bulw można wykonać jesienią (XI-XII) lub wczesną wiosną (III-IV). Bulwy są odporne na niskie temperatury. Ukorzeniają się i kiełkują już w temperaturze gleby wynoszącej 4-5^{o}C. Korzystniejszy wydaje się więc jesienny termin sadzenia, ponieważ rośliny rozpoczynają wegetację zanim gleba obeschnie i nadaje się do mechanicznej uprawy. W efekcie okres wegetacji topinamburu wydłuża się o 3 tygodnie, co wpływa korzystnie na plony. Głębokość sadzenia wynosi 0,1-0,15 m jesienią i 50-100 mm wiosną, a do sadzenia stosuje się sadzarki do ziemniaków. Gęstość sadzenia zalecana przez Górala [1999] wynosi 0,7-1,0 m między rzędami, w rzędach 0,5-0,6 m. W tym wypadku potrzeba jest ok. 1,5 t sadzeniaków na 1ha.

Zabiegi pielęgnacyjne polegają na bronowaniu plantacji po wschodach, pieleniu międzyrzędzi w miarę potrzeby oraz obredlaniu. Jeżeli pole jest silnie zachwaszczone można zastosować Trefla 240EC w ilości 1 l/ha lub Avalon 50WP – 1,2 kg/ha, zawsze jednak po uwzględnieniu zaleceń producenta. Po zwarciu łanu rośliny silnie ocieniają glebę i hamują rozwój chwastów [Gradziuk i inni 2003].

Topinambur nawozi się podobnie jak ziemniaki. Jednak ze względu na koszty na ogół nie stosuje się obornika. W zależności od zasobności i przedplonu ustala się dawki nawozów NPK. Przy przeciętnych warunkach kultury i zasobności gleby zalecane są dawki na 1ha: 60-120 kg N, 60-80 kg P_2O_5 i 120-160 kg K_2O. Nawożenie azotowe stosuje się zwykle w dwu równych dawkach, pierwszą przed sadzeniem, razem z fosforem i potasem, a drugą kiedy rośliny mają ok.0,5 m wysokości [Kościk i inni 2003]. Badania Sawickiej [1998a] wykazały, że zwiększenie nawożenia azotowego do 150 i 20 kg/ha może spowodować spadek plonu, zarówno bulw, jak i zielonej masy. Wykorzystanie azotu przez rośliny zależy od warunków pogodowych: w sezonie wegetacyjnym o wysokim poziomie opadów optymalną dawką N jest 100 kg/ha, natomiast w warunkach niedoboru opadów 50 kg/ha [Sawicka 1998b].

Słonecznik bulwiasty najczęściej uprawia się poza płodozmianem, przez kilka lat na tym samym polu, dlatego konieczne jest tzw. odnawianie plantacji. W tym celu po wykopaniu bulw pole należy zaorać, następnie wysiać nawozy w zależności od zasobności gleby (średnio w kg/ha: 60-80 $P_2 O_5$ i 120-160 K_2O), zabronować i dokładnie zebrać pozostałe bulwy. Z resztek bulw, jakie pozostały w glebie wyrasta zwykle łan roślin o znacznym

zagęszczeniu. Aby doprowadzić do właściwej obsady (3-4 rośliny na $1m^2$) należy po wschodach roślin zastosować opielacz międzyrzędowy z nożami bocznymi i przeciąć rzędy o rozstawie nie mniejszej niż 0,65 m. Następnie podobny zabieg trzeba przeprowadzić w poprzek rzędów. Rośliny odrastające w międzyrzędziach można wyciąć opielaczem. Pozostałe zabiegi wiosenne przeprowadzać tak, jak w 1 roku: obredlanie, nawożenie azotowe, odchwaszczanie w miarę potrzeb. Zbytnie zagęszczenie łanu topinamburu powoduje obniżenie plonu zielonej masy i bulw. Wieloletnia plantacja pozostawiona bez przerzedzania roślin i nawożenia mineralnego staje się nieefektywna [Góral 1996].

Mniej znane i nowe rośliny energetyczne

Spartina preriowa Spartina pectinata

Zasięg występowania: od Nowej Funlandii i Quebec (Kanada) po Arkansas, Texas i Nowy Meksyk (USA) Podobnie jak inne gatunki typu C-4, jest okazałą rośliną wyrastającą do wysokości ok. 2 m, tworzącą obszerne, luźne kępy (rys. 4a). Pędy generatywne są puste w środku.

Zastosowanie: Porastając brzegi strumieni zapobiega powodziom podczas okresów intensywnych opadów. Wykorzystywana jest również do umacniania piaszczystych wałów, grobli i tam. Mocne, ostro zakończone korzenie pozwalają przerastać podłoże niezależnie od jego zwięzłości.

Uprawa: W warunkach Polski spartina wytwarza nasiona, jednak ze względu na szybki spadek zdolności kiełkowania zalecane jest rozmnażanie wegetatywne poprzez podział rozłogów na wiosnę. Trawę tę najczęściej wysadza się w rozstawie rzędów 1,8-3,0 m i 0,5-0,75 m w rzędzie.

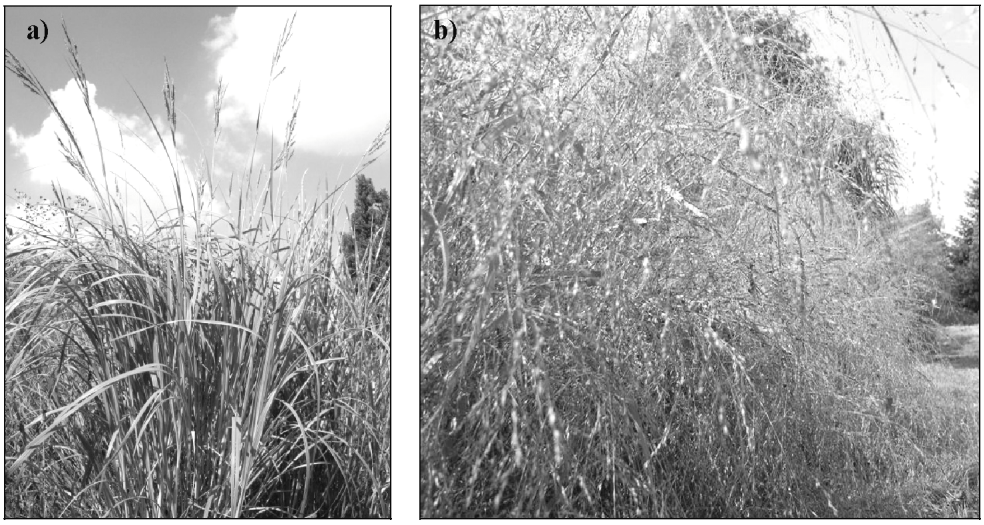
Plon: 17 t.s.m./ha [wg ARiMR]

Proso rózgowate *Panicum virgatum*

Zasięg występowania: na znacznych obszarach kontynentu północnoamerykańskiego, w zbiorowiskach roślinności trawiastej prerii. Wytwarza okazałe, zielone lub szarozielone kępy, osiągające najczęściej 1-2 (rzadziej 3) metry wysokości (rys. 4b).

Zastosowanie: amerykańskie odmiany dostarczają wartościowej paszy dla przeżuwaczy. Ze względu na dużą trwałość polecane są do zadarniania terenów zdegradowanych, w charakterze roślinności przeciwerozyjnej (rośliny tworzą krótkie, łuskowate rozłogi).

Uprawa: Mogą być uprawiane na glebach lekkich lub średnio zwięzłych, umiarkowanie zasolonych lub zasadowych. Plantację energetyczną prosa rózgowatego powinno się zakładać późną wiosną (druga połowa maja, czerwiec). Na terenach wilgotnych proso rózgowate zaleca się uprawiać w rozstawie rzędów od 0,6 – 0,9 m, a na terenach suchych – od 0,9 -1,2 m. Ilość nasion związana jest z rozstawą i tak, dla 0,6 m wynosi ona 1,9 kg/ha. Dla rozstawy 0,9 m ilość tę należy pomniejszyć do ¾, a dla 1,2 m – o połowę. Podobnie jak pozostałe trawy typu C-4 fotosyntezy proso rózgowate pełnię rozwoju osiąga w trzecim roku uprawy, stąd też wymaga starannego przygotowania pola, zwłaszcza usunięcia innych traw.
Plon: 10 t.s.m./ha [za Zamojski i in. 2009]



Rys. 4. Rośliny energetyczne: a – spartina preriowa *Spartina pectinatav* [foto. M. Wróbel], b – proso rózgowate *Panicum virgatum* [foto. M. Wróbel]

Palczatka Gerarda *Andropogon gerardi*

Zasięg występowania: Ojczyzną tego gatunku są prerie Ameryki Północnej. Jako gatunek ciepłolubny wegetację rozpoczyna dopiero w maju, dając największe przyrosty biomasy w VI-VIII, kiedy większość traw związanych z sezonem chłodnym (w tym większość polskich) przechodzi okres spoczynku (rys. 5a). Kwitnie od VIII do X, nasiona zawiązuje w październiku.

Zastosowanie: W swej ojczyźnie uważana jest za wartościową roślinę pastewną. Stosowana jest również jako roślina osłonowa na poboczach autostrad, jako roślina przeciwerozyjna oraz w rekultywacji terenów poprzemysłowych, m.in. zwałowisk po kopalnictwie.

Uprawa: *Andropogon gerardi* może być uprawiany na glebach umiarkowanie wilgotnych, o pH 5-8. Dobrze znosi zasolenie i suszę. Wymaga stanowiska starannie odchwaszczonego, jak również odchwaszczania przez pierwsze dwa lata od założenia plantacji. Wysiew nasion rzędowy, w ilości 3,4-4,6 kg/ha (mniejsza na stanowiskach suchych), najlepiej w maju. Odległość między rzędami 0,6-1,14 m, uzależniona od wilgotności gleby (większa na terenach suchych). Zbiór – po zakończeniu wegetacji po pierwszych przymrozkach.

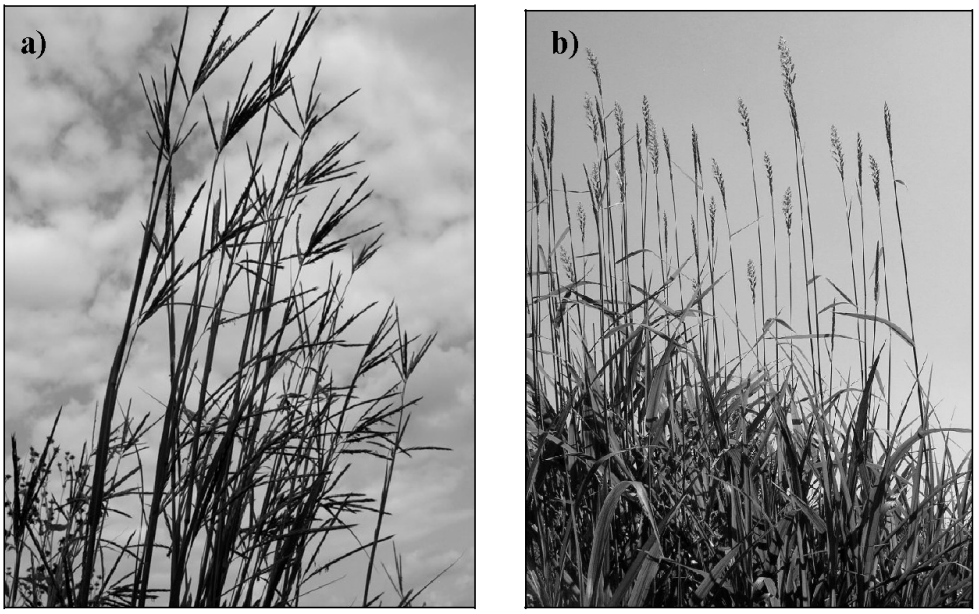
Plon: Zbiory dokonywane jesienią (po pierwszych przymrozkach) różnią się w zależności od jakości gleby: na piaszczystej, nie nawożonej glebie wynoszą 6 ton suchej masy na ha, zaś na nawożonej, żyznej glebie 24 t.s.m./ha [Majtkowska, Majtkowski 2005].

Mozga trzcinowata Phalaris arundinacea

Wystepowanie: gatunek rośliny wieloletniej należąca do rodziny wiechlinowatych (trawy). Występuje na całym niżu Polski, zwłaszcza w zbiorowiskach nadwodnych (rys. 5b).

Zastosowanie: jest gatunkiem rośliny wieloletniej. Dochodzi do wysokości 3 metrów i podobna jest do trzciny pospolitej. Jest to roślina silnie ulistniona. Kwitnie w czerwcu i lipcu. Roślina ta świetnie nadaje się na cele energetyczne oraz paszowe. Jest odporna na

suszę i mrozy. Może dać trzy pokosy. Do jej cech charakterystycznych należy szybki odrost po skoszeniu. Uprawiane głównie są dwie odmiany, Feesey oraz Motycka. Plon: 8 t.s.m./ha [wg ARiMR]



Rys. 5. Rośliny energetyczne: a – palczatka Gerarda *Andropogon gerardi* [foto. M. Wróbel], b – mozga trzcinowata *Phalaris arundinacea*

Słonecznik wierzbolistny *Helianthus salicifolius*

Występowanie: Gatunek ten należy do rodziny astrowatych. Pochodzi z suchych terenów Ameryki Północnej: równiny Teksasu i Nebraski. W siedlisku naturalnym najczęściej spotykany jest na poboczach dróg, nieużytkach, skalistych pagórkach,.

Jest rośliną wieloletnią, wytwarzającą okazałe kępy z licznymi pędami generatywnymi, osiąga wysokość do trzech metrów (rys. 6a).

Zastosowanie: W Polsce, słonecznik uprawiany jako bylina ozdobna w ogrodach. W naszym klimacie kwiatostany rozwijają się bardzo późno i są niewielkie. Główną jego ozdobą są zatem liczne, gęste, wąskie liście o długości 0,15 do 0,4 m.

Uprawa: Nie wytwarza nasion w związku z czym jest rozmnażany wegetatywnie przez podział kłączy. Liczba roślin na 1m² - 3szt.

Plon: około 18 t.s.m./ha.

Sylfia Silphium perfoliatum

Występowanie: bylina z rodziny astrowatych (*Asteraceae*), pochodząca z centralnych regionów Ameryki Pn. (rys. 6b).

Zastosowanie: Uznawana jest za cenną roślinę pszczelarską, leczniczą, paszową, a także ozdobną. Ze względu na niewielkie wymagania może być polecana jako roślina pionierska przy rekultywacji terenów zdegradowanych

Uprawa: Pędy sylfii osiągają wysokość do 2,5 m. Plantacje energetyczne zakładać należy jesienią (X-XI), przez wysiew nasion w rzędach o rozstawie 1,0 m.

Plon: Po 3-4 latach z plantacji można zbierać ok. 19 t.s.m. z ha.



Rys. 6. Rośliny energetyczne: a - słonecznik wierzbolistny *Helianthus salicifolius* [foto. M. Wróbel], b – sylfia *Silphium perfoliatum,* [foto. M. Wróbel]



Rys. 7. Szczaw tianszański *Rumex x tianschanicus* [Pastorek i in. 2004]

Szczaw tianszański Rumex x tianschanicus

Występowanie: jest mieszańcem, który został wyhodowany na Ukrainie.

Uprawa: Jest to roślina wieloletnia, która w pierwszym roku uprawy wytwarza tylko przyziemną rozetę liści. Od następnego sezonu pojawiają się pędy generatywne długości 1,5-2,5 m, które zasychają już na przełomie lipca i sierpnia (rys. 7). Zebrana w tym okresie biomasa zawiera poniżej 15% wody. Jest to niewątpliwą zaletą tego gatunku, gdyż większość wieloletnich roślin energetycznych (wierzba, miskanty, ślazowiec) nadaje się do zbioru zimą, kiedy wilgotność biomasy wynosi 40-50%. Szczaw wytwarza mocny korzeń, głęboko sięgający w głąb gleby. Może rosnąć na stanowiskach suchych, piaszczystych. Intensywne prace hodowlane z tą rośliną prowadzone są w Czechach.

Plon: 14-18 t.s.m./ha.

II. Plantacje roślin energetycznych

Wojciech Ząbecki, Magdalena Kacprzyk
Katedra Ochrony Lasu i Klimatologii Leśnej, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Zagrożenia i ochrona plantacji drzew szybko rosnących

W Polsce produkcja biomasy na plantacjach drzew szybko rosnących toruje drogę do wykorzystania gruntów rolniczych, odłogowanych oraz zdegradowanych, często o dużym potencjale produkcyjnym. Jest to uzasadnione, ponieważ w społeczeństwie panuje powszechnie pogląd o potrzebie ograniczenia pozyskania drewna w lasach, które również pełnią pozaprodukcyjne funkcje. Uprawy drzew szybko rosnących pozwalają wyprodukować biomasę i zaspokoić oczekiwania odbiorców na drewno bez naruszania zasobów najbardziej wartościowych ekosystemów leśnych.

W odróżnieniu od drzewostanów naturalnych, prowadzenie plantacji stwarza jednak szczególną możliwość pojawienia się i rozprzestrzeniania się różnych chorób oraz szkodników. Zjawiska chorobowe o niewielkim znaczeniu gospodarczym w lasach naturalnych, mogą osiągnąć stan zagrożenia w monokulturach drzew, prowadzący do ich rozpadu. Na sytuację tę wpływa szereg czynników zależnych od uwarunkowań środowiskowych istniejących na plantacjach. Monokultura stanowi bowiem ogromny rezerwuar jednolitego pokarmu dla patogenów i szkodników, wykazuje niską naturalną odporność na stres, ponieważ tworzą ją rośliny rozmnażane najczęściej wegetatywnie z jednolitych genetycznie kultywarów drzew. Ponadto bliskość drzew tego samego gatunku sprzyja infekcjom organizmów patogenicznych.

Uwarunkowania środowiskowe wpływające na zdrowotność plantacji

W warunkach krajowych do zakładania upraw plantacyjnych wykorzystywane są najczęściej pionierskie gatunki drzew oraz introdukowane, o szybkim wzroście. Przydatne są szczególnie gatunki liściaste, charakteryzujące się wczesną kulminacją przyrostu i wysokokalorycznym drewnem. Ponadto cechuje je łatwość w odnawianiu, tolerancja na pożar pokrywy gleby i presje ze strony zwierzyny. Są nimi: topole - *Populus* spp. (osika oraz kultywary topól), wierzby - *Salix* spp. (wiciowa, kaspijska, purpurowa), a także brzoza brodawkowata (*Betula pendula* Roth). Mogą być też uprawiane: świerk pospolity (*Picea abies* L.) Karst., modrzew europejski (*Larix decidua* Mill.), olsza czarna (*Alnus glutinosa* Gaertn.) oraz jedlica zielona (*Pseudotsuga menziesii* Carriere) [Zajączkowski 2006].

Powszechnie wiadomo, że możliwość egzystencji drzew w określonym miejscu zależy od ich odporności na występujące w środowisku stresory - czynniki szkodotwórcze, zaś poziom ich negatywnego oddziaływania może ulegać zmianom wraz ze wzrostem drzew. Decydujący wpływ na potencjalną zdrowotność plantacji i wrażliwość na stres wprowadzonych drzew mają głównie: uwarunkowania genetyczne drzew, jakość siedliska, otoczenie, sposób przygotowania gleby, rodzaj i intensywność zabiegów pielęgnacyjnych [Arbatowski i Załęski 1991; Pasyniuk 2007; Stolarski in. 2009].

Podstawowy wpływ na poziom zagrożenia przez czynniki szkodotwórcze ma dostosowanie gatunku do siedliska. Ważnym jest również otoczenie plantacji. Inne zagrożenia generuje bowiem sąsiedztwo plantacji z lasem, a inne ryzyko pociąga za sobą uprawa plantacji na granicy z terenami rolniczymi. W pierwszym przypadku, niebezpiecznym dla plantacji może być migracja z lasu szkodliwych owadów oraz zwierzyny w poszukiwaniu atrakcyjnych żerowisk. Plantacje otoczone terenami rolniczymi są z kolei częściej narażone na przedostawanie się z pól gryzoni oraz pożarów, które są wzniecane w czasie wiosennego wypalania suchych traw i chwastów.

Obniżenie zdrowotności drzew na plantacjach może także wynikać ze złej hodowli, a w szczególności z: (1) zachwaszczenia plantacji, (2) zbyt intensywnego nawożenia, (3) erozji gleby, (4) niewłaściwych czynności hodowlanych, w tym opóźnień w zastosowaniu różnych zabiegów hodowlanych (np. sadzenia), (5) nieodpowiedniego materiału sadzeniowego, (6) intensywnej uprawy roślin rolniczych na międzyrzędach lub żerowania zwierzyny, (7) cykli suchej pogody powodującej powolny wzrost.

Występujące na plantacji zagrożenia, choroby i szkodniki mogą mieć poważny wpływ na jakość oraz ilość produkowanej biomasy. Dlatego też wśród działań z zakresu ochrony plantacji na pierwszy plan wysuwa się postępowanie prewencyjne, polegające z jednej strony na zmniejszeniu genetycznie uwarunkowanej dyspozycji chorobowej rośliny poprzez rozmnażanie wolnych od chorób grzybowych i szkodników drzew, a z drugiej - na kształtowaniu predyspozycji chorobowej gospodarza poprzez regulowanie warunków środowiska. Jednak presja czynników środowiskowych, w tym klimatycznych, bywa często tak silna, ze mimo najlepszych starań nie jest możliwe uchronienie drzew na plantacji przed pogorszeniem się ich stanu zdrowotnego; wówczas dyspozycja na choroby i szkodniki staje się wysoka. W związku z tym wiedza o zagrożeniach, metodach ich przewidywania i zwalczaniu jest szczególnie przydatna. Profilaktyka musi uwzględniać także prawdopodobieństwo wystąpienia czynnika szkodotwórczego w określonych warunkach, w których zamierzamy prowadzić uprawy plantacyjne poszczególnych gatunków drzew, skuteczność stosowanego przeciwdziałania w tych warunkach, jak również rachunek ekonomiczny.

Młode uprawy - zagrożenia i ochrona

Newralgicznym okresem dla istnienia plantacji, ze względu na koncentrację zagrożeń ze strony różnych czynników szkodotwórczych, jest pora zakładania uprawy (tab. 11). Z zagrożeń abiotycznych należy dostrzegać możliwość wystąpienia uszkodzeń powodowanych przez niskie i wysokie temperatury, śnieg, wiatr oraz pożary ścioły lub suchych chwastów.

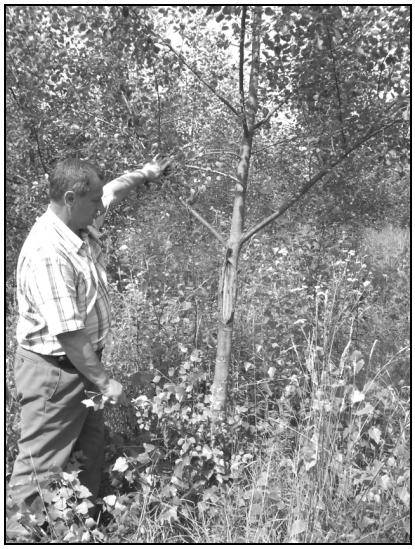
W początkowym okresie istnienia plantacji niskie temperatury, tj. przymrozki mogą uszkadzać wiosną rozwijające się pędy i liście, a w zimie przy braku śniegu mogą powodować przemarzanie korzeni. Zjawiska te są szczególnie niebezpieczne na terenach zmrozowiskowych, w zagłębieniach terenu ze stagnującymi zimnymi masami powietrza oraz w przypadku ich silnego zachwaszczenia. Przerastające drzewka chwasty tworzą bowiem rozległą warstwę wypromieniowania, powodując tym samym spadek temperatury powietrza w przygruntowej warstwie powietrza [Puchalski i Prusinkiewicz 1975].

Zagrożeniem dla młodych upraw są także wysokie temperatury, a zwłaszcza susza glebowa. Dotyka ona gatunków wykształcających płytki system korzeniowy, rosnących na glebach szkieletowych lub piaszczystych, z głęboko zalegającą wodą gruntową [Kołodziej

i Bilański 2004]. W słoneczne dni na drzewach o korze cienkiej i gładkiej, jak np. u topoli osiki, może powstawać słoneczna zgorzelina kory, powodująca rozległe martwice na pniach (rys. 8). W celu przeciwdziałania temu zjawisku, zarówno na młodej, jak i starszej plantacji zaleca się bielenie pni (tab. 11).

Jednak najgroźniejszym czynnikiem szkodotwórczym, który może zniszczyć plantacje jest pożar nagromadzonej suchej materii organicznej, tj. roślinności zielnej i ścioły. Pożar wypala nie tylko roślinność lecz również próchnicę, zabija mikroorganizmy glebowe - elementy w znacznej mierze decydujące o sprawności gleb. Wysokiemu zagrożeniu pożarowemu na plantacjach może sprzyjać wcześniejsze odłogowanie gruntów i ich zachwaszczenie. W okresie jesieni i wiosny martwe rośliny zielne szybko przesychają, stając się łatwopalnym materiałem. W okresie tym dochodzi też do wypalania traw w rowach, wzdłuż poboczy dróg, na skarpach lub zaniedbanych pastwiskach, co może spowodować rozprzestrzenianie się pożarów na plantacje.

Na plantacjach zagrożenie pożarowe jest znacząco wyższe w okresie poprzedzającym osiągnięcie zwarcia przez korony drzew, bowiem ograniczenie dostępu światła utrudnia rozwój roślinom runa, a tym samym kumulację suchej materii organicznej.



Rys. 8. Słoneczna zgorzelina kory na pniu osiki na plantacji w Nadleśnictwie Wichrowo [fot. W. Ząbecki]

Ograniczenie ryzyka wystąpienia pożaru można osiągnąć przez właściwe przygotowanie gleby pod nasadzenia, między innymi przez zabiegi doprowadzające do przyspieszenia rozkładu martwej biomasy. Należy unikać wyorywania bruzd i wysadzania w nich drzewek, ponieważ w bruzdach gromadzi się większa ilość ścioły, niż na wyżej położonych międzyrzędach. W przypadku powstania pożaru powoduje to wydłużenie czasu jej wypalania i dłuższe oddziaływanie wysokich temperatur na strzałki drzew. Dla zabezpieczenia plantacji bardzo skuteczne są izolacyjne pasy przeciwpożarowe, odcinające pobocza dróg, porośnięte chwastami nieużytkowane pastwiska i łąki, z których najczęściej mogą być

przenoszone pożary na plantacje. Na takich pasach o szerokości 2 m należy zwalczać chwasty, najlepiej przez utrzymywanie gleby w czarnym ugorze przez cały rok [Wiler 2007]. Chemiczne zwalczanie chwastów, szczególnie wieloletnich, przed wysadzaniem drzew ma decydujące znaczenie dla udatności plantacji w początkowym okresie jej istnienia. W kolejnych latach uprawy, zaleca się natomiast ich mechaniczne niszczenie na międzyrzędach.

Osiągnięcie wysokiego stopnia zabezpieczenia terenu plantacji przed ogniem wymaga działań, które obejmują: (1) zachowanie wymogów bezpieczeństwa, (2) regularne kultywarowanie gleby na międzyrzędach do czasu uzyskania zwarcia koron drzew, a na plantacjach starszych utrzymanie w sprawności przeciwpożarowych pasów izolacyjnych, (3) podkrzesywanie suchych gałęzi i usuwanie ich z plantacji.

Z kolei zagrożenia młodych upraw ze strony czynników biotycznych pojawiają się najczęściej w związku z infekcjami patogenicznych grzybów i żerem owadów na systemach korzeniowych, pędach i aparacie asymilacyjnym. Również zwierzęta, szczególnie gryzonie i zwierzyna płowa powodują uszkodzenia korzeni i nadziemnych części drzew (tab. 11).

Na gruntach leśnych duże znaczenie w nowo założonej uprawie plantacyjnej mają szkodniki z rodziny ryjkowcowatych (*Curculionidae*). Ogryzając korę i łyko strzałek oraz pędów rośliny, przyczyniają się do ich zamierania. W ramach profilaktyki zaleca się zwalczanie chwastów, wapnowanie gleby, zakładanie rowków chwytnych. Szczególnie groźne dla plantacji są pędraki, a w latach rójki - owady doskonałe z rodziny chrabąszczowate (*Melolonthidae*). Skuteczną metodą zwalczania jest właściwe przygotowanie gleby pod plantacje, polegające na jej mechanicznym przemieszaniu, podczas którego niszczone są pędraki [Kowalska 2001; Malinowski 2006]. Sprzymierzeńcami w walce z pędrakami są również mikroorganizmy, tj. grzyby, pasożyty i nicienie, wykorzystywane w postaci biopreparatów [Malinowski 2010].

Na młodych, jak i starszych plantacjach do groźnych patogenów, wywołujących choroby korzeni należą *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. s.l. oraz gatunki z rodzaju *Armillaria* spp. (tab. 11).

Charakterystycznym obrazem porażenia drzewek przez wspomniane patogeny jest grupowe - w wyniku rozprzestrzeniania się choroby poprzez korzenie - zamieranie drzewek. Według Sieroty [1995], w takim przypadku należy wyrywać porażone drzewka lub zastosować preparaty grzybobójcze. Skuteczną metodą ograniczania rozwoju choroby jest również mikoryzacja sadzonek [Kowalski 2007].

Zagrożeniem dla nowo założonych plantacji drzewiastych, jak i w kolejnych latach ich uprawy mogą być także rdze, których sprawcami są grzyby z rodzajów *Melampsora* spp., *Melampsoridium* spp. oraz *Chrysomyxa* spp. (tab. 11). W celu przeciwdziałania chorobom powodowanym przez wymienione patogeny zaleca się usuwanie podstawowego źródła infekcji, tj. liści lub igliwia poprzez jesienne grabienie i palenie. Ponadto po zaobserwowaniu na drzewkach pierwszych symptomów chorobowych, należy opryskać je fungicydami. Ponieważ większość sprawców rdzy należy do patogenów dwudomowych, skutecznym zabiegiem może być także usunięcie drugiego gospodarza, tj. o mniej istnym znaczeniu gospodarczym [Wołczańska 1999; Mańka 2005].

Zagrożeniem dla plantacji jest również zwierzyna - jelenie, sarny, zające, a także drobne gryzonie. Na nowo założonej uprawie plantacyjnej uszkodzenia powodowane przez ssaki kopytne polegają na zgryzaniu pędów, w tym zwykle wierzchołkowego. Bardzo często praktyce tej towarzyszy wyrywanie słabo ukorzenionych sadzonek [Piechowski 1994;

Szukiel 2001]. W miarę wzrostu drzewek na plantacjach zmienia sie charakter uszkodzeń. Polegają one głównie na czemchaniu lub spałowaniu (rys. 9).



Rys. 9. Ospałowana plantacja jarzębiny pospolitej w Rudawach [fot. E. Kula]

Planowanie ochronne należy rozpocząć od poznania warunków lokalnych kształtujących możliwości przedostawania się zwierząt na teren plantacji. Jako przeciwdziałanie powyższym zagrożeniom zaleca się stosowanie metod mechanicznych (grodzenie, osłony), chemicznych (repelenty) oraz urządzeń odstraszających zwierzynę (optycznych, akustycznych). Najlepsze efekty przynosi ochrona powierzchniowa polegająca na grodzeniu plantacji specjalną siatką o wysokości 2 m. Tylko niektóre gatunki, jak brzoza, czy też olsza nie wymagają ochrony, ponieważ są niechętnie zgryzane i spałowane. Ochrona drzewek przed zgryzaniem może polegać na nakładaniu w okresie jesieni na pędy repelentów - substancji działających drażniąco na zwierzynę. Pozostałe stosowane w lasach gospodarczych metody ochrony na plantacjach są mało skuteczne i kosztowne.

Plantacje, szczególnie na terenach z bujną roślinnością zielną, stwarzają także doskonałe warunki do żerowania dla drobnych gryzoni [Skorupska 1997]. Znaczenie gospodarcze mają głównie gatunki z rodziny nornikowate (*Arvicolidae*), w tym nornik bury (*Microtus agrestis* L.), nornik zwyczajny (*Microtus arvalis* Pall.), nornica ruda (*Myodes glareoulus* Schreb.), karczownik ziemnowodny (*Arvicola terrestris* L.) oraz myszowate (*Muridae*), tj. mysz leśna (*Apodemus flavicollis* Mel.) i mysz zaroślowa (*Apodemus sylvaticus* L.) [Borowski 1999; Jaworska 2000]. Uszkodzenia powstają w wyniku zjadania pędów młodych sadzonek oraz ogryzania kory młodych i starszych drzewek. Żerowanie gryzoni powoduje deformacje wzrostowe lub wręcz zamieranie sadzonek. Największe szkody wyrządzają drobne gryzonie w okresie ostrych i śnieżnych zim, kiedy zasobność pokarmu dla zwierząt roślinożernych gwałtownie maleje. Z badań Tichý'ego [1987] wynika, że drobne gryzonie wyrządzają duże szkody w uprawach leśnych przy znacznie mniejszym zagęszczeniu, niż ma to miejsce w polu, ponieważ zgryzienie stosunkowo niedużej ilości biomasy, na przykład pasa kory wokół strzałki drzewa lub korzenia, powoduje zamieranie całego drzewka.

Tabela 11. Potencjalne zagrożenia plantacji drzew w początkowym okresie ich prowadzenia oraz metody ochrony

Czynnik szkodotwórczy	Rodzaj uszkodzenia (nazwa choroby) / Skutki	Znaczenie[1]	Gatunek[2]	Prewencja i zwalczanie
Temperatura (wysoka)	susza*	+++	Św, Md	zabiegi agrotechniczne
	zahamowanie wzrostu, zamieranie	++	Wb, Tp, Ol	
		+	Brz	
Temperatura (wysoka)	Słoneczna zgorzelina kory*	+++	Tp_o	bielenie pni
	płatowe odpadanie kory, martwice, spadek wartości technicznej drewna	++	Ol, Wb	
Temperatura (niska)	przymrozki późne*	+++	Tp	właściwy dobór gatunku do siedliska
	zakłócenia wzrostu, zniekształcenia strzałek, zrakowacenia, zamieranie	++	Md, Św, Dg	
		+	Brz, Ol, Os, Wb	
Chwasty jedno - i dwuliścienne	Przygłuszenie	+++	Św, Md, Dg, Ol, Brz, Wb, Tp	zwalczanie mechaniczne, herbicydy
	zahamowanie wzrostu, zamieranie			
Melampsora spp., *Melamposoridum* spp., *Chrysomyxa* spp.	rdze igieł, liści*	++	Brz, Wb, Tp, Md, Św	usuwanie i palenie porażonych igieł, liści, pędów, fungicydy, biopreparaty
	nekrozy, przedwczesny opad liści, igieł, spadek przyrostów, spadek produkcji biomasy			
Opieńki (*Armillaria* spp.)	opieńkowa zgnilizna korzeni*	+++	Św	usuwanie i palenie porażonych roślin, biopreparaty
	zgnilizna korzeni, pni, zamieranie	++	Md, Dg, Brz, Ol, Wb, Tp	
Korzeniowce (*Heterobasidion* spp.)	huba korzeni*	++	Md, Dg, Brz	luźna więźba sadzenia, usuwanie pniaków, płodozmian, biopreparaty
	zgnilizna korzeni, pni, zamieranie			
Poświętnikowate (*Scarabaeidae*), Rolnice (*Agrotis* spp.), Sprężykowate (*Elateridae*)	ogryzanie korzeni	+++	Md, Św, Dg, Brz, Ol, Wb, Tp	zwalczanie mechaniczne, dezynsekcja gleby (insektycydy)
	zamieranie			
Szeliniaki (*Hylobius* spp.) Zakorki (*Hylastes* spp.) Kluki (*Otiorhynchus* spp.)	ogryzanie kory, łyka na strzałkach, pędach	+++	So, Św, Md, Dg	Rowki, pułapki klasyczne, feromonowe, insektycydy
	usychanie, zamieranie			

Czynnik szkodotwórczy	Rodzaj uszkodzenia (nazwa choroby) / Skutki	Znaczenie[1]	Gatunek[2]	Prewencja i zwalczanie
Gryzonie (norniki, karczowniki, myszy)	Ogryzanie korzeni, kory strzałek, pędów / zamieranie	++	Św, Md, Dg, Ol, Brz, Wb, Tp	zabiegi agrotechniczne, rodentycydy, pułapki chwytne, gazowanie nor
Zwierzyna (jeleń, sarna, zając)	Zgryzanie pędów, wydeptywanie*	+++	Wb, Tp_o	osłonki, grodzenie, repelenty
	zahamowanie przyrostu, deformacje, zamieranie	++	Św	
		+	Md, Brz Ol	

[1]istotne (+++), mniej istotne (++), mało istotne (+); [2]skróty nazw gatunków: świerk - Św, modrzew - Md, jedlica zielona - Dg, topola - Tp, topola osika - Tp_o, olsza - Ol, wierzba - Wb, brzoza - Brz; *zagrożenie w całym cyklu produkcyjnym

Źródło: opracowanie własne autorów

Zapobieganie zasiedlaniu miejsc intensywnej uprawy drzew na plantacjach przez drobne ssaki jest ważniejsze, niż ich późniejsze zwalczanie. Podstawowe znaczenie ma więc zagospodarowanie terenów przyległych, które powinno sprzyjać bytowaniu naturalnych wrogów drobnych ssaków. Wokół plantacji wskazane jest układanie kopców z kamieni, gdzie mogą mieszkać łasice, jedne z najgroźniejszych wrogów drobnych ssaków (nornik, nornica, mysz). Jesienne podorywki i głębokie orki na gruntach przyległych do plantacji niszczą zaś systemy nor oraz zebrane na zimę zapasy, przez co wzrasta śmiertelność drobnych ssaków. Najważniejszym zabiegiem pielęgnacyjnym dla ochrony plantacji przed drobnymi ssakami jest częste koszenie roślinności trawiastej wokół nich lub kultywatorowanie gleby na międzyrzędach. Skoszone chwasty powinny być bezwzględnie zgrabione i usunięte poza teren plantacji.

Drobne gryzonie można również zwalczać środkami chemicznymi - rodentycydami, w postaci gazów (karczownik), roztworów do emulgowania oraz trutek (nornica), wprowadzanych do wykrytych nor. Podkreślenia wymaga fakt, iż ochrona chemiczna przed ssakami powinna być stosowana z wielką ostrożnością ze względu na zagrożenia dla zwierząt i ludzi. Istotną rolę w walce z gryzoniami odgrywają także metody biologiczne, polegające głównie na wykorzystaniu ich naturalnych wrogów, tj. ssaków, w tym lisa, jenota, kuny leśnej, gronostaja i łasicy, a także ptaków z rzędu szponiaste (*Falconiformes*) i rodziny krukowate (*Corvidae*). Można to osiągnąć przez stwarzanie im sprzyjających warunków osiedlania się poprzez zawieszanie dla ptaków budek lęgowych, zakładanie podestów pod gniazda lub budowę tzw. czatowni (ustawianie na plantacjach wysokich tyczek z poziomymi poprzeczkami) [Kasprzak i Dobies 1999].

Innym sposobem pogarszającym warunki życia drobnych gryzoni jest stosowanie biodynamicznej metody ochrony roślin, polegającej na ograniczaniu liczebności drobnych gryzoni przez wykorzystanie niektórych roślin (gryka, gorczyca, cykoria), oddziaływujących na gryzonie toksycznie poprzez śmiertelne uszkodzenia układu krwionośnego i pokarmowego. Wykorzystanie takich roślin może mieć miejsce na leśnych plantacjach drzew szybko rosnących na międzyrzędach, wzdłuż granic lub na terenach przyległych

Ochrona plantacji w okresie produkcyjnym

Plantacje modrzewiowe

Na modrzewiach mogą pojawiać się licznie patogeny i owady zagrażające prawidłowemu wzrostowi drzew na plantacjach (tab. 12).

Tabela 12. Główne zagrożenia i ochrona plantacji modrzewiowych

Czynnik szkodotwórczy	Rodzaj uszkodzenia (nazwa choroby) / Skutki	Znaczenie	Prewencja i zwalczanie
Wełniczka pasożytnicza (*Lachnellula willkommii*)	rak drzewny / zamieranie pędów	++	usuwanie porażonych pędów, fungicydy
Meria laricis	opadzina modrzewiowa / przebarwienia, przedwczesny opad igieł, zahamowanie przyrostu, deprecjacja materiału	+++	usuwanie porażonych roślin, fungicydy
Pochwik modrzewiowiec (*Coleophora laricella*)	minowanie igieł / przebarwienia igieł, pędów, zmniejszenie przyrostu, usychanie	++	insektycydy IV/V (gąsienica), VI (motyl)
Smrekun trzopek (*Adelges laricis*) Ochojnik świerkowy zielony (*Sacchiphantes viridis*)	wysysanie igieł / kolankowate załamania igieł, przedwczesny opad igieł	++	unikanie sąsiedztwa świerka, aficydy
Żywiczaneczka modrzewianeczka (*Cydia zebeana*)	żer pod korą / deformacje pędów	+	usuwanie porażonych strzałek i pędów przed wylotem motyli
Lycin modrzewiowiec (*Argyresthia laevigatella*)	żer pod korą długopędów / zamieranie pędów	++	usuwanie porażonych strzałek i pędów przed wylotem motyli
Kornik modrzewiowiec (*Ips cembrae*)	żer pod korą / zamieranie	++	usuwanie zasiedlonych drzew
Zwierzyna (jeleń, sarna)	czemchanie[1], spałowanie[2] / deformacje, zahamowanie przyrostu, zamieranie	+++[1] +[2]	osłonki, palikowanie, grodzenie, repelenty

Źródło: opracowanie własne autorów

Spośród chorób grzybowych najgroźniejszymi dla plantacji modrzewowych są opadzina modrzewiowa oraz rak modrzewia, których sprawcami są odpowiednio *Meria laricis* (Vuill.) i *Lachnellula willkommii* (Hart.) [Zarzyński 2005b]. Zwalczanie polega na usuwaniu silnie porażonych drzew oraz stosowaniu fungicydów.

Groźnymi dla plantacji modrzewiowych może być także masowe występowanie szkodników owadzich, w tym pierwotnych. Z badań przeprowadzonych przez Króla i Skrzypczyńską [1974] wynika, że na plantacjach modrzewia duże znaczenie gospodarcze ma pochwik modrzewiowiec (*Coleophora laricella* Hb.). Ponadto mogą występować smrekun trzopek (*Adelges laricis* Vall.) oraz ochojnik świerkowy zielony (*Sacchiphantes viridis* Ratz.). Aby ograniczyć ryzyko zagrożeń powodowanych na plantacjach przez wspomniane

gatunki należy zakładać je na właściwym siedlisku, usuwać chwasty, protegować ptaki owadożerne przez rozmieszczanie dla nich budek lęgowych, a także - w przypadku ochojnika i smrekuna - unikać sąsiedztwa drzewostanów modrzewiowych i świerkowych. Można też zwalczać szkodniki, stosując insektycydy oraz aficydy o działaniu wgłębnym lub systemicznym [Łabanowski 2001]. Gdy na plantacji pojawiają się szkodniki żerujące pod korą, tj. żywiczaneczka modrzewianeczka (*Cydia zebeana* (Ratz.) i lycin modrzewiowiec (*Argyresthia laevigatella* Herr.-Schäff.) należy stosować wyłamywanie zaatakowanych przez owady strzałek i pędów przed wylotem motyli. Kornika modrzewiowca (*Ips cembrae* Heer) zwalcza się przez usuwanie zasiedlonych drzew (tab. 12). Częstym zjawiskiem na plantacjach modrzewia mogą być szkody od zwierzyny polegające na czemchaniu lub spałowaniu drzew. Ochronę plantacji przed zwierzyną omówiono w rozdziale 1.3. *Młode uprawy - zagrożenia i ochrona*.

Plantacje świerkowe

Uszkodzenia świerka spowodowane ekstremalnymi zjawiskami meteorologicznymi są na plantacjach spotykane stosunkowo rzadko. Mogą jednak powstawać w wyniku łamania drzew przez wiatr i śnieg w okresie kulminacji przyrostu na wysokość (tab. 13). Uszkodzone w ten sposób drzewa należy usuwać w celu przeciwdziałania infekcjom grzybów i masowym pojawom owadów. Na plantacjach świerka istotne zagrożenie może powodować grzyb *Gremmeniella abietina* (Lagerb.) Morelet., którego uważa się za sprawcę zamierania świerka w wielu krajach europejskich [Mańka 1998; Kowalski 2000]. Ponadto ważne są choroby igieł, tj. niżowa osutka świerka i brunatnienie igieł świerka. Sprawcą tej pierwszej jest grzyb *Lophodermium piceae* (Fckl.), zaś drugiej *Rhizosphaera kalkhoffii* (Bub.) (tab. 13) [Mańka 2005]. Świerki w monokulturze są także podatne na uszkodzenia powodowane przez szkodniki owadzie, w tym chrząszcze, mszyce oraz motyle i roślinarki (tab. 13). Wśród szkodników igieł duże znaczenie dla plantacji świerka mają mszyce: ochojnik świerkowo - modrzewiowy (*Adelges laricis* Vall.), ochojnik świerkowy zielony (*Sacchiphantes viridis* Ratz.), ochojnik świerkowiec (*Sacchiphantes abietis* (L.)) oraz ochojnik świerkowo - sosnowy (*Pineus orientalis* Dreyf.). Występowaniu ich można przeciwdziałać poprzez unikanie sadzenia plantacji w miejscach występowania roślin - drugiego żywiciela szkodnika oraz stosując wczesną wiosną oprysk kontaktowymi preparatami owadobójczymi lub usuwając w terminie do połowy czerwca galasy [Szmidt 1998; Łabanowski 2001].

Tabela 13. Główne zagrożenia i ochrona plantacji świerkowych

Czynnik szkodotwórczy	Rodzaj uszkodzenia (nazwa choroby) Skutki	Znaczenie	Prewencja i ochrona
Wiatr (gwałtowny)	uszkodzenia mechaniczne złomy, wywroty, zamieranie	++	-
Opady mokrego śniegu	okiść łamanie wierzchołków, gałęzi, złomy, wywroty	++	strząsanie śniegu
Grad	kaleczenie drzew nekrozy, zamieranie igieł, pączków	++	unikanie zakładania plantacji w rejonach szlaków gradowych

cd. tab. 13

Czynnik szkodotwórczy	Rodzaj uszkodzenia (nazwa choroby) Skutki	Znaczenie	Prewencja i ochrona
Gremmeniella abietina	zamieranie pędów nekrozy, przedwczesny opad igieł, zamieranie drzewek	++	usuwanie i palenie porażonych roślin, fungicydy (wiosną)
Lophodermium piceae	niżowa osutka świerka zamieranie igieł, ich przedwczesny opad	++	usuwanie i palenie opadłych igieł, fungicydy
Rhizosphaera kalkhoffii	brunatnienie igieł świerka zamieranie igieł, ich przedwczesny opad	+	
Wydrążka świerkowa *Epinotia tedella*	minowanie starszych igieł przebarwienia igieł, pędów, zmniejszenie przyrostu, usychanie	+	insektycydy
Pristophora abietina, Oligonychus ununguis	wysysanie młodych igieł zahamowanie przyrostu, usychanie wierzchołków	++	insektycydy, biopreparaty
Ochojniki (*Sacchiphantes* spp.)	żer w pączkach zniekształcenia pędów, wyrośla na końcach pędów	++	Unikanie sąsiedztwa drugiego gospodarza, aficydy
Korniki (*Ips* spp.)	żer pod korą i w drewnie zamieranie, spadek wartości technicznej drewna	+++	usuwanie zasiedlonych drzew
Zwierzyna (jeleń, sarna)	spałowanie deformacje, zahamowanie przyrostu, zamieranie	+++	osłonki, grodzenie, repelenty

Źródło: opracowanie własne autorów

Plantacje jedlicy

Pod względem zagrożenia ze strony czynników abiotycznych, jedlica zielona należy do gatunków odpornych na okiść, wiatry, suszę oraz przymrozki późne. Niemniej uznaje się ją za wrażliwą na przymrozki wczesne [Puchalski i Prusinkiewicz 1975]. Dlatego do uprawy plantacyjnej należy używać tych proweniencji, które nie tylko charakteryzują się dużymi możliwościami przyrostowymi, lecz również wykazują znaczną odporność na przymrozki [Zajączkowski 2006]. Podobnie, jak modrzew, daglezja jest stosunkowo odporna na patogeny i szkodniki owadzie, chociaż zagrożenie z ich strony wzrasta na uprawach plantacyjnych [Dominik i Grzywacz 1998]. Wśród chorób grzybowych zagrażających plantacjom daglezji zielonej należy wymienić szkocką osutkę daglezji, której sprawcą jest *Rhabdocline pseudotsugae* subsp. *pseudotsugae* (tab. 14) [Łabanowski 2001]. Skutkiem porażenia drzewek są chlorotyczne przebarwienia tegorocznych roczników igieł i ich przedwczesny opad, co w konsekwencji prowadzi do zahamowania przyrostu. W celu zapobieżenia wystąpieniu choroby na plantacji zaleca się staranne usuwanie chwastów, niszczenie porażonych roślin z plantacji i jej sąsiedztwa oraz oprysk roślin fungicydami. Lokalnie znaczenie może mieć również *Phomopsis pseudotsugae* (Wilson). Spośród szkodników owadzich, groźnym dla plantacji daglezji może być mszyca - przybyszka daglezjowea (*Gilletteella cooleyi* Gill.) [Schnaider 1991]. Owad ten, uszkadza aparat asymilacyjny, prowadząc do

zmniejszenia przyrostu drzewek. W celu zwalczania tego szkodnika zaleca się stosowanie w okresie spoczynku wegetacyjnego środków ochrony z grupy aficydów.

Podobnie, jak w przypadku innych gatunków, daglezja narażona jest na szkody ze strony zwierzyny, tj. czemchanie i spałowanie (tab. 14). Najlepszą metodą ochrony jest jej ogrodzenie.

Plantacje brzozowe

Brzoza brodawkowata jest jedynym gatunkiem nadającym się do uprawy plantacyjnej na ubogich siedliskach. Należy ona do roślin mało wrażliwych na suszę i niską temperaturę [Bodył 2004]. Natomiast może być uszkadzana mechanicznie przez grad, w wyniku czego powstają rany, stanowiące drogę infekcji dla patogenów (tab. 15).

Do groźnych patogenów brzozy należy zaliczyć *Cylindrocarpon destructans* (Zinnsm.) i *Nectria cinnabarina* (Tode) Fr. (tab. 15). *Cylindrocarpon destructans* powoduje nekrozy korzeni, przyczyniając się tym samym do osłabienia drzew. Z kolei *Nectria cinnabarina* poraża pędy i gałęzie, prowadząc częstokroć do ich zamierania. W celu obniżenia ryzyka licznego występowania patogenów należy utrzymywać higienę na plantacji poprzez usuwanie zainfekowanych drzew lub ich fragmentów. Ponadto zabiegi te są również właściwe w przypadku występowania drzew porażonych przez porka brzozowego (*Piptoporus betulinus* (Bull.) Karst.) i hubiaka pospolitego (*Fomes fomentarius* (L.: Fr.) Kick.) (tab. 15) [Zarzyński 2005a].

Tabela 14. Główne zagrożenia i ochrona plantacji jedlicy

Czynnik szkodotwórczy	Rodzaj uszkodzenia (nazwa choroby) / skutki	Znaczenie	Prewencja i zwalczanie
Temperatura (niska)	przymrozki wczesne, mróz / zamieranie niezdrewniałych pędów, drzew	++	unikanie zmrozowisk
Opady mokrego śniegu	okiść / łamanie wierzchołków, gałęzi, deformacje, złomy, wywroty	++	strząsanie śniegu
Wiatr (gwałtowny)	uszkodzenia mechaniczne / złomy, wywroty, osłabienie, zamieranie	+	-
Rhabdocline pseudotsugae subsp. *Pseudotsugae*	szkocka osutka daglezji / przedwczesny opad igieł, zahamowanie wzrostu	++	usuwanie porażonych drzew, fungicydy (VI/VII)
Phomopsis pseudotsugae	zamieranie pędów daglezji / nekrozy kory, zamieranie	++	usuwanie i palenie porażonych pędów, fungicydy
Przybyszka daglezjowa (*Gilletteella cooleyi)*	wysysanie igieł / przebarwienia, skręcanie i przedwczesny opad igieł, zahamowanie wzrostu	++	aficydy (XI - III) lub (IV - VI)
Zwierzyna (jeleń, sarna)	czemchanie[1], spałowanie[2] / deformacje, zahamowanie przyrostu, wady techniczne drewna, zamieranie	+++[1] ++[2]	osłonki, grodzenie, repelenty

Źródło: opracowanie własne autorów

Liście brzozy mogą być uszkadzane przez owady, między innymi naliścicę wierzbową (*Lochmaea caprea* L.) i płasta brzozowca (*Croesus septentrionalis* L.), które to owady możemy niszczyć insektycydami o działaniu kontaktowym. Mniejsze - od poprzednich - znaczenie mają zdobnik brzozowiec (*Byctiscus betulae* L.) i zwijacz czarny (*Deporaus betulae* L.), które również zwalcza się za pomocą insektycydów. Z kolei w drewnie mogą żerować gatunki z rodziny przeziernikowate (*Sesiidae*) oraz bucz olchowiec (*Xiphydria camelus* L.). Zwalcza się je przez usunięcie zasiedlonych drzew. W przypadku osłabienia drzew powstają warunki do ich zasiedlenia przez ogłodka brzozowca (*Scolytus ratzenburgii* Jans.).

Tabela 15. Główne zagrożenia i ochrona plantacji brzozowych

Czynnik szkodotwórczy	Rodzaj uszkodzenia (nazwa choroby) / Skutki	Znaczenie	Prewencja i zwalczanie
Grad	kaleczenie drzew / nekrozy, zamieranie liści, pączków	+	unikanie zakładania plantacji w rejonach szlaków gradowych
Cylindrocarpon destructans	choroby korzeni / nekrozy korzeni	++	usuwanie i palenie porażonych drzew
Nectria cinnabarina	zamieranie pędów i gałęzi / zgnilizna drewna, przerzedzenie korony, zamieranie młodych drzewek	++	usuwanie i palenie porażonych pędów, gałęzi, fungicydy
Porek brzozowy (*Piptoporus betulinus*), Hubiak pospolity (*Fomitopsis pinicola*)	choroby pni / zgnilizna drewna	+	usuwanie porażonych drzew
Naliścica wierzbowa (*Lochmaea capreae*)	szkieletowanie liści / zamieranie	++	insektycydy (IV/V)
Płast brzozowiec (*Croesus septentrionalis*)	żer na liściach / zahamowanie wzrostu, zamieranie	++	insektycydy VI/VIII (larwy)
Zdobnik brzozowiec (*Byctiscus betulae*) Zwijacz czarny (*Deporaus betulae*)	żer na liściach / usychanie, więdnięcie, zamieranie liści	+	insektycydy (larwy)
Przeziernik olchowiec (*Synanthedon spheciformis*) Przeziernik brzozowiec (*Synanthedon scoliaeformis*) Przeziernik osowiec (*Sesia apiformis*)	żer w drewnie / osłabienie, zamieranie pędów	++	usuwanie i palenie porażonych pędów, drzew, insektycydy
Bucz olchowiec (*Xiphydria camelus*)	żer w drewnie / osłabienie, zamieranie pędów	++	usuwanie i palenie porażonych pędów, drzew
Ogłodek brzozowiec (*Scolytus ratzenburgii*)	żer pod korą / zamieranie drzew	++	usuwanie zasiedlonych drzew

Źródło: opracowanie własne autorów

Plantacje olchowe

Spośród drzew zalecanych do uprawy plantacyjnej, olsza należy do najmniej podatnych na choroby grzybowe wywołujące nekrozy, rany, lub też zgorzele kory i łyka. Można zatem twierdzić, że olsza jest szczególnie atrakcyjna dla uprawy plantacyjnej. Występowanie chorób grzybowych na olszach związane jest głównie z osłabieniem drzew przez czynniki abiotyczne (mrozy, susze), gdy stanowią one ostatnie ogniwo w łańcuchu chorobowym [Siwecki 1980]. Groźną chorobą grzybową zagrażająca udatności plantacji i mogącą powodować masowe zamieranie drzewek jest fytoftoroza wywołana przez *Phytophthora alni* (Brasier et al.). O tym, jak ważny jest to problem świadczy zjawisko zamierania olszy w latach 90. ubiegłego wieku w Wielkiej Brytanii, a ostatnio także i w Polsce [Orlikowski i Oszako 2009]. W celu przeciwdziałania chorobie zaleca się usuwanie i palenie porażonych sadzonek oraz stosowanie fungicydów. Zdaniem Kubiaka [2007] skuteczną metodą ograniczania rozwoju choroby jest mikoryzacja sadzonek. Do ważnych patogenów należy zaliczyć również specyficzną, występującą na olszy, formę huby ogniowej, której sprawcą jest *Phellinus igniarus* f. *alni* Bond. (tab. 16). Z owadów istotne znaczenia mogą mieć żery larw krytoryjka olchowca (*Cryptorhynchus lapathi* L.) prowadzące do zamierania drzewek, głównie 2 - 4 letnich [Szmidt 1980]. Dlatego też należy bezwzględnie ścinać i niszczyć zasiedlone pędy, podobnie jak ma to miejsce w przypadku przeziernika olchowca (*Synanthedon spheciphormis* (Den. et Schiff.). W sierpniu można zwalczać chrząszcze, stosując opryski insektycydami kontaktowymi. Ochrona plantacji olszy przed owadami żerującymi na jej liściach polega również na zabiegach chemicznych (tab. 16).

Tabela 16. Główne zagrożenia i ochrona plantacji olchowych

Czynnik szkodotwórczy	Rodzaj uszkodzenia (nazwa choroby) / skutki	Znaczenie	Prewencja i zwalczanie
Grad	kaleczenie drzew / nekrozy, zamieranie liści, pączków	+	unikanie zakładania plantacji w rejonach szlaków gradowych
Phytophthora alni	fytoftoroza / zgnilizna korzeni, podstawy pędu, nekrozy, przebarwienia liści	++	usuwanie chorych drzew, fungicydy
Phellinus igniarius f. *alni* *Inonotus radiatus*	choroby pni / zgnilizna drewna pni, gałęzi	+	usuwanie porażonych drzew
Krytoryjek olchowiec (*Cryptorhynchus lapathi*)	żer pod korą i w drewnie pędów / rakowate zgrubienia, zamieranie drzewek	+++	usuwanie i palenie porażonych pędów, insektycydy: larwy (IV/V), imago (VIII)
Hurmak olchowiec (*Agelastica alni*)	szkieletowanie liści / usychanie gałęzi, zahamowanie wzrostu	+++	insektycydy (IV)
Rynnica olchowa (*Linaeidea aenea*)	żer na liściach / zahamowanie wzrostu	++	insektycydy (IV)
Przeziernik olchowiec (*Synanthedon spheciphormis*)	żer pod korą i w drewnie / zahamowanie przyrostu, zamieranie	++	usuwanie i palenie porażonych pędów (wiosną), insektycydy

Źródło: opracowanie własne autorów

Plantacje wierzbowe

Wierzby należą do gatunków stosunkowo odpornych na szkodliwe działanie czynników abiotycznych. Jednak bardzo silnie mogą być atakowane przez choroby grzybowe, bakteryjne oraz szkodliwe owady (tab. 17). Istotną z punktu widzenia znaczenia gospodarczego chorobą bakteryjną wierzby, wywołaną przez patogena naczyniowego - *Erwinia salicis* (Day) Chester. jest tzw. „choroba wodnego znaku" (tab. 17) [Zarzyński 2005c]. Objawem porażenia jest więdnięcie liści i młodych pędów, a także wysączanie się białego śluzu bakteryjnego. Z czasem choroba obejmuje pień i całe drzewo, prowadząc do jego śmierci. Groźnymi chorobami również są zgorzel pędów wierzb powodowana przez *Venturia chlorospora* (Ces.) Karst. i *Physalospora miyabeana* (Fukushi) Arx oraz parch wierzb, którego sprawcą jest *Venturia saliciperda* Nüesh. Ich zwalczanie może polegać na usuwaniu porażonych fragmentów roślin lub oprysku fungicydami.

Duże zagrożenie na plantacji wierzb stwarzają szkodniki owadzie z rodziny ryjkowcowatych, tj. znaczyn dwuplamek (*Lepyrus palustris* Scop.), krytoryjek olchowiec oraz stonkowatych (*Chrysomelidae*), a zwłaszcza gatunki: jątrewka zielona (*Phratora vulgatissima* L.) oraz jątrewka wiklinówka (*Phratora vitellinae* L.) [Sage i Tucker 1998; Czerniakowski 2003; Łabanowski i Soika 2003; Ropek 2007].

W ramach czynności profilaktycznych zaleca się niszczenie starych zarośli wierzbowych, osikowych i topolowych z terenów przylegających do plantacji oraz usuwanie z plantacji nieprodukcyjnych karp dziko rosnących wierzb. Powyższe zasady profilaktyki są również właściwe w odniesieniu do naliścicy wierzbowej, naliściaków (*Phyllobius* spp.) i pieników (*Cercopidae*), a także przekraska mróweczki (*Synanthedon formicaeformis* Esp.). Z kolei mszyce należy zwalczać insektycydami (tab. 17).

Plantacje topolowe

Topole charakteryzują się na ogół wysoką odpornością na zagrożenia abiotyczne. Niemniej częstym zjawiskiem u topoli osiki jest uszkodzenie kory i łyka, a w konsekwencji powstanie martwic wywołanych przez zgorzel słoneczną (tab. 11) (rys. 8). Ponadto w przypadku plantacji złożonych z osiki lub topoli czarnej obserwuje się również szkody od wiatru i okiści, polegające na łamaniu koron drzew. Istotnym czynnikiem szkodtwórczym są również niskie temperatury przyczyniające się do pęknięć pni, przez które dochodzi do infekcje grzybowych (tab. 18).

Na plantacjach topolowych duże znaczenie gospodarcze mają choroby grzybowe pni i pędów. Za najważniejsze uznaje się: parch topoli, zgorzel liści topoli, pomór topoli oraz zgorzel kory topoli. Ponadto duże znaczenie mogą mieć choroby bakteryjne, w tym bakteryjny rak topoli, którego sprawcą jest *Xanthomonas populi* (Ridé) Ridé et Ridé (tab. 18) [Mańka 2005; Zarzyński 2005c]. Skutkiem osłabienia plantacji przez wspomniane czynniki, może być pojaw owadzich szkodników wtórnych z rodzin przeziernikowate oraz kózkowate (*Cerambycidae*) zasiedlających korzenie, pnie lub pędy topól. Do pierwszej grupy należą przeziernik osowiec (*Sesia apiformis* Cl.) oraz przeziernik topolowiec (*Paranthrene tabanifornis* Rott.), których częstym skutkiem żerowania jest porażenie drzew przez wymienianego *X. populi* [Tyszkiewicz 1956].

Tabela 17. Główne zagrożenia i ochrona plantacji wierzbowych

Czynnik szkodotwórczy	Rodzaj uszkodzenia (nazwa choroby) Skutki	Znaczenie	Prewencja i zwalczanie
Erwinia salicis	bakteryjne więdniecie wierzby przebarwienia i więdnięcie liści, odwierzchołkowe zamieranie pędów	++	usuwanie i palenie porażonych drzew
Venturia chlorospora, Physalospora miyabeana	zgorzel pędów wierzby zamieranie liści, pędów	+++	usuwanie „wąsów”, fungicydy
Valsa sordida, Valsa nivea	zgorzel kory nekrozy pni, gałęzi, zamieranie pędów	++	usuwanie porażonych pędów, fungicydy
Venturia saliciperda	parch wierzby zamieranie liści i przedwczesny opad, nekrozy pędów	+++	usuwanie porażonych pędów, fungicydy
Marssonina salicicola	antraknoza liści nekrozy na liściach, pędach, przedwczesny opad liści, zamieranie pędów	++	usuwanie i palenie porażonych pędów, fungicydy, biopreparaty
Znaczyn dwuplamek (*Lepyrus palustris*)	żer w korze pędów, karp zamieranie	+++	rowki chwytne, insektycydy (V)
Krytoryjek olchowiec (*Cryptorhynchus lapathi*)	żer pod korą i w drewnie pędów rakowate zgrubienia, zamieranie	++	insektycydy: larwy (IV), imago (VIII)
Przeziernik mróweczka (*Synanthedon formicaeformis*)	żer pod korą i w drewnie zamieranie	++	usuwanie i palenie zasiedlonych pędów, insektycydy
Pienik olchowiec (*Aphrophora alni*) Pienik wierzbowiec (*Aphrophora salicina*)	wysysanie soków z młodych pędów zahamowanie wzrostu, zasychanie, martwica kory pędów	++	insektycydy (VI/VII)
Mszyca wierzbowa pniowa (*Pterocomma salicis*)	wysysanie soków z pędów zahamowanie wzrostu pędów i nowych przyrostów	+	aficydy
Jątrewka zielona (*Phratora vulgatissima*) Jątrewka wiklinówka (*Phratora vitellinae*)	żer na młodych liściach, korze zahamowanie przyrostu	+++	insektycydy (IV/V)
Naliściaki (*Phyllobius* spp.)	żer liściach zahamowanie przyrostu	++	insektycydy (VI, VIII)
Naliścica wierzbowa (*Lochmaea capreae*)	szkieletowanie liści zamieranie	++	insektycydy (IV/V)
Zwierzyna (jeleń, sarna)	zgryzanie, czemchanie zahamowanie przyrostu, wady techniczne drewna, zamieranie	+	osłonki, grodzenie, repelenty

Źródło: opracowanie własne autorów

Tabela 18. Główne zagrożenia i ochrona plantacji topolowych

Czynnik szkodotwórczy	Rodzaj uszkodzenia (nazwa choroby) / Skutki	Znaczenie	Prewencja i zwalczanie
Temperatura (niska)	pęknięcia mrozowe/martwice / deprecjacja drewna	++	-
Wiatr (gwałtowny)	łamanie gałęzi, wierzchołków, deformacje pnia / osłabienie, zamieranie	++	-
Cryptodiaporthe populea	pomór topoli / osłabienie, zamieranie	+++	wysoki poziom higieny na plantacji, fungicydy
Drepanopeziza spp.	zgorzel liści topoli / zamieranie i przedwczesny opad liści, zahamowanie wzrostu	++	fungicydy
Valsa spp.	zgorzel kory topoli / zamieranie pędów, gałęzi, usychanie drzewek	+++	usuwanie i niszczenie porażonych pędów, gałęzi, drzewek
Xanthomonas populi	rak bakteryjny topoli / zamieranie tegorocznych pędów, deprecjacja drewna	++	usuwanie i niszczenie porażonych pędów, drzew
Hypoxylon mammatum	rak kory topoli / zrakowacenia pni, osłabienie, zamieranie	++	usuwanie i palenie porażonych drzew
Przeziernik topolowiec (*Paranthrene tabaniformis*)	żer w drewnie pni, pędów, gałęzi / zahamowanie przyrostu, podatność na złamania	++	usuwanie i palenie zasiedlonych pędów, insektycydy (VI-VII)
Przeziernik osowiec (*Sesia apiformis*)	żer w drewnie korzeni, pni / zahamowanie przyrostu, zamieranie	+++	usuwanie porażonych drzew, karczowanie lub palenie pniaków
Rzemlik topolowiec (*Saperda carcharias*) Rzemlik osikowiec (*Saperda populnea*)	żer pod korą i w drewnie / zahamowanie przyrostu, deformacje, zamieranie	++	usuwanie i palenie porażonych pędów, insektycydy (VI)
Rynnica ceglasta (*Chrysomela tremula*) Rynnica topolówka (*Chrysomela populi*)	żer na liściach i młodych pędach / zahamowanie wzrostu	++	palenie ścioły (jesienią), rozgniatanie jaj (wiosną), insektycydy
Zwierzyna (jeleń, sarna)	spałowanie / deformacje, zahamowanie przyrostu, wady techniczne drewna, zamieranie	+++ (Tp_o)	grodzenie, repelenty

Źródło: opracowanie własne autorów

W ramach czynności profilaktycznych zaleca się między innymi przestrzeganie zasad higieny oraz unikanie mechanicznych uszkodzeń drzew, jak również wycinanie i palenie porażonych pędów w okresie bezlistnym [Tyszkiewicz 1956]. W sytuacji masowych pojawów dopuszcza się wykonanie zabiegu chemicznego polegającego na wstrzykiwaniu insektycydów kontaktowych do otworów w chodnikach larwalnych szkodnika lub na opryskiwaniu strzałek insektycydami przed rójką przeziernika topolowca w miesiącach od czerwca do lipca.

Na aparacie asymilacyjnym mogą żerować rynnice. Ograniczenie ich występowania prowadzi się głównie za pomocą insektycydów kontaktowych. Wyjątkowo zaś, w celu zwalczania zimujących chrząszczy zaleca się grabienie i palenie ścioły (tab. 18). Najlepszą formą ochrony młodych plantacji topolowych przed spałowaniem przez zwierzynę jest ich zabezpieczanie za pomocą grodzenia.

II. Plantacje roślin energetycznych

Dariusz Kwaśniewski
Instytut Inżynierii Rolniczej i Informatyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
Krzysztof Mudryk, Marek Wróbel
Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

ZBIÓR I LIKWIDACJA PLANTACJI ENERGETYCZNYCH

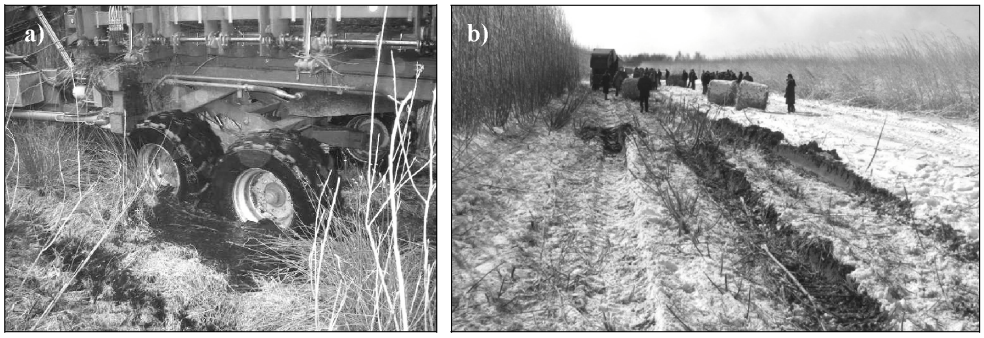
Ze względów organizacyjnych oraz ekonomicznych technologie produkcji biomasy na plantacjach energetycznych powinny uwzględniać wysoki stopień mechanizacji poszczególnych zabiegów agrotechnicznych. Technologie te są zróżnicowane i uzależnione od wielu czynników, takich jak:
– gatunek uprawianej rośliny,
– zbiór coroczny lub co kilka lat,
– forma – kształt uzyskiwanego surowca (bele, zrębki, sieczka itp.),
– wielkość plantacji itp.

Spośród wszystkich zabiegów technologicznych związanych z produkcją biomasy największe problemy sprawia nadal zbiór oraz likwidacja plantacji. Procesy te wymagają niekiedy stosowania specjalistycznych maszyn i urządzeń, co wpływa na wzrost ponoszonych nakładów.

Zbiór roślin z plantacji energetycznych

Uprawy roślin energetycznych w większości zlokalizowane są na terenach wyłączonych z klasycznej produkcji rolnej (tereny okresowo zalewane, zdegradowane przez przemysł, duże nachylenia stoku itp.) co dodatkowo utrudnia prowadzenie zabiegów technologicznych. W szczególności uprawy drzew szybkorosnących (np. wierzby, topoli) zlokalizowane są często na terenach o wysokim poziomie wód gruntowych (okresowo zalewanych itp.), co powoduje trudności w wykorzystywaniu maszyn do zbioru i transportu biomasy. Okres zbioru tych roślin przypadający na miesiące zimowe (listopad – marzec), dodatkowo utrudnia prowadzenie prac ze względu na występujące warunki pogodowe (okrywa śnieżna, roztopy itp.). Praca maszyn w takich warunkach oprócz trudności w poruszaniu się, powoduje duże zniszczenia na plantacji (koleiny, uszkodzone karpy itp.) obniżając tym samym plony biomasy w kolejnych latach (rys. 10.).

Obecnie zbiór roślin z plantacji energetycznych prowadzi się zarówno w cyklach jednorocznych jak również wieloletnich. Zbiór coroczny można prowadzić na większości plantacji energetycznych. Jednak ze względu na potencjał plonowania drzew szybkorosnących (przypadający na kolejne lata uprawy), zbiór powinny być prowadzony w cyklach wieloletnich. Do tej grupy możemy zaliczyć między innymi wierzbę wiciową *Salix viminalis* L. (zbiór co dwa, trzy lata), topolę *Populus* L. (zbiór co trzy - pięć lat), robinię akacjową *Robinia pseudoacacia* L. (zbiór co trzy - pięć lat).



Rys. 10. Plantacja wierzby w trakcie zbioru przy niedogodnych warunkach pogodowo-glebowych [źródło: a – NORDIC BIOMASS; b – K. Mudryk]

Zbiór roślin z plantacji w cyklach jednorocznych (trawy i byliny)

Zbiór coroczny prowadzi się na plantacjach roślin jednorocznych (kukurydzy *Zea mays* L., sorga *Sorghum* Moench, konopi siewnych *Cannabis sativa* L. itp.) oraz na wieloletnich plantacjach traw i bylin (miskant olbrzymi *Miscanthus×giganteus* Greek ed Deu., ślazowiec pensylwański *Sida hermaphrodita* Rusby, itp.).

Zbiór traw i bylin może być prowadzony jako jedno- oraz wieloetapowy. Wybór technologii zbioru jest uzależniony od wielu czynników, począwszy od dostępnego parku maszyn, poprzez właściwości uzyskiwanego surowca (np. zawartość wody możliwa do obniżenia poprzez zastosowanie naturalnego dosuszania), kończąc na pożądanej formie uzyskiwanej biomasy (bele, sieczka, zrębki itp.).

Zbiór jednoetapowy

Zbiór jednoetapowy polega na przeprowadzeniu określonych operacji w ramach jednego przejazdu technologicznego. Może obejmować pozyskiwanie roślin w formie nierozdrobnionej jak również w formie sieczki.

Do zbioru roślin w formie nierozdrobnionej można wykorzystać tzw. ścinacze zielonek (rys. 11). Maszyny te realizują proces koszenia z jednoczesnym podbieraniem, wstępnym rozdrabnianiem oraz transportem masy na skrzynię ładunkową. Uzyskiwana forma biomasy znajduje wąskie zastosowanie w praktyce, ponieważ zebrana masa charakteryzuje się niską gęstością (poniżej 50 kg/m^3) oraz koniecznością stosowania dodatkowych maszyn rozdrabniających zarówno przy produkcji paliw kompaktowanych jak i biogazu. Maszyny te umożliwiają zbiór roślin o wysokości nie przekraczającej 2,5 m.

Do zbioru jednoetapowego plantacji jednorocznych wykorzystywane są jednak najczęściej maszyny (sieczkarnie samojezdne) umożliwiające pozyskanie biomasy w formie sieczki (rys. 12). Materiał po zbiorze może być bezpośrednio wykorzystany do produkcji biogazu jak również do przetworzenia w paliwa kompaktowane (pellet, brykiet).



Rys. 11. Ścinacz zielonek [foto: K. Mudryk]



Rys. 12. Rozdrobnione pędy ślazowca pensylwańskiego [foto: K. Mudryk]

Wadą tej technologii jest uzyskiwanie sieczki o bardzo małej gęstość usypowej, która wynosi od 50 do 150 kg/m^3, co powoduje, iż jej transport jest opłacalny jedynie przy niewielkich odległościach.

Sieczkarnie do zbioru jednoetapowego roślin energetycznych występują jako zaczepiane, zawieszane na ciągniku oraz samojezdne (rys. 13). Szeroka gama tych maszyn umożliwia zbiór roślin uprawianych zarówno rzędowo (miskant, ślazowiec) jak i w łanie (topinambur, proso rózgowate). Właściwości fizyczne roślin energetycznych dotyczące geometrii oraz właściwości mechanicznych są zbliżone do roślin paszowych, dlatego też możliwości i warunki pracy tych maszyn są zbliżone.



Rys. 13. Maszyny do zbioru jednoetapowego; a – sieczkarnia zawieszana na ciągniku [foto: K. Mudryk], b – sieczkarnia samojezdna [źródło: wordpress.com]

Zbiór wieloetapowy

Zbiór wieloetapowy polega na przeprowadzeniu zabiegu przy minimum dwóch przejazdach technologicznych. Technologia ta umożliwia uzyskanie materiału w różnych formach (sieczka, kostki itp.) oraz pozwala na zastosowanie naturalnego dosuszania materiału.

W technologii wieloetapowej można wyszczególnić trzy zasadnicze etapy. Pierwszy związany jest ze ścięciem roślin i pozostawieniu ich na podłożu. Przy sprzyjających warunkach pogodowych ścięty materiał można dosuszyć, obniżając tym samym koszty w kolejnych etapach przetwarzania. Drugi etap obejmuje najczęściej procesy formowania w wiązki, kostki lub bele. Możliwe jest również zastosowanie sieczkarni w celu uzyskania materiału rozdrobnionego. Ostatni, trzeci etap, dotyczy transportu zebranej biomasy w miejsce magazynowania lub bezpośrednio do jednostek przetwarzających.

Procesy ścinania można realizować większością kosiarek do zielonek dostępnych na rynku (listwowe, dyskowe itp.) (rys. 14). Wydajność tego procesu wynosi do 4 ha/h i uzależniona jest od wielu czynników, między innymi od:

- gatunku zbieranej rośliny,
- wielkości plonu,
- wilgotności materiału,
- szerokości roboczej maszyny oraz prędkości pracy.

Kolejnym etapem technologii jest zebranie skoszonej masy. W przypadku gdy skoszony materiał poddany był naturalnemu dosuszaniu, często wykorzystuje się sieczkarnie samojezdne z podbieraczem pokosów lub sieczkarnie doczepiane do ciągników (rys. 15). Maszyny te umożliwiają uzyskanie sieczki podobnie jak przy zbiorze jednoetapowym.

Jednak w technologiach wieloetapowych najczęściej stosowane są prasy wysokiego zgniotu, zarówno kostkujące (rys. 16) jak i rolujące zbieraną masę. Wydajność tych maszyn sięga 5 ha/h i jest uzależniona od czynników związanych z plantacją, prasowanym materiałem oraz wykorzystywaną maszyną.

Otrzymane kostki lub bele charakteryzują się powtarzalnymi właściwościami fizycznymi związanymi z geometrią oraz stopniem zgniotu. Gęstość beli wynosi od 140 - 200 kg/m^3 w zależności od warunków pracy.



Rys. 14. Koszenie pędów ślazowca kosiarka dyskową [źródło: firma Eurobiomass]



Rys. 15. Sieczkarnia doczepiana [źródło: FreeFoto.com]



Rys. 16. Prasa kostkująca firmy Sipma [źródło: firma SIPMA]

Przy małych areałach możliwe jest stosowanie bardzo prostych technologii opartych częściowo na pracy człowieka oraz maszynach takich jak snopowiązałki, wykorzystywane do zbioru zbóż w terenach górskich (rys. 17).



Rys. 17. Zestaw maszyn do pozyskiwania biomasy na małych areałach oraz w terenach górskich [źródło: firma Agropartner]: a, b – kosiarki listwowe z możliwością formowania w wiązki (snopki), c - prasa rolująca

Ostatnim etapem technologii zbioru roślin jest transport zebranego materiału, który najczęściej odbywa się przy wykorzystaniu klasycznych przyczep do przewozów materiałów objętościowych (w przypadku sieczki) oraz kostek i bel (rys. 18).



Rys. 18. Transport bel z traw energetycznych [foto: K. Mudryk]

Zbiór roślin drzewiastych uprawianych w krótkiej rotacji

Podobnie jak przy zbiorze roślin jednorocznych, zbiór biomasy z plantacji drzew szybkorosnących odbywa się zasadniczo dwoma technologiami. Pierwsza, jednoetapowa umożliwia pozyskiwanie biomasy najczęściej w formie zrębków; druga wieloetapowa pozwala uzyskać zarówno zrębki, bele, wiązki jak również całe pędy. Zastosowana technologia zależy między innymi od dostępności poszczególnych maszyn oraz od pożądanych właściwości zebranego materiału.

Uzyskiwana masa zrębków cechuje się niekorzystnymi właściwościami fizycznymi, istotnymi w dalszych procesach. Do najważniejszych należy zaliczyć wilgotność zrębków, która jest zbliżona do wilgotności zbieranych pędów. Przykładowo pędy wierzby wiciowej *Salix viminalis* L. w okresie zbioru charakteryzują się wilgotnością około 50%.

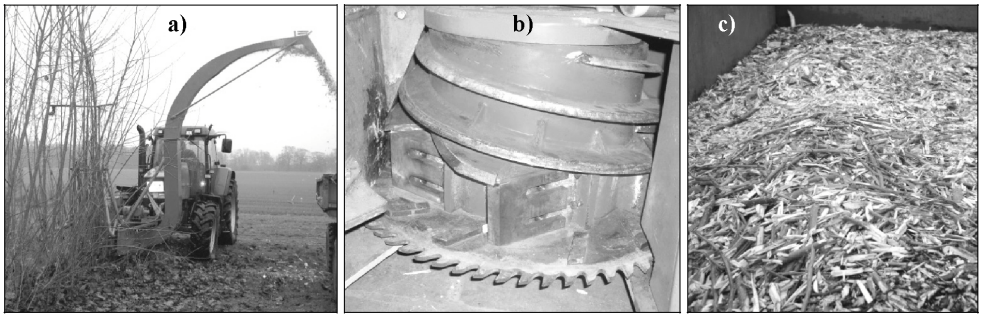
Prowadzone dotychczas badania, dotyczące zrębków usypywanych w pryzmy o kącie bocznym około 40° i wysokości od 1,5 do 6 m, jednoznacznie wykazały, że magazynując zrębki o wilgotności powyżej 45 % możemy spodziewać się wzrostu temperatury wewnątrz pryzmy nawet do 60°C [Christine i inni 2004, Jirjis 2005]. Powoduje to szybki rozwój grzybów i pleśni. W sytuacji, gdy okres magazynowania wynosi kilka miesięcy (najczęściej powyżej 5 miesięcy) dochodzi do spadku suchej masy nawet do 10%. Tak więc, zrębki o wysokiej wilgotności (powyżej 50%) przed okresem magazynowania należy dosuszyć do wilgotności optymalnej (związanej z okresem magazynowania lub dalszymi etapami technologii). Według Giglera [2000a] koszt suszenia kształtuje się na około 12 do 25 €/t w zależności od intensywności procesu.

Zbiór jednoetapowy

Przy zbiorze jednoetapowym roślin drzewiastych najczęściej wykorzystywane są kombajny do zielonek wyposażone w specjalne przystawki umożliwiające ścinanie pędów zdrewniałych nawet o średnicy do 80 mm (rys. 20b). Jak wskazują przeprowadzone

doświadczenia (Volk i in. 2008), zbiór wierzby trzyletniej kombajnem do zielonek firmy Newholland serii FR wyposażonej w specjalną przystawkę, pozwala osiągnąć wydajność zbioru sięgającą 1,4 $ha \cdot h^{-1}$. Uzyskany materiał stanowią zrębki o długości ok. 30 mm i gęstości usypowej ok. 240 kg/m^3 (wilgotność 50%).

Stosowane są również maszyny samojezdne oraz doczepiane lub zawieszane (rys. 19) dedykowane do zbioru roślin drzewiastych w szybkiej rotacji. Większość z tych maszyn przystosowana jest do zbioru roślin z plantacji uprawianych rzędowo. Zebrana biomasa może występować w formie zrębków jak również całych pędów.



Rys. 19. Maszyna zawieszana do zbioru jednoetapowego drzew szybkorosnacych opracowana w ATB Poczdam, a – widok maszyny, b – elementy robocze, c- zrębki uzyskane z topoli [foto: K. Mudryk]

Dostępne są również maszyny umożliwiające zbiór roślin drzewiastych prowadzonych w tzw. łanie (rys.20a). Maszyny te produkowane są jako samojezdne lub zawieszane na typowych ciągnikach rolniczych. W większości maszyn do zbioru roślin uprawianych rzędowo w przystawkach tnących zastosowane są piły tarczowe, natomiast w urządzeniach do zbioru roślin w łanie łańcuch tnący na całej szerokości roboczej. Takie rozwiązanie sprawia, że maszyny te pozwalają prowadzić zbiór zarówno na plantacjach rzędowych jak również prowadzonych w łanie lub tzw. „samosiejek".

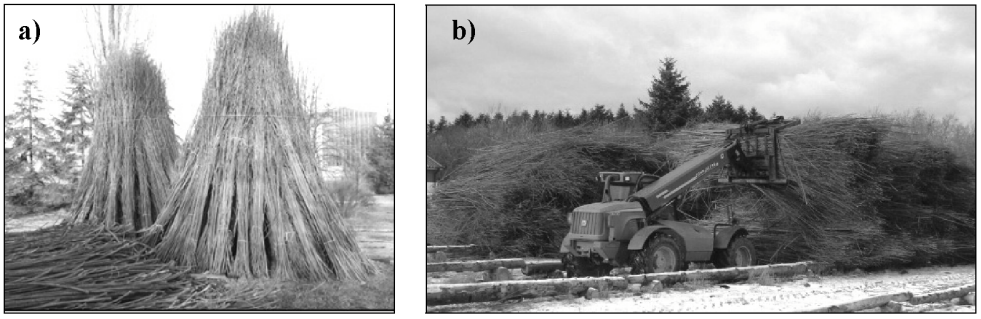


Rys. 20. Maszyny do zbioru jednoetapowego; a – Bender firmy AB Maskiner Salix z łańcuchowym systemem tnącym [źródło: NORDIC BIOMASS], b – sieczkarnia firmy New Holland z tarczowym systemem tnącym

Badania prowadzone przez Technical Development Branch [Forest Research 1998] wykazały, iż urządzenia typu Bender firmy Maskiner Salix można wykorzystać do zbioru zarówno wierzby jak i topoli (3-4 letniej) przy wydajności wydajności procesu około 0,16-0,22 ha/h.

Zbiór wieloetapowy

Stosowanie technologii zbioru wieloetapowego roślin drzewiastych z plantacji wieloletnich umożliwia uzyskanie zebranej masy w formie całych pędów oraz w formie wstępnie rozdrobnionej sformowanej w bele. Takie rozwiązania umożliwiają sezonowanie zebranego materiału celem naturalnego obniżenia zawartości wody (rys. 21). Sezonowanie całych pędów ułożonych luzem lub w formie wiązek nie powoduje rozwoju grzybów i bakterii, a spadek wilgotności w okresie wiosennym z poziomu 50 % do 25% jest możliwy już po 4 miesiącach [Frączek , Mudryk 2009].



Rys. 21. Sezonowane pędy wierzby, [źródło: a – M. Wróbel, b – NORDIC BIOMASS]

Analizując technologie zbioru wieloetapowego roślin drzewiastych można wyszczególnić następujące etapy:

a) zbiór trzyetapowy
   - ścinanie ręczne lub mechaniczne,
   - formowanie w wiązki ręczne lub mechaniczne,
   - transport w miejsce dalszego przetwarzania lub magazynowania,
b) zbiór dwuetapowy
   - ścinanie roślin z jednoczesnym formowaniem w wiązki lub bele,
   - transport w miejsce dalszego przetwarzania lub magazynowania.

W sytuacji, gdy plantacja jest niewielka i traktowana jako źródło biomasy dla własnego gospodarstwa, technologia zbioru jest najczęściej oparta o wykorzystanie ręcznych pił lub kos mechanicznych [Dubas i in. 2004]. Możliwość wyboru dogodnego terminu (tak aby warunki atmosferyczne były sprzyjające) oraz względnie długi okres możliwego zbioru sprawia, że metoda ta cieszy się dość dużym powodzeniem. Według przeprowadzonych badań [Kwaśniewski i in. 2006, 2008] optymalny skład zespołu prowadzącego zbiór pędów wierzby powinien zawierać jednego pilarza oraz dwóch pomocników (rys. 22b). Pędy są ścinane piłą łańcuchową lub kosą mechaniczną, a następnie formowane w wiązki o masie około 20 - 30 kg. Wydajność pracy zespołu wynosi około 0,016 -0,024 ha/h (ścinanie oraz

wstępne formowanie w wiązki). Technologie te charakteryzują się niewielkim stopniem mechanizacji - duże nakłady pracy oraz stosunkowo mała wydajność sprawiają, iż przy większych plantacjach wykorzystywane są inne technologie.



Rys. 22. Zbiór wierzby *Salix viminalis* L. [foto: autorzy]: a – widok plantacji przed zbiorem, b – ścinanie z wykorzystaniem piły mechanicznej, c – ścięte i uformowane wiązki pędów przygotowane do transportu

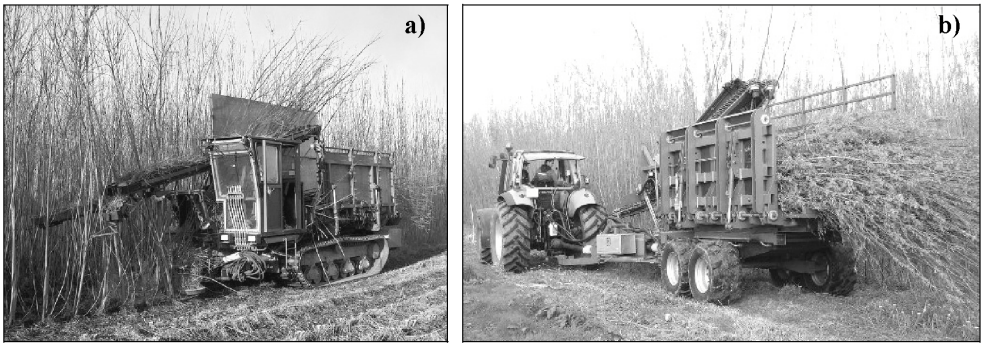


Rys. 23. Kosiarka do ścinania pędów wierzby [źródło: firma Zielona Energia]

Do ściana pędów roślin drzewiastych wykorzystywane są coraz częściej amatorsko wykonywane maszyny jednorzędowe zaczepiane do ciągników małej mocy (rys. 23). Realizują one proces cięcia pozostawiając ścięte rośliny luzem na polu. Ich wydajność wynosi około 0,25 ha/h.

W krajach skandynawskich, gdzie plantacyjna uprawa drzew szybkorosnacych jest bardzo powszechna, dostępne są maszyny do ścinania pędów z załadunkiem na skrzynie oraz z bezpośrednim formowaniem w wiązki. Produkowane są jako zaczepiane do ciągników rolniczych oraz jako samojezdne. Ze względu na trudne warunki polowe występujące podczas zbioru, stosowane są różne warianty systemów jezdnych, począwszy od kołowych (wykorzystujących ogumienie niskociśnieniowe pracujące przykładowo w systemie tandem) kończąc na układach gąsienicowych preferowanych na grunty o małej nośności (rys. 24a). Wydajność tego typu maszyn w zależności od modelu oraz istniejących warunków polowych wynosi około 0,09 – 0,5 ha/h [Forest Research 1998].

Koszty usługi ścinania są wysokie i przykładowo koszt zbioru w roku 2010 wierzby lub topoli (3-4 letniej) maszyną Stemster MK III (rys. 24b) firmy Nordic Biomass wynosi ok. 740 PLN/h plus koszty transportu maszyny [SRC SERVICES Nordic Biomass].



Rys. 24. Maszyny do zbioru całych pędów roślin drzewiastych uprawianych rzędowo [źródło: NORDIC BIOMASS]: a – kombajn do zbioru drzew uprawianych w szybkiej rotacji opracowany przez NORDIC BIOMASS i Border Biofuels LTd.; b – maszyna do zbioru drzew uprawianych w szybkiej rotacji Stemster MK opracowany przez NORDIC BIOMASS

Załadunek oraz transport zebranej masy w miejsce magazynowania może odbywać się klasycznymi maszynami rolniczymi lub pojazdami samozaładowczymi wyposażonymi w chwytaki hydrauliczne (rys. 25).



Rys. 25. Transport zebranych pędów drzew szybkorosnących; a – zestaw składający się z przyczepy i ładowarki [źródło:NORDIC BIOMASS], b – maszyna samozaładowcza [źródło: firma KRIS]

W ostatnich latach pojawiły się na rynku maszyny do zbioru między innymi wierzby energetycznej pozwalające uzyskać zebrany materiał w formie beli (rys. 26). Ścięty materiał jest wstępnie rozdrabniany na odcinki 0,3-0,5 m i formowany w bele (rys. 27).



Rys. 26. Maszyna do zbioru roślin drzewiastych w formie beli – BIOBALER [foto: K. Mudryk]

Uzyskiwane bele charakteryzują się podobnymi właściwościami fizycznymi jak te uzyskiwane z pras do słomy (średnica i szerokość – 1,2 m, masa – 500 ÷ 600 kg).



Rys. 27. Widok beli z pędów wierzby trzyletniej [foto: K. Mudryk]

Według producenta maszyny BIOBALER [Anderson-Canada] biomasa zwinięta w beli nawet przy wilgotności przekraczającej 50%, w okresie magazynowania naturalnie obniża zawartość wody bez ryzyka rozwoju grzybów i pleśni. Wydajność procesu zbioru drzew szybkorosnących uprawianych na plantacji wynosi około 20 t/h (40 beli/h).

Maszyny te wyposażane są w dwa systemy tnące. Pierwszy to bęben (mulczer) wyposażony w noże tnące rozmieszczone na obwodzie. System ten jest uniwersalnym rozwiązaniem zarówno do zbioru roślin uprawianych rzędowo jak również w tzw. łanie. Biobaler można również wykorzystywać do zbioru tzw. samosiejek oraz roślin zlokalizowanych wzdłuż cieków wodnych (najczęściej wierzby). Wadą tego systemu jest jakość cięcia pędów. W sytuacji prowadzenia wieloletnich plantacji energetycznych konieczne jest zebranie biomasy tak, aby nie uszkodzić karp roślin. Prezentowany system tnący powoduje liczne pęknięcia karp oraz nie jest w stanie utrzymać stałej wysokości ciecia (rys. 28).



Rys. 28. Maszyna BIOBALER [foto: K. Mudryk]; a – bębnowy system tnący, b – plantacja po zbiorze

Drugim systemem, który jest stosowany w tego typu maszynach, są tarcze tnące. System ten umożliwia precyzyjne ścięcie roślin na ustalonej wysokości pozostawiając karpy nieuszkodzone. Jest on rzadziej stosowany, ponieważ zawęża możliwości wykorzystania maszyny do zbioru roślin w innych warunkach. Układ bębnowy, w porównaniu traczami tnącymi jest bardziej odporny na trudne warunki pracy i jest często wykorzystywany przy zbiorze roślin z terenów odłogowanych (samosiejek) jak również przy pracach komunalnych (koszenie zarośli przydrożnych itp.).

Innym rozwiązaniem zbioru dwuetapowego roślin drzewiastych jest wykorzystanie maszyn do ścinania z jednoczesnym formowaniem w wiązki (rys. 29). Uzyskany materiał w formie wiązek można poddać sezonowaniu (obniżenie zawartości wody) podobnie jak pędy zebrane luzem. Wiązki roślin charakteryzują się powtarzalnymi właściwościami fizycznymi (geometria, masa itp.) co ułatwia późniejsze procesy transportu oraz magazynowania.



Rys. 29. Maszyna Bundler firmy Salixphere do zbioru pędów drzew szybkorosnących w formie wiązek [źródło: firma Salixphere]

Likwidacja plantacji wieloletniej

Każda wieloletnia uprawa rolnicza musi być zlikwidowana i odnowiona lub przekształcona w inny rodzaj uprawy. Decyzja o likwidacji zależy od wielu czynników. Najważniejsze z nich to: popyt na dany surowiec, cena sprzedaży, plony uzyskiwane z jednostki powierzchni, a w konsekwencji przede wszystkim zyski. Ponadto likwidacja plantacji przeprowadzana jest również ze względu na naturalne zestarzenie się roślin. Żywotność

prawidłowo założonych i eksploatowanych plantacji wierzby krzewiastej ocenia się na 20-25 lat [Szczukowski i in. 2004, Larsson 2006].

W literaturze przedmiotu mało jest informacji dotyczących wyników badań związanych z likwidacją wieloletnich plantacji roślin energetycznych. Informacje publikowane na ten temat w Polsce, to analizy teoretyczne, nie poparte badaniami terenowymi. Wynika to z faktu, że zdecydowana większość założonych plantacji, to plantacje stosunkowo młode (kilkuletnie), które nie wymagają jeszcze likwidacji.

Według danych literaturowych likwidacja upraw wieloletnich, w tym plantacji wierzby krzewiastej może być wykonywana metodami mechanicznymi, chemicznymi i biologicznymi. Ponadto, przez połączenie pewnych elementów z wyżej wymienionych metod otrzymuje się metody mieszane [Szczukowski i inni 2004].

Mechaniczna likwidacja plantacji może polegać na wyrwaniu całych karp z ziemi, ich zbiorze i po rozdrobnieniu na utylizowaniu pozostałości lub przeoraniu urządzeniem typu pługofrezarka albo frezem leśnym. Przy obecnym stanie techniki, technologie te ze względu na bardzo wysokie koszty jest zupełnie zaniechana. Symulacyjnie obliczone nakłady pozwalają określić koszt takiej rekultywacji na poziomie 8 – 12 tys. PLN/ha. Zaletą takiej rekultywacji jest jednak to, że pozbywa się z gleby wszelkich resztek po karpach i korzeniach. Przyspiesza się przez to przynajmniej o rok możliwość przekazania pola pod uprawę innych roślin.

Innym sposobem likwidowania karp jest użycie urządzenia typu pługofrezarka lub frez leśny. Obydwa urządzenia pracują podobnie, przy czym pługofrezarka podcina karpę klasycznym korpusem płużnym, po czym frez ją rozdrabnia. Natomiast frez leśny jednocześnie podcina korzenie i rozdrabnia karpę zagłębiającym się frezem. Obydwa urządzenia mają zmienne ustawienie głębokości pracy, jednak nie może ona przekraczać 0,35 m. Wydaje się, że jest to dostateczna głębokość do tego, aby pozostałości korzeni po karpie nie wznowiły wegetacji. Koszt rekultywacji mechanicznej 1 hektara wykonanej w/w urządzeniami kształtuje się na poziomie od 1500 do 2500 PLN w zależności od kilku czynników, chociażby takich, jak:

– stan kultury rolnej plantacji – zachwaszczenia, ilość resztek pożniwnych itp.,
– rodzaj użytego urządzenia,
– ilość karp znajdujących się na 1 hektarze,
– długość okresu eksploatacji plantacji – jak stare są rekultywowane karpy.

Chemiczna likwidacja plantacji polega na zastosowaniu jakiegokolwiek herbicydu totalnego zawierającego Glifosat. Zawsze należy go zastosować w okresie pełnego ulistnienia krzewu. Glifosat poprzez zielone liści wnika do korzeni i uśmierca przez to całą roślinę. Po zastosowaniu tego herbicydu pozostają wysuszone pędy, które następnie mechanicznie należy usunąć z pola. Metoda ta jest przydatna tylko wówczas, gdy chcemy zlikwidować plantację młodą, po pierwszym lub drugim roku jej użytkowania. W następnych okresach wegetacji, szczególnie gdy karpy wierzby były wykorzystywane do produkcji materiału nasadzeniowego (czyli pręty ścinane co roku) likwidacja plantacji tą metodą jest uciążliwa, ze względu na trudności usuwania rozbudowanych karp.

Karpy można usunąć także biologicznie, stosując znaną powszechnie w leśnictwie metodę rozkładu pni przez grzybnię z rodzaju *Phlebia Gigantea*. Metoda ta jest znaną od wielu lat metodą biologicznej rekultywacji pozostałości po wyciętym lesie. Szczepy grzybni z podanego rodzaju są oddzielnie wyhodowane do likwidacji pni drzew iglastych i oddzielnie do pni drzew liściastych. Dotychczas nie prowadzono prób zastosowania tego typu

preparatu do likwidacji karp krzewów z rodzaju *Salix*, wydaje się jednak, że działanie powinno być podobne jak w przypadku pni drzew liściastych. Obecnie trwają badania nad zastosowaniem tego preparatu do likwidacji karp wybranych odmian wierzb krzewiastych. Zaletą preparatu jest niewielki koszt w przeliczeniu na 1 hektar. Wynosi on od około 1000 do 1500 PLN. Druga zaletą jest pozostawienie masy organicznej rozkładu grzybowego karp w glebie. Wadą może być to, że obecnie nie jest znana selektywność grzyba *Phlebia Gigantea* w stosunku do innych pożytecznych grzybów glebowych jak również długi czas rozkładu, który trwa w zależności od warunków pogodowych i okresu zastosowania grzybni od 5 do 8 miesięcy [Dubas, Tomczyk 2005].

Według Fabera i innych [2009] likwidacja plantacji wierzby energetycznej, miskanta i ślazowca opiera się na wykonaniu trzech podstawowych zabiegów technologicznych:

– oprysk herbicydem na bazie Glifosatu,
– karczowanie karp (karczownik karp),
– głęboka orka.

Duże doświadczenie w likwidacji plantacji roślin energetycznych (zwłaszcza wierzby energetycznej) mają Szwedzi. Wierzba uprawiana jest w Szwecji na skalę komercyjnie od 15 lat, a przez ten czas plantacje, z różnych powodów, były likwidowane i obsadzane nowymi, lepszymi odmianami wierzby lub innymi roślinami rolnymi. Według doświadczeń szwedzkich [Larsson 2006] najczęściej stosowaną metodą likwidacji plantacji wierzby jest zebranie pędów zimą, a następnie wykonanie oprysku herbicydem (np. Roundup) w okresie wiosennym, kiedy rośliny odrosną do wysokości ok. 0,5 m. Następnie, gdy rośliny zostaną unicestwione przez herbicyd, ścina się pędy przy powierzchni gleby ogławiaczem do buraków. Pozostałości po pniach i korzenie tnie się broną talerzową (nie pługiem). Jesienią można w tym miejscu posiać np. pszenicę ozimą. Po dwóch sezonach uprawy zboża wszystkie pozostałe korzenie wierzby ulegają rozkładowi, nawożąc nowe uprawy. Jedynym dodatkowym kosztem likwidacji plantacji jest korzystanie z ogławiacza do buraków, inne zabiegi agrotechniczne wykonuje się, przygotowując pole pod zasiewy zbóż [Larsson 2006].

Poniżej zamieszczono przykład wyników badań dotyczących likwidacji plantacji wierzby krzewiastej *Salix* spp. Wyniki uzyskano na bazie doświadczenia polowego prowadzonego na Nizinie Kwidzyńskiej w pradolinie Wisły [Stolarski i inni 2008]. Zrzezy wierzby były wysadzone w 1992 r. w zagęszczeniu 40 tys. sztuk/ha na madzie właściwej średniej. Eksperymentalna likwidacja doświadczenia o powierzchni 0,4 ha została przeprowadzona w 15 roku jego istnienia. Na likwidowanej plantacji rosły różne gatunki *Salix* spp. Obsada roślin w momencie likwidacji zawierała się, w zależności od gatunku, w przedziale od kilkunastu do 26 tys. roślin na 1 ha. W doświadczeniu wyróżniono następujące etapy pracy: zbiór wierzby krzewiastej w styczniu 2006 r. (pędy koszono tuż przy powierzchni ziemi); oprysk Roundupem na młode rośliny w III dekadzie maja 2006 roku w ilości 7 dm^3/ha; wyoranie karp pługiem w III dekadzie lipca; dwukrotne bronowanie zaoranego pola oraz ręczne usuwanie karp z pola i ich transport.

W tabeli 19 przedstawiono nakłady pracy i koszty wykonania poszczególnych zabiegów związanych z likwidacją plantacji wierzby energetycznej. Całkowity koszt likwidacji plantacji eksploatowanej przez 15 lat wyniósł 2075,60 PLN/ha. Największe koszty (1432,00 PLN/ha) poniesiono na ręczne usuwanie wyoranych karp z pola połączone z ich wywożeniem. W strukturze poniesionych kosztów zabieg ten stanowił prawie 69% kosztów całkowitych.

Wyorywanie karp z powierzchni 1 ha przy użyciu wzmocnionego pługa 2-skibowego trwało 4 godziny. Koszt tego zabiegu wynosił 283,72 PLN/ha, co w strukturze stanowiło prawie 14% kosztów całkowitych (tab. 19). Należy tu zaznaczyć, że wyorywanie karp powinno być wykonywane pługami o mocnej konstrukcji w celu uniknięcia ewentualnych uszkodzeń sprzętu. Wydaje się, że można byłoby z powodzeniem wykorzystywać do tego celu specjalistyczne pługi leśne.

Tabela 19. Nakłady pracy i koszty likwidacji plantacji wierzby krzewiastej

Wyszczególnienie	Agregat		Nakłady pracy	Koszty likwidacji [PLN/ha]		
	ciągnik	maszyna		agregat	siła robocza	razem
	typ	typ	[rbh]			
Oprysk (Roundup)	Ursus C360-3P	Pilmet 412	0,5	20,4	5,4	25,8
Orka	Pronar 82 TSA	pług 2 skib. (włas. konstr)	4,0	240,5	43,2	283,7
Bronowanie I	Pronar 82 TSA	U358	2,0	107,8	21,6	129,4
Ręczne usuwanie karp z pola I	Ursus C360-3P	T604	54,0	358,2	583,2	941,4
Bronowanie II	Pronar 82 TSA	U358	1,0	53,9	10,8	64,7
Ręczne usuwanie karp z pola II	Ursus C360-3P	T604	27,0	199,0	291,6	490,6
Koszt Raudupu	-	-	-	-	-	140,0
Razem	-	-	88,5	979,8	955,8	2075,6
Nakłady pracy i koszty na rok użytkowania plantacji w zależności od okresu jej użytkowania						
10 lat			8,9	98,0	95,6	207,6
15 lat			5,9	65,3	63,7	138,4
20 lat			4,4	49,0	47,8	103,8
25 lat			3,5	39,2	38,2	83,0

Źródło: Stolarski i inni 2008

W celu ułatwienia ręcznego zbierania karp oraz ich dokładniejszego usunięcia przeprowadzono dwukrotnie bronowanie. Łącznie nakłady poniesione na te zabiegi wynosiły 194,13 PLN/ha, co w strukturze stanowiło niewiele ponad 9% kosztów całkowitych (tab. 19). Kolejnymi w strukturze kosztami był zakup Roundupu oraz wykonanie oprysku, które stanowiły odpowiednio 6,75% i 1,24% w strukturze kosztów całkowitych.

Likwidacja plantacji wierzby krzewiastej może nastąpić w określonym czasie i wynikać z różnych przyczyn, o których wspomniano wcześniej. Dla zobrazowania wielkości kosztów związanych z likwidacją plantacji w zależności od okresu jej eksploatacji, całkowite koszty przedstawiono przy założeniu, że plantacja będzie użytkowana przez 10, 15, 20 lub 25 lat (tab. 19). W przypadku najkrótszego z założonych okresów użytkowania plantacji roczne obciążenie potencjalnej nadwyżki bezpośredniej kosztami wynikającymi z jej likwidacji wynosiłoby około 208 PLN/ha. Natomiast wydłużanie okresu eksploatacji plantacji wpływa oczywiście na obniżenie tych kosztów do 104 PLN/ha przy 20-letnim i do 83 PLN/ha przy 25-letnim okresie użytkowania plantacji [Stolarski i inni 2008].

Bibliografia

Abrahamson L.P., Volk T.A., Kopp R.F., White E.H., Ballard J.E. 2002. Willow biomass producer's handbook. [online] State University of New York. [dostęp 15.03.2010] Dostępny w Internecie: http://www.esf.edu/willow/pdf/2001%20finalhandbook.pdf

Adegbidi H.G., Volk T.A., White E.H., Abrahamson L.P., Briggs R.D., Bickelhaupt D.H. 2001. Biomass and nutrient removal by willow clones in experimental bioenergy plantations in New York State. Biomass and Bioenergy, 20. s. 399-411.

Al Afas N., Marron N., Van Dongen S., Laureysens I., Ceulemans R. 2008. Dynamic of biomass production in a poplar coppice culture over three rotations (11 years). Forest Ecology and Management, 255. s. 1883-1891.

Alasia Franco 2006. Production discipline for sustainable production of short term poplar tree cultivation. Biennial shift. Multi-year/five-year cycles shift. [online] CNER, Padwa. [dostęp 27.03.2010] Dostęp w Internecie: http://www.alasiafranco.it/biomassa.asp?lingua=eng

Arbatowski S. 1991. Plantacje drzew leśnych – efekty ekonomiczne. Las Polski, Nr 15-16. s. 6-8.

Arbatowski S., Kwiecień R. 1991. Produkcja biomasy drzewnej w krótkim cyklu. Las Polski, Nr 17-18. s. 10-12.

Arbatowski S., Załęski A. 1991. Możliwości produkcji drewna w plantacjach szybko rosnących gatunków drzew leśnych. Not. Nauk. Inst. Bad. Leś., 8. s. 1-4.

Arbatowski S., Załęski A. 1991. Plantacje drzew szybko rosnących. Las Polski. Nr 13 - 14. s. 8-10.

Armstrong A., Johns C., Tubby I. 1999. Effects of spacing and cutting cycle on the yield of poplar grown as an energy crop. Biomass and Bioenergy, 17. s. 305-314.

Begley D., McCracken A.R., Dawson W.M., Watson S. 2009. Interaction in short rotation coppice willow, *Salix viminalis* genotype mixtures. Biomass and Bioenergy, 33. s. 163-173.

Bodył M. 2004. Brzoza w uprawie plantacyjnej. Głos Lasu. Nr 12. s. 21-23.

Bodył M., Załęski A. 2009. Plantacyjne uprawy świerka w północno- wschodniej Polsce. Wschodząca gwiazda plantacji. Las Polski, Nr 15-16. s. 30-31.

Boratyński A., Boratyńska K. 1990. Systematyka i geograficzne rozmieszczenie. [w:] Wierzby. [red:] Białobok S. PAN, Warszawa-Poznań. s. 9-34.

Borkowska H. Styk B., 2006. Ślazowiec pensylwański. Uprawa i wykorzystanie. Wyd. AR Lublin. ISBN 83-7259-142-3.

Borowski Z. 1999. Gryzonie - mały czy duży problem. Las Polski. Nr 24. s. 16-17.

Brown K.R., van den Driessche R. 2002. Growth and nutritionof hybrid poplars over 3 years after fertilization at planting. Canadian Journal of Forest Research, 32. s. 226-232.

Brożek S., Zwydak M. 2003. Atlas gleb leśnych Polski. CILP, Warszawa ISBN 83-88478-17-6.

Bugała W. 1973. Systematyka i zmienność. [w:] Topole. [red:] S. Białobok. PWN, Warszawa – Poznań. s. 9-136.

Ceulemans R., Scarascia-Mugnozza G., Wiard B.M., Braatne J.H., Hinckley T.M., Stettler R.F., Isebrands J.G., Heilman P.E.1992. Production physiology and morphology of Populus species and their hybrids grown under short rotation. I. Clonal comparisons of 4-year growth and phenology. Canadian Journal of Forest Research, 22. s. 1937-1948

Ceulemans R., Deraedt W. 1999. Production physiology and growth potential of poplars under short-rotation forestry culture. Forest Ecology and Management, 121. s. 9-23

Chodzicki E. 1976. Zagadnienia współdziałania hodowli lasu z postulatami kształtowania środowiska przyrodniczego w Polsce. Folia Forestalia Polonica, ser. A, Nr 22. s. 15-27

Christersson L. 2006. Biomass production of intensively grown poplars in the southernmost part of Sweden: Observations of characters, traits and growth potential. Biomass and Bioenergy, 30. s. 497-508.

Christine I.; Volkhard S.; Werner D.; Johannes E., 2004. Quality changes of chipped short rotation coppice during storage with special emphasis on human pathogen fungi. Proceedings of the

9th International Conference Ecological Energy Resources in Agriculture. Institute of Agricultural Engineering LUA. s. 117-123

Czerniakowski Z. W. 2003. Chrząszcze (*Coleoptera*) - szkodniki na plantacjach produkcyjnych *Salix cordata* '*Americana'* Hort. Zeszyty Naukowe AR, rozprawy. Kraków. s. 87

Dawson M. 2007. Short rotation coppice willow best practice guidelines. Omagh College, Renew Project, Rural Generation Ltd, Wielka Brytania.

Demchik M., Current D., Johnson W., Riemenschneider D., Vongroven S., Wene E. 2002. Hybrid poplars as an alternative crop. Natural Resources Special Report, NRSR-2, University of Minnesota.

Dimitriou I. 2005. Performance and sustainability of short-rotation energy crops treated with municipal and industrial residues. Praca doktorska, Szwedzki Uniwersytet Nuk Rolniczych, Uppsala, ISSN 1652-6880, ISBN 91-576-7043-9

Dominik J., Grzywacz A. 1998. Zagrożenie obcych gatunków drzew iglastych ze strony rodzimej entomofauny oraz mykoflory. Fundacja Rozwój SGGW. Warszawa. ISBN 83-87660-58-2.

Dowell R.C., Gibbins D., Rhoads J.L., Pallardy S.G. 2009. Biomass production physiology and soil carbon dynamics in short-rotation-grown *Populus deltoids* and *P. deltoids* x *P. nigra* hybrids. Forest Ecology and Management, 257. s. 134-142

Drogoszewski B., Kocjan H., Urbański K. 1998. Wzrost brzozy brodawkowatej i modrzewia polskiego w 20-letniej uprawie plantacyjnej. Roczniki AR Poznań, 305, Leśnictwo, 36. s. 11-24

Drogoszewski B., Kocjan H., Urbański K. 2000. Ocena stanu 25-letnich upraw plantacyjnych brzozy brodawkowatej i modrzewia polskiego założonych w różnych więźbach. Roczniki AR Poznań, 326, Leśnictwo, 38. s. 11-26

Dubas J.W. 2003. Wierzba. [w:] Rośliny energetyczne. [red:] Kościk B. Wyd. AR w Lublinie. s. 56-78.

Dubas J. W., Grzybek A., Kotowski W., Tomczyk A., 2004. Wierzba energetyczna – uprawa i technologie przetwarzania. Wyższa Szkoła Ekonomii i Administracji w Bytomiu. ISBN 83-88587-71-4.

Dubas J.W., Tomczyk A. 2005. Zakładanie, pielęgnacja i ochrona plantacji wierzb energetycznych. Wydawnictwo SGGW Warszawa. ISBN 83-7244-617-2.

Ericsson K., Rosenqvist H., Ganko E., Pisarek M., Nilsson L. 2006. An agro-economic analysis of willow cultivation in Poland. Biomass and Bioenergy, 30. s. 16-27

Faber A., Kuś J. 2007. Rośliny energetyczne dla różnych siedlisk. Wyd. Wieś Jutra. Warszawa. s. 11-12.

Faber A., Kuś J., Matyka M. 2009. Uprawa roślin na cele energetyczne. Poradnik. Wyd. W i B Wiesław Drzewiecki. Warszawa.

Faliński J.B. 1990. Zarys ekologii. [w:] Wierzby. [red:] Białobok S. PAN, Warszawa-Poznań

Fara L., Filat M., Chira D., Fara S., Nutescu C. 2009. Preliminary research on short cycle poplar clones for bioenergy production. [online] Proceedings of RIO9 – World Climate and Energy Event, 17-19 marca 2009, Rio de Janeiro, Brazylia. [dostęp 27.03.2010] Dostępny w Internecie: http://www.rio9.com/ programme/Book_of_Proceedings/21_BM_Fara_2.pdf

Felix E., Tilley D.R., Felton G., Flamino E. 2008. Biomass production of hybrid poplar (*Populus sp*.) grown on deep-trenched municipal biosolids. Ecological Engineering, 33. s. 8-14

Ford-Robertson J.B., Mitchell C.P., Watters M.P. 1993. Short rotation coppice energy plantation: technology and economics. Journal of Sustainable Forestry, 1(3). s. 23-40

Frączek J. Mudryk K., 2009. Wpływ wilgotności rozdrabnianych pędów wierzby *Salix viminalis* L. na skład granulometryczny uzyskiwanych zrębków. Acta Agrophysica, 2009, 14(1).

Frączek J., Mudryk K., Wróbel M. 2009. Klon jesionolistny *Acer negundo* l. – nowy potencjalny gatunek energetyczny. Acta Agrophysica, 14(2). s. 313-322

Gigler J.K., Loon W.K.P. van, Vissers M.M., Bot G.P.A., 2000 . Forced convective drying of willow chips. Biomass and Bioenergy Vol.19 nr 4. s. 259-270.

Gostkowski R. 2005. Ekonomiczny miskantus. Czysta Energia nr 10.

Gostkowski R. 2006. Miskantus – trawa energetyczna. Wokół Energetyki 5 (33).

Góral S. 1996. Topinambur – słonecznik bulwiasty – *Helianthus tuberosus* L. [W:] Nowe rośliny uprawne na cele spożywcze, przemysłowe i jako odnawialne źródła energii, Nalberczyk E. (red.), SGGW, Warszawa.

Góral S. 1999. Słonecznik bulwiasty – topinambur, uprawa i użytkowanie. IHAR, Radzików.
Grabiński J., Księżak J., Nieróbca P., Szeleźniak E. 2006. Uprawa wierzby wiciowej i ślazowca pensylwańskiego na cele energetyczne. Wyd. IUNG-BIP, Puławy. ISBN-83-89576-17-1.
Gradziuk P., Grzybek A., Kowalczyk K., Kościk B. 2003. Biopaliwa. Wyd. „Wieś Jutra" Sp. z o.o. Warszawa 2003. ISBN 83-88368-10-9.
Grünewald H., Böhn Ch., Quinkenstein A., Grundmann P., Eberts J., Wühlisch G. 2009. *Robinia pseudoacacia* L.: lesser known tree species for biomass production. BioEnergy Research, 2. s. 123-133
Grzybek (red.) 2009. Rośliny energetyczne. [W:] Odnawialne źródła energii i działania adaptacyjne do zmiany klimatu w rolnictwie i na wsi – przykłady doświadczeń w UE. Wyd. Naukowe Scholar. Warszawa. ISBN 978-83-7383-392-0.
Grzywacz A. 2002. Problemy zalesień w wielofunkcyjnym rozwoju obszarów wiejskich. Postępy Nauk Rolniczych, 3/297. s. 5-17
Gunia S., Nowakowska J. 1995. Plantacje drzew leśnych – źródło surowca drzewnego. Biblioteczka Leśniczego z. 56, Wydawnictwo Świat, Warszawa, ISSN 1232-8111
Heinsoo K., Sild E., Koppel A. 2002. Estimation of shoot biomass productivity in Estonian *Salix* plantations. Forest Ecology and Management, 170. s. 67-74
Hejmanowski S. 1975. Uprawa topoli. PWRiL, Warszawa
Hejmanowski S. 1989. Plantacyjna uprawa drzew. Wydawnictwo SGGW-AR, Warszawa, ISBN 83-00-02600-2
Honkanen A. 1994. Selection of *Salix myrsinifolia* clones for biomass forestry in Finland. Silva Fennica, 28(3). s. 189-201
Igliński B., Buczkowski R., Cichosz M. 2009. Technologie bioenergetyczne. Monografia. Wyd. Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika. Toruń. ISBN 978-83-231-2441-2.
Jasiulewicz M., Kiełczewski R. 2006. Założenie plantacji wierzby na gruncie odłogowanym. Stowarzyszenie Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu, Roczniki naukowe VII, 1. s. 52-56
Jaworski A. 1973. Przewodnik do ćwiczeń z hodowli lasu. Topola – charakterystyka i plantacje. Akademia Rolnicza w Krakowie, Skrypty dla Szkół Wyższych
Jaworski A. 1994. Charakterystyka hodowlana drzew leśnych. Gutenberg, Kraków, ISBN 83-86310-00-6.
Jaworska K. 2000 Ochrona roślin ozdobnych przed kretami i gryzoniami. Hasło Ogrodnicze. Nr 6. s. 150.
Karačić A., Verwijst T., Weih M. 2003. Above-ground woody biomass production of short-rotation *Populus* plantations on agricultural land in Sweden. Scandinavian Journal of Forest Research, 18. s. 427-437
Karwowska-Marska E. 2007. Topole z plantacji jako surowiec energetyczny. Wokół Energetyki, 10(1). s. 56-60
Kasprzak J., Dobies T. 1999. Sposoby zabezpieczania upraw przed szkodami wyrządzanymi przez drobne gryzonie. Las Polski. Nr 9. s. 14 - 15
Kauter D., Lewandowski I., Claupein W. 2003. Quantity and quality of harvestable biomass from *Populus* short rotation coppice for solid fuel use – a review of the physiological basis and management influences. Biomass and Bioenergy, 24. s. 411-427
Kołodziej Z., Bilański P. 2004. Susza - czynnik zagrażający lasom. Las Polski. Nr 13 - 14. s. 23 - 35
Kopp R.F., Abrahamson L.P., White E.H. Burns K.F., Nowak C.A. 1997. Cutting cycle and spacing effects on biomass production by a willow clone in New York. Biomass and Bioenergy, 12. s. 313-319
Kościk B. (red.), Borkowska H., Dubas J. W., Gradziuk P., Kowalczyk-Juśko A., Martyn W., Rawicki B., Styk B., Węgorek T. 2003. Rośliny energetyczne. Wyd. AR Lublin. ISBN 83-7259-091-5.
Kowalik P. 1990. Techniczne możliwości wykorzystania wierzb dla potrzeb energetycznych. [w] Wierzby. [red] Białobok S. PAN, Warszawa-Poznań. s. 365-375
Kowalska J., 2001. Chrabąszczowate - zagrożenie i możliwości zwalczania. Sylwan. Nr. 7. s. 97-103.
Kowalski S. (red.) 2007. Ektomikoryzy: nowe biotechnologie w polskim szkółkarstwie lesnym. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa.

Kowalski T. 2000. Czy *Gremmeniella abietina* zagraża świerkom. Głos Lasu. Nr 2. s. 12 - 13
Kozak M., Sowiński J. 2004. Możliwości uprawy szybko rosnących klonów wierzb (*Salix*) w warunkach sudeckich. Problemy Zagospodarowania Ziem Górskich, 50. s. 83-90
Król A., Skrzypczyńska M., 1974. Opanowanie modrzewi różnych gatunków i pochodzeń europejskich przez owady - szkodniki fizjologiczne pierwotne na plantacji w Kolanowie. Sylwan. Nr 10. s. 45 - 53
Kubiak J., 2007. Mikoryza wierzby energetycznej - badania wstępne. Inżynieria Rolnicza. Nr 3 (91). s. 105 - 110
Kwaśniewski D., Mudryk K., Wróbel M. 2008. Ocena zbioru wierzby energetycznej z użyciem kosy spalinowej. Inżynieria Rolnicza. Nr 10 (108). s. 159-165.
Kwaśniewski D., Mudryk K., Wróbel M., 2006. Zbiór wierzby energetycznej przy użyciu piły łańcuchowej. Inżynieria Rolnicza, 13 (88), 271 -278.
Labrecque M., Teodorescu T.I. 2003. High biomass field achieved by *Salix* clones in SRIC following 3-years coppice rotations on abandoned farmland in southern Quebec, Canada. Biomass and Bioenergy, 25. s. 135-146
Larsson S. 2005. Kilka lat z wierzbą energetyczną w Szwecji. Czysta Energia, Nr 1. s. 12-13.
Larsson S. 2006. Od A do Z o wierzbie energetycznej. Czysta Energia nr 1. s. 18-19.
Laureysens I., Bogaert J., Blust R., Ceulemans R. 2004. Biomass production of 17 poplar clone in a short-rotation coppice culture on a waste disposal site and its relation to soil characteristics. Forest Ecology and Management, 187. s. 295-309
Laureysens I., Pellis A., Willems J., Ceulemans R. 2005. Growth and production of a short rotation coppice culture of poplar. III. Second rotation results. Biomass and Bioenergy, 29. s. 10-21
Lindroth A., Båth A. 1999. Assessment of region al willow coppice yield in Sweden on basis of water availability. Forest Ecology and Management, 121. s. 57-65
Lowthe-Thomas S.C., Slater F.M., Randerson P.F. 2010. Reducing the establishment costs of short rotation willow coppice (SRC) – A trial of a novel layflat planting system at an upland site in mid-Wales. Biomass and Bioenergy, DOI: 10.1016/j.biombioe.2010.01.011 (w druku)
Łabanowski G. (red.) 2001. Ochrona drzew i krzewów iglastych. Plantpress. Kraków. ISBN 83-85982-53-1
Łabanowski G., Soika G. 2003. Szkodniki ozdobnych drzew liściastych. Plantress. Kraków. ISBN 83-85982-82-5
Łonkiewicz B. 1996. Założenia krajowego programu zwiększania lesistości. Prace IBL, Ser. B, 27. s. 27-46.
Majtkowska G., Majtkowski W. 2005. Trawy i rośliny motylkowate. Agro Serwis.
Majtkowski W. 2007. Rośliny energetyczne na paliwo stałe. Wyd. Wieś Jutra. Warszawa. s. 16-18.
Malinowski H. 2006. Ochrona szkółek, upraw i leśnych plantacji nasiennych przed owadami żerującymi na korzeniach. Biblioteczka leśniczego. Zeszyt 239. ISSN 1232-8111
Malinowski H. 2010. Możliwości ochrony lasu przed owadami uszkadzającymi systemy korzeniowe metodą biologiczną z wykorzystaniem grzybów entomopatogennych. II. Skuteczność bioinsektycydów grzybowych w ograniczaniu liczebności pędraków chrabąszczy (*Melolontha* spp.) i innych szkodników korzeni. Sylwan. Nr 1. s. 15 - 23
Mańka M. 1998. Ważniejsze choroby infekcyjne. Biologia świerka pospolitego. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, 427 - 455. ISBN 83-86001-48-8
Mańka K. 2005. Fitopatologia leśna. Wydanie VI zmienione i poprawione. PWRiL Warszawa.
Mitchell C.P., Stevens E.A., Watters M.P. 1999. Short rotation forestry – operations, productivity and costs based on experience gained in the UK. Forest Ecology and Management, 121. s. 123-136.
Nowakowska J., Borecki T. 1997. Dwudziestoletnie badania na plantacyjnych powierzchniach doświadczalnych w LZD w Rogowie. Sylwan, R. 141, Nr 1. s. 57-65
Nowakowska J., Borecki T., Miścicki S., Stępień S., Zielony R. 1993. Ocena plantacji szybko rosnących gatunków drzew leśnych w Leśnym Zakładzie Doświadczalnym w Rogowie. Sylwan, R. 137, Nr 1. s. 43-51

Orlikowski L.B., Oszako T. (red.) 2009. Fytoftorozy w szkółkach i drzewostanach leśnych. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych. Warszawa. ISBN 978-83-61633-09-9
Pastorek Z., Kara J., Jevic P. 2004. Biomasa obnovitelny zdroj energie. FCC Public 2004. ISBN-80-86534-06-5
Pearson C.H., Halvorson A.D., Moench R.D., Hammon R.W. 2010. Production of hybrid poplar under short-term, intensive culture in Western Colorado. Industrial Crops and Products, DOI: 10.1016/j.indcrop.2010.01.011 (w druku)
Pasyniuk P. 2007. Problemy mechanizacji uprawy i zbioru wierzby krzewiastej *Salix viminalis*. Problemy Inżynierii Rolniczej. Nr 1. s. 145 - 154
Piechowski D. 1994. Z badań nad zgryzaniem drzew leśnych przez jeleniowate (*Cervidae*). Sylwan. Nr 1. s. 79 - 83
Puchalski T., Prusinkiewicz Z., 1975. Ekologiczne podstawy siedliskoznawstwa leśnego. PWRiL. Warszawa.
Rédei K., Veperdi I. 2009. The role of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) in establishment of short-rotation energy plantations in Hungary. International Journal of Horticultural Science, 15(3). s. 41-44
Ropek D., 2007. Szkodniki wierzby wiciowej (*Salix viminalis*). Progress in Plant Protection, 47 (1): 355 - 358.
Rosłon W. 2004. Działkowiec nr 9.
Roszewski R. 1996. Miskant obrzymi – *Miscanthus sinensis giganteus*. [W:] Nowe rośliny uprawne na cele spożywcze, przemysłowe i jako odnawialne źródła energii. SGGW, Warszawa.
Rozwałka Z. 2003. Zasady hodowli lasu. Ośrodek Rozwojowo-Wdrożeniowy Lasów Państwowych, Bedoń, ISBN 83-913320-3-9
Sage R. B., Tucker K. 1998. The distribution of *Phratora vulgatissima* (*Coleoptera: Chrysomelidae*) on cultivated willows in Britain and Ireland. European Journal of Forest Pathology. Vol. 28 Nr 4. s. 289 - 296
Sawicka B. 1998a. Wartość pastewna słonecznika bulwiastego w warunkach nawożenia azotem. Ann. UMCS. s. E, vol. 11. s. 97-108.
Sawicka B. 1998b. Wpływ intensywnego nawożenia azotem w uprawie słonecznika bulwiastego na plon i jego strukturę. Rocz. AR w Poznaniu CCCVII, Roln. 52. s. 235-241.
Schnaider Z., 1991. Atlas uszkodzeń drzew i krzewów. PWN, Warszawa.
Sierota Z. 1995. Zastosowanie preparatów grzybowych przeciwko patogenom korzeni. Znowelizowane wytyczne postępowania ochronnego. IBL, Warszawa (manuskrypt)
Siwecki R. 1980. Ważniejsze choroby pasożytnicze. Monografie popularnonaukowe. Tom 8, Olsze *Alnus* Mill. PWN, Warszawa - Poznań, 281 - 295. ISBN 83-01-02611-1
Skorupska A. 1997. Gryzonie myszowate - szkodniki pól uprawnych. Poradnik gospodarski. Nr 9. s. 28 - 39
Sobczak R. 1997. Nieleśne zagospodarowanie gruntów porolnych. Postępy Techniki w Leśnictwie, Nr 64. s. 18-21
Stanturf J.A., van Oosten C., Netzer D.A., Coleman M.D., Portwood C.J. 2002. Ecology and silviculture of poplar plantations. NRC Research Press, Ottawa, Kanada. s. 153-206
Stolarski M., Szczukowski S., Tworkowski J., Klasa A. 2008. Productivity of seven clones of willow coppice in annual and quadrennial cutting cycles. Biomass and Bioenergy, 32. s. 1227-1234.
Stolarski M., Wróblewska H., Szczukowski S., Tworkowski J., Kwiatkowski J., Cichy W. 2006. Charakterystyka biomasy wierzby i ślazowca pensylwańskiego jako potencjalnego surowca przemysłowego. Fragmenta Agronomica, Nr 3. s. 277-289
Stolarski M., Kisiel R., Szczukowski S., Tworkowski J. 2008. Koszty likwidacji plantacji wierzby krzewiastej. Roczniki Nauk Rolniczych, Seria G, T. 94. z. 92. s. 172-177.
Stolarski M., Szczukowski S., Tworkowski J., Bieniek A. 2009. Productivity of willow coppice *Salix* spp. under contrasting soil conditions. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities

[online], Agronomy. Volume 12 Issue 1 [dostęp 10-03-2010]. Dostępny w internecie: http://www.ejpau.media.pl/volume12/issue1/art-10.html

Sulima P., Przyborowski J.A., Stolarski M. 2006. Ocena przydatności wybranych gatunków wierzby do celów energetycznych. Fragmenta Agronomica, Nr 3. s. 290-299

Szczukowski S., Stolarski M., Tworkowski J., Przyborowski J., Klasa A. 2005. Productivity of willow coppice plants grown in short rotation. Plant Soil and Environment, 51, Nr 9. s. 423-430

Szczukowski S., Tworkowski J., Stolarski M. 2004a. Wierzba energetyczna. Plantpress, Kraków, ISBN 83-85982-86-8

Szczukowski S., Tworkowski J., Stolarski M., Przyborowski J. 2004b. Plon biomasy wierzb krzewiastych pozyskiwanych z gruntów rolniczych w cyklach jednorocznych. Fragmenta Agronomica, 20, Nr 2(82), s 5-18

Szczygieł K. 2006. Mikrowegetatywne rozmnażanie szansą dla plantacyjnej uprawy drzew szybko rosnących. Postępy Techniki w Leśnictwie, Nr 97. s. 18-22

Szmidt A. 1980. Ważniejsze szkodniki olszy. Monografie popularnonaukowe. Tom 8, Olsze *Alnus* Mill. PWN, Warszawa - Poznań, 297 - 323.

Szmidt A. 1998. Ważniejsze szkodniki. Biologia świerka pospolitego. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, 455 - 468.

Szukiel E. 2001. Ochrona drzew przed roślinożernym ssakami. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych. Warszawa.

Szweykowska A., Szweykowski J. 2006. Botanika – systematyka. PWN Warszawa.

Tichý V. 1987. Drobní myšovití hlodavci v lese a obrana Proti nim. Lesnická práce, 2: 70 - 75.

Tunçtaner K. 2002. Primary selection of willow clones for multi-purpose use in short rotation plantation. Silvae Genetica, 51(2-3). s. 105-112

Turnbull D.J., Jefferies J., Parfitt R. 2004. An evaluation of the optimum timing for planting short rotation coppice. Biomass Energy Services, B/W2/00718/REP DTI/Pub URN 04/1657, Wielka Brytania

Tyszkiewicz S. 1956. Topola. Jej znaczenie gospodarcze i uprawa. PWRiL. Warszawa.

Urbański K., Drogoszewski B., Kocjan H. 1985. Wzrost pięcioletniej uprawy plantacyjnej szybko rosnących drzew leśnych w Nadleśnictwie Doświadczalnym Zielonka. Pr. Kom. Nauk Roln. Nauk Leśn., PTPN, 60. s. 165-171

Volk T. A., Abrahamson L.P., Priepke E., Aneshansley D., White E.H., Smart L.B. 2008. Development of a Willow Biomass Crop Harvester Based on a New Holland Forage Harvester and Specially Designed Willow Cutting Head. Society of American Foresters Agroforestry Working Group Newsletter Volume 5: Issue 1 February 2008

Volk T.A., Abrahamson L.P., White E.H., Robinson D.J. 2002. Alternative methods of site preparation for short-rotation willow and poplar biomass crops. Final Report. State University of New York. Dostępny w Internecie: http://www.esf.edu/willow/pdf/reports/2002%20AltSitePrep.pdf

Węgorek T. 2003. Drzewa. [w:] Rośliny energetyczne. [red:] Kościk B. Wydawnictwo AR w Lublinie. s. 45-55

Wiler K. 2007. Ochrona lasów przed pożarami. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych. Warszawa.

Wołczańska A. 1999. *Melampsoridium hiratsukanum* (*Uredinales*), a new species for Poland. Acta Mycologica. Vol. 34 (2). s. 345 - 347

Wytyczne Plantacyjnej Uprawy Topoli. 1986. Wydanie II, NZLP, IBL, Warszawa

Zabielski S. 1973. Uprawa topoli w Polsce. [w:] Topole. [red:] S. Białobok. PWN, Warszawa – Poznań. s. 413-462

Zabielski S. 1998. Plantacyjna uprawa drzew i krzewów szybko rosnących. Wydawnictwo AR w Poznaniu, ISBN 83-7160-093-3

Zabrocki R., Ignacek G. 2007. Wykorzystanie wierzby energetycznej w gospodarce rolnej. Stowarzyszenie Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu, Roczniki Naukowe, 9(3). s. 234-238

Zajączkowski K. 2003. Plantacyjna uprawa drzew i krzewów na gruntach porolnych. [w:] Zalesienia w Europie. Doświadczenia i zamierzenia. [red:] Zając St., Gil W. Prace IBL, Problemy Współczesnego Leśnictwa, 1, IBL, Warszawa. s. 226-239

Zajączkowski K. 2006. Plantacje leśnych gatunków drzew szybko rosnących - stan obecny i perspektywy rozwoju. Głos Lasu. Nr 37 (6). s. 6 - 10

Zajączkowski K. 2006a. Dobór odmian topól i wierzb do uprawy na plantacjach drzew szybkorosnących. [w:] Elementy genetyki i hodowli selekcyjnej drzew leśnych. [red:] J. Sabor, CILP. s. 281-301

Zajączkowski K. 2006b. Produkcyjność wybranych odmian wierzb krzewiastych na doświadczalnych plantacjach o skróconym cyklu. Leśne Prace Badawcze, Nr 2. s. 7-32

Zajączkowski K. 2007. Robinia akacjowa jako roślina energetyczna. Wokół Energetyki, 10(5). s. 30-33.

Zajączkowski K., Kwiecień R., Zajączkowska B., Wojda T., Zawadzki M. 2001. Produkcyjne możliwości wybranych odmian topoli i wierzby w plantacjach o skróconym cyklu. Maszynopis IBL, Warszawa

Zajączkowski K., Załęski A. 2007. Wytyczne zakładania i prowadzenia plantacyjnych upraw leśnych gatunków drzew szybko rosnących. Maszynopis IBL, Sękocin

Załęski A., Kantorowicz W. 1998. Wzrost wybranych gatunków drzew leśnych w uprawach plantacyjnych w różnych warunkach. Prace IBL, ser. A, 852-855. s. 5-49

Zamojski H., Purta J., Krawczyk A. 2009. Możliwości produkcji biomasy pochodzenia rolniczego w województwie opolskim. OODR Łosiów materiały ze strony http://www.oodr.pl/pdf/ prezentacja-biomasa.pdf - dostęp 20.05.2010

Zarzyński P. 2005a. Choroby drzew leśnych - brzoza. Las Polski. Nr 6. s. 20 - 21

Zarzyński P. 2005b. Choroby drzew leśnych - modrzew. Las Polski. Nr 9. s. 24 - 25

Zarzyński P. 2005c. Choroby drzew leśnych - topole i wierzby. Las Polski. Nr 15 - 16. s. 38 - 39

Zenkteler M., Wojciechowicz M., Bagniewska-Zadworna A., Zenkteler E., Jeżowski S. 2005. Intergeneric crossability studies on obtaining hybrids between *Salix viminalis* and four *Populus* species. Trees, 19. s. 638-643

Firma Agropartner, http://www.agropartner.pl/?t=kat&id=148&start=8 (dostęp dnia 20.04.2010)

Firma Anderson, www.grpanderson.com/en/biomass/biobaler-system/172-about-biomass (dostęp dnia 20.04.2010).

Firma Eurobiomass. http://www.eurobiomass.pl/83-slazowiec.html (dostęp dnia 20.04.2010)

Firma KRIS, http://www.karczowanie.com.pl (dostęp dnia 20.04.2010)

Firma SIPMA, http://www.sipma.pl/page.php?content=wielogabarytowe (dostęp dnia 20.04.2010)

Firma Zielona Energia, www.ze.strefa.pl/index2.php?main=o_k03.htm (dostęp dnia 20.04.2010)

Forest Research - Technical Development, Harvesting and comminution of short rotation coppice. Technical Note 8/98, Crown Copyright 1998 500S/20/93

IUFRO 2010. [online]. Short-rotation forestry. [dostęp 15.03.2010]. Dostępny w Internecie: http://www.iufro.org/science/divisions/division-1/10000/10300/

Latmännen Agroenergi 2009. Manual for SRC willow growers. [online] Latmännen Agroenergi. Szwecja [dostęp 17.10.2009]. Dostępny w Internecie: http://www.agroenergi.se/PageFiles /135/ENG_Odlarmanual%20Salix%20%28Revidering%29.pdf?epslanguage=sv

Leśnictwo 2009. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa

NORDIC BIOMASS http://picasaweb.google.dk/nordicbiomass/ (dostęp dnia 20.04.2010).

Pierwsze polskie odmiany wierzby energetycznej 2009. [online]. Katedra Hodowli Roślin i Nasiennictwa UWM w Olsztynie 2009 [dostęp: 20.03.2010]. Dostępny w Internecie: http://www.uwm.edu.pl /khrin/oferta3.htm

PN-R-67025. 1999. Materiał sadzeniowy. Sadzonki drzew i krzewów do upraw leśnych i na plantacje

SRC SERVICES - Nordic Biomass - APRIL 2010 www.nordicbiomass.dk/files/SRC%20 Services%20 and%20equipment%202010.pdf (dostęp dnia 20.04.2010).

III. Biomasa z produkcji polowej i leśnej

Barbara Krzysztofik
Instytut Eksploatacji Maszyn, Ergonomii i Procesów Produkcyjnych, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

UPRAWY POLOWE

Do biosurowców pochodzenia rolniczego należą m.in. zboża, rośliny z użytków zielonych, rzepak, gorczyca, dynia oleista, słonecznik, ziemniaki, buraki, rzepa, kukurydza, len oleisty, konopie, motylkowe (łubin), chmiel, ryż, orzech ziemny, które w wyniku fotosyntezy kumulują energię możliwą do wykorzystania w różnej formie i na różne cele. Do odpadów pochodzenia biologicznego (rolniczego) należą m. in. obierki z ziemniaków, odpady zbożowe, paszowe, makuchy, łodygi i osadki kukurydzy, trawy i lucerna, śruta, pierze i skorupki z jajek, a także odchody zwierzęce, które stanowią cenne, z energetycznego punktu widzenia, surowce.

W energetyce znajduje zastosowanie słoma wszystkich rodzajów zbóż oraz rzepaku i gryki. Za szczególnie cenną uchodzi słoma żytnia, pszenna, rzepakowa, gryczana, bobikowa i słonecznikowa. Kraje posiadające mało zwierząt gospodarskich, a produkujące dużo zbóż i rzepaku starają się znaleźć alternatywne formy wykorzystywania słomy. Na przykład Kanadyjczycy używają jej do produkcji płyt, zaś Duńczycy już ponad połowę słomy wykorzystują na cele energetyczne [Denisiuk 2003].

Produkcja słomy z roślin zbożowych i innych wynosi w Polsce około 25 mln ton. Przeznaczając docelowo na cele energetyczne tylko 50% produkcji, można zaoszczędzić około 5 mln ton węgla rocznie [Denisiuk 2003, 2004, 2005]. Wyniki dotyczące zasobów energii w Polsce wskazują, że w skali kraju na cele energetyczne można przeznaczyć około 6-7 mln ton słomy rocznie. Pełne wykorzystanie nadwyżek z produkcji słomy może pokryć aż 4% zapotrzebowania Polski na energię pierwotną.

Pomimo, że w skali kraju biomasa stanowi znaczny potencjał energetyczny, występuje w dużym rozproszeniu. Zapotrzebowanie na energię ze źródeł odnawialnych będzie w najbliższych latach ciągle wzrastać. Szacuje się, że polskie zasoby biomasy 10-krotnie przewyższają potrzeby energetyczne Polski [Denisiuk 2005]. W Polsce na paliwo uprawia się rośliny oleiste, przede wszystkim rzepak, w mniejszym stopniu len i słonecznik. Wytwarza się z nich tzw. biodiesel, a także dodatki do paliw nieodnawialnych. Do produkcji etanolu wykorzystuje się przede wszystkim buraki cukrowe, ziemniaki, kukurydzę i inne zboża.

Wartościowym surowcem do produkcji energii jest ziarno zbóż [Rozporządzenie 2003]. Skandynawowie jako pierwsze kraje w Europie, ponadto Kanada i USA wykorzystują do spalanie ziarno [Kowalczyk-Juśko 2004]. Badania przeprowadzone na uniwersytecie w Minnesocie wykazały, że ogrzewanie ziarnem kukurydzy jest ekonomicznie konkurencyjne w stosunku do ogrzewania olejem, gazem lub prądem.

Zbożem, które brane jest pod uwagę przy produkcji ziarna na opał jest owies. Na świecie uprawy owsa zajmują około 17,9 mln ha, w Polsce zaś 570 tys. ha. Plony owsa są stosunkowo niewielkie: choć na świecie uprawy owsa zajmują 3% powierzchni wykorzysty-

wanej pod uprawę zboża, jego zbiory stanowią zaledwie 1,7% wszystkich plonów zboża. W Polsce zbiory owsa stanowią 6,2% wszystkich plonów zboża i wynoszą 2,53 t/ha, czyli tylko 43% potencjału. Najwyższe plony owsa są osiągane w Irlandii (6 t/ha), w Holandii (5,8 t/ha) i w Anglii (5,5 t/ha). Owies jest łatwy w spalaniu (wilgotność 10–13%, wartość energetyczna 18,5 MJ/kg, popiół 0,6%). W kotle do spalania owsa można spalać także pelety, transport i magazynowanie owsa jest łatwiejsze niż transport i magazynowanie innych rodzajów biomasy, np. drewna czy słomy. Do wyprodukowania 10 tys. kW energii cieplnej potrzebne są 3 tony owsa, co odpowiada 1 m^3 (1000 l) oleju opałowego. Obliczono, że w sezonie grzewczym gospodarstwo domowe potrzebuje 6–7 ton ziarna co wskazuje, że do ogrzania jednego gospodarstwa wystarczy plon owsa z 2 ha [Wróbel i in. 2000]. Uprawę owsa cechują małe wymagania glebowe, co oznacza, że może być uprawiany wszędzie. Istnieje długa tradycja uprawy tego zboża, a maszyny używane do jego produkcji są powszechnie dostępne. Cena owsa jest konkurencyjna w stosunku do innych rodzajów zbóż. Powstały w procesie opalania popiół może być wykorzystywany jako nawóz, co może przyczynić się do redukcji zużycia nawozów sztucznych [Kowalczyk-Juśko 2004, 2007].

Wykorzystanie poszczególnych biosurowców w pozyskaniu danego rodzaju energii jest zróżnicowane. Największy udział wśród biosurowców odnotowano dla kukurydzy i pszenżyta oraz ziarna owsa. Na dzień dzisiejszy do produkcji etanolu na cele energetyczne nie wykorzystuje się ziarna pszenicy i jęczmienia, zaś etanol uzyskany z żyta stanowi produkt spożywczy. Z tych zbóż możliwe jest wykorzystanie słomy do produkcji energii w wyniku jej spalania [Krzemiński, Zalewski 2009].

Sektor biopaliw angażuje obecnie 128 mln l bioetanolu, co stanowi ekwiwalent 328 tys. ton żyta i 40% rocznej produkcji spirytusu surowego w Polsce. Zgodnie z celami określonymi w Dyrektywie 2003/30/WE do 2013 r. zapotrzebowanie na bioetanol wzrośnie do 439 mln l. Stanowić to będzie ekwiwalent 1,1 mln ton zbóż i oznacza 3,5-krotny wzrost popytu sektora biopaliw na ziarno zbożowe.

W tabeli 20 zamieszczono rośliny z upraw polowych ze wskazaniem możliwości ich wykorzystania (w całości lub w części) na dany rodzaj energii.

Spośród całej gamy roślin mogących stanowić potencjalny surowiec do produkcji biopaliw największe możliwości wykorzystania dotyczą kukurydzy, z której możliwe jest wykorzystanie każdej części rośliny (tab.20). Kukurydza – jako surowiec energetyczny charakteryzuje się wysoką wydajnością z hektara, a jednocześnie dobrą wydajnością jednostkową produktu energetycznego. Można z niej produkować bioetanol, biogaz lub przeznaczyć do bezpośredniego spalania, wykorzystując ziarno, całą biomasę jak też produkty uboczne w postaci słomy czy rdzeni kolbowych (osadek).

Do czynników przemawiających za wykorzystaniem do produkcji bioetanolu ziarna kukurydzy należą: najwyższa wydajność etanolu z tony surowca spośród wszystkich rolniczych masowych surowców, najwyższy wskaźnik efektywności energetycznej, niższe koszty transportu, magazynowania oraz przerobu surowca, przyjazny dla środowiska proces produkcji. Kukurydza jest najbardziej wydajna ze wszystkich roślin rolniczych pod względem ilości energii wyprodukowanej z 0,1 t ziarna. Można z niej wyprodukować 37 litrów alkoholu zaś z pszenicy - 34 l, z ziemniaków 14 l a z buraków cukrowych - 10 l.

Do produkcji etanolu może być wykorzystane także ziarno o mniejszej wartości, np. ziarno porażone przez choroby grzybowe na polu czy zawilgłe w magazynach. Ważnym argumentem przemawiającym za szerszym wykorzystaniem kukurydzy do produkcji bio-

etanolu to wysokie plonowanie kukurydzy. Plony suchego ziarna kukurydzy dochodzą do 10 t/ha, na glebach słabych plony są około dwa razy wyższe niż innych zbóż, duże zainteresowanie rolników uprawą na ziarno, zagospodarowanie ziarna nadpsutego i o niskiej wartości paszowej, doskonale nadaje się do zagospodarowania nieużytków, odłogów itp. [Michalski 2005, Majtkowski 2005, Zawieja 2008].

Tabela 20. Potencjalne rośliny energetyczne i ich wykorzystanie

Roślina	Wykorzystanie				
	Wykorzystywana część rośliny	Surowce stałe	Bioetanol	Biogaz	Biodisel
Kukurydza	Słoma, ziarno, kolby, cała roślina	+	+	+	+
Ziemniaki	Bulwy, łęty, obierki		+	+	
Buraki cukrowe	Korzenie, liście		+	+	
Burak pastewny	Korzenie, liście		+	+	
Żyto	Słoma	+	+		
Pszenica	Słoma	+	+		
Jęczmień	Słoma	+	+		
Owies	Ziarno	+			
Pszenżyto	Słoma, ziarno	+	+		
Mieszanki zbożowe	Słoma; zielona masa	+		+	
Rzepak	Słoma, nasiona	+			+
Rzepik, gorczyca	Słoma, nasiona	+			+
Len oleisty	Słoma , nasiona	+			+
Lnianka ozima	Słoma nasiona	+			+
Dynia oleista	Owoce, pestki			+	+
Słonecznik	Słoma, nasiona, łuski	+			+
Gryka	Słoma, łuski	+			
Proso	Słoma	+			
Konopie	Słoma	+			
Sorgo	Słoma	+			
Chmiel	Łodygi	+		+	
Mak	Słoma	+			
Brukiew	Cała roślina			+	
Mieszanki pastewne	Cała roślina			+	
Łubin	Cała roślina			+	

Źródło: opracowanie własne

Przy produkcji biodisla gatunkiem o dużym znaczeniu gospodarczym jest rzepak, a w mniejszym zakresie słonecznik i pozostałe rośliny oleiste. Przy produkcji bioetanolu największą rolę odgrywa kukurydza, zboża podstawowe, burak cukrowy i ziemniaki. Jako paliwa stałe ważne miejsce zajmuje słoma oraz ziarno zbóż (szczególnie nie spełniające wymogów surowcowych jako ziarno konsumpcyjne lub paszowe). Do produkcji biogazu, spośród wszystkich surowców pochodzących z gospodarstwa rolnego największe znaczenie odgrywają stałe i płynne odchody zwierzęce.

O wyborze i uprawie poszczególnych gatunków roślin energetycznych decydują lokalne warunki klimatyczne i glebowe, koszty uprawy, konkurencyjność innych rynków zbytu, wydajność biosurowca z jednostki powierzchni oraz potencjał i stabilność plonowania każdego z gatunków [Nowacki 2009].

W tabeli 21 zamieszczono dane dotyczące plonowania roślin z uwzględnieniem plonu głównego (ziarno, bulwy ziemniaka, korzenie buraka) i ubocznego (liście, łęty, słoma, łuski, obierki) oraz ważnych składników chemicznych istotnych w procesie produkcji bioetanolu lub biodisla (węglowodany, tłuszcze).

Analiza danych zawartych w tabeli 21 wskazuje, że największą powierzchnię uprawy zajmują zboża, następnie okopowe i rzepak. Najwyżej plonującymi roślinami są buraki, kukurydza i ziemniaki. Najwyższe istotne z punktu widzenia energetycznego zawartości składników dotyczą skrobi w ziemniakach, zbożach i kukurydzy oraz oleju w rzepaku, rzepiku i słoneczniku

Tabela 21. Powierzchnia zasiewów plony i zbiory (ziarno słoma)

Roślina	Powierzchnia zasiewów [tys. ha]	Zawartość [% s.m.]			Plony ziarna/ korzeni/bul w [dt/ha]	Plony masy (całe rośliny, słoma, łodygi, łęty, liście) [dt/ha]
		skrobi	cukrów	tłuszczu		
Kukurydza na kiszonkę i ziarno	210	59,8	4,9		52 -100	400-650
Ziemniaki	583	12-22			300-500 (bulwy)	120 (łęty)
Buraki cukrowe	229		16,8-17,4		550-660 (korzenie)	400-500 (liście)
Burak pastewny	117		8-12		880-970 (korzenie)	320-404
Żyto	1245	60,6-65	10,4-14,6		29,9	30 – 40
Pszenica jara	1834	52,4	6,5		30,3	30-35
Pszenica ozima		53,7	4,9		45,1	30-37
Jęczmień ozimy	1089	50,1	7,9		43,3	43
Jęczmień jary		51,1	8,9		30,0	30
Owies	570	36,1	11,9		24,0	36
Pszenżyto ozime	1118	58,2-71,2	10,5-23,7		38,6	30
Pszenżyto jare		60,2	15,9		25,6	37
Mieszanki zbożowe	1535	przeciętna dla zbóż			21,9	37
Rzepak	450			46-48	35	20-30
Rzepik, gorczyca	50			42-45	16-20	18-23
Słonecznik				60	20	400; 4 łuska
Len oleisty				35-40	6-10	30-50
Lnianka				35-42	10-25	10-33
Lnianka jara				33	5-15	10-30
Konopie				30-38	8	100-150
Gryka	79	54,9	12,3		30	12
Proso		54,7	11,3		20	10
Sorgo			18			do 700
Chmiel						ok. 500 (łodygi)
Dynia oleista				33-50	4-7	400-600
Mak				40-50	15	10-15
Brukiew			4-5		586-713 (korzenie)	92-140
Rzepa					104-267 (korzenie)	119-147
Mieszanki pastewne	875					450-550
Łubin	40				20-30	200-400

Źródło: opracowanie własne

Uzysk energii z surowców pochodzenia rolniczego

Uzysk energii z różnych surowców energetycznych pochodzących z upraw polowych przedstawia się następująco:

- wartość opałowa słomy i ziarna wynosi [GJ/m^3]: słoma luźna: 0,25 - 0,58; słoma pocięta: 0,47 - 0,68; słoma sprasowana: 1,04 – 1,91; brykiety ze słomy: 3,56 – 5,33; ziarno owsa: 6,92 – 10,38 [Grzybek, Gradziuk 2006]. W przeliczeniu na kg masy wartość opałowa wynosi odpowiednio w MJ: słoma pszenna 17,5 (słoma żółta – 14,3; słoma szara 15,2); brykiety ze słomy 18,1; słoma kukurydziana 16,8; ziarno kukurydzy 17,2; słoma rzepakowa 15,6.
- energia uzyskana z 1 kg słomy o wilgotności 15% wynosi 14,3 MJ, co odpowiada energii zawartej w 0,81 kg drewna opałowego lub 0,41 m^3 gazu ziemnego wysokometanowego. Pod względem energetycznym 1,5 t słomy równoważy 1t węgla średniej jakości. Natomiast 2,5 kg zboża zastępuje około 1 litra oleju opałowego.
- 1 l biodisla ma wartość opałową 32 MJ, 1 l etanolu - 26 MJ, a 1 m^3 biogazu - 20-22 MJ.
- równowartości energetyczne uzyskane z biosurowców szacowane są na poziomie:
  - 1 l bioetanolu można uzyskać z 3,0 kg zboża albo 12,5 kg ziemniaków lub buraków cukrowych;
  - 1 m^3 bioetanolu można uzyskać z przeciętnych plonów roślin zebranych z powierzchni: odpowiednio 0,3 ha buraków cukrowych, 0,4 ha kukurydzy, 0,6 ha ziemniaków lub 1,0 ha zbóż;
  - 1 l estru uzyskuje się z około 3,0 kg rzepaku, zaś 1 m^3 z 1,0 – 1,2 ha rzepaku,

Uprawa roślin energetycznych pochodzenia rolniczego – najważniejsze elementy technologii

Celem pozyskania surowców energetycznych pochodzących z upraw polowych, w tabeli 22 zamieszczono istotne elementy technologii. Uwzględniono zalecane przedplony, terminy i dawki siewu oraz optymalne dawki nawożenia organicznego i mineralnego. Ponadto w opisie, dla każdej rośliny wskazano na te elementy technologii, które determinują wysokie plony, podano charakterystykę warunków siedliska wymaganego do uprawy, wymogi temperaturowo-wilgotnościowe oraz wskazano odmiany zalecane do uprawy na cele energetyczne. Dla niektórych roślin przedstawiono technologie niskonakładowe, sprawdzone w warunkach produkcyjnych.

Uprawa roślin energetycznych pochodzenia rolniczego – najważniejsze elementy technologii

Celem pozyskania surowców energetycznych pochodzących z upraw polowych, w tabeli 23 zamieszczono istotne elementy technologii. Uwzględniono zalecane przedplony, terminy i dawki siewu oraz optymalne dawki nawożenia organicznego i mineralnego. Ponadto w opisie, dla każdej rośliny wskazano na te elementy technologii, które determinują wysokie plony, podano charakterystykę warunków siedliska wymaganego do uprawy, wymogi temperaturowo-wilgotnościowe oraz wskazano odmiany zalecane do uprawy na cele energetyczne. Dla niektórych roślin przedstawiono technologie niskonakładowe, sprawdzone w warunkach produkcyjnych.

Tabela 22. Uzyski energii z biomasy

Wyszczególnienie	Wydajność etanolu [l/100 kg] surowca	Produkcja etanolu [l/ha]	Wydatek oleju [kg/ha]
Kukurydza	42	2449	145
Ziemniak skrobiowy	12	3240	
Burak cukrowy	10	4070	
Pszenżyto	36	1130	
Żyto	35	823	
Konopie			305
Soja			375
Len			402
Dynia oleista			449
Gorczyca			481
Lnianka			490
Słonecznik			800
Rzepak			1000
Uzyski energetyczne			
	Ciepło	Energia elektryczna	
Kukurydza	80,5 Wh/ha	32,2 Wh/ha	
Trawy łąkowe	42,9 Wh/ha	17,2 Wh/ha	
Owies	17,3-18,3 MJ/kg	80,9-75,7 GJ/ha	
Produkcja CH_4 [m^3/t s.m.]			
Kukurydza	450		
Burak cukrowy korzenie	425		
Burak cukrowy liście	450		
Ziemniak bulwy	418		
Ziemniak łęty	550		
Słoma żytnia	450		
Słoma rzepakowa	340		
Słoma Kukurydzy	650		
Lucerna	400		
Trawa łąkowa	600		

Źródło: Kotowski 2003,2005, Dobek 2005, ww.biopaliwa.com/product_info.php?cPath=117&products_id=459

Tabela 23. Wybrane elementy technologii uprawy roślin energetycznych

Roślina	Zalecany przedplon	Termin siewu	Dawka nasion [kg/ha]	Nawożenie, dawka średnia NPK [kg/ha]
Kukurydza na zielonkę i ziarno	okopowe, strączkowe	5-30 V	40-45	150:100:130;
Ziemniaki	motylkowe, zboża	10 IV-10 V	2500	obornik 25-30 t/ha; 100: 120:130;
Buraki cukrowe	zboża	10-30 IV	4-6	obornik 30-40 t/ha; 240:90:420;
Burak pastewny	j.w.	20-30 IV	2-6	obornik j.w.; 150:150:180
Żyto	zboża, okopowe	05 IX-10 X	105- 161	90:75:120;
Pszenica ozima	strączkowe, rzepak	15 IX-10 X	105-280	100:70:110; 13 Mg
Pszenica jara	okopowe, rzepak, zboża	25 III-10 IV	180-220	80:80:100;
Jęczmień ozimy		01 IX-15 IX	128-176	80:70:90;
Jęczmień jary	motylkowe, okopowe	30 III-15 IV	125-180	75:80:100;
Owies	j.w.	15 III-10 IV	170-210	60:60:130;
Pszenżyto ozime	j.w.	10 IX-10 X	157-247	90:100:100;
Pszenżyto jare	j.w.	15 III-10 IV	200	120:50:60;
Mieszanki zbożowe	j.w.	20 III-10 IV	180-240	100:50:60;
Rzepak	ziemniaki wczesne, groch	15-20VIII	4-4,5	160:90:100;
Rzepik, gorczyca	okopowe	15 III-10 IV	5-12	80:40:80;
Słonecznik	nie wrażliwy na przed-plon	20-30 III	6-10	70:80:150;
Len oleisty	okopowe, zboża	1-15 IV	120-140	40:60:80;
Lnianka ozima	ziemniaki	10-20 IX	3-5	100:40:60
Lnianka jara	ziemniaki	20 III-10 IV	6	50:25:50
Konopie	okopowe, motylkowe	1-20 IV	60-80	obornik 20-30 t/ha; 120:75:160;
Proso	strączkowe, okopowe	15 V-15 VI	15-20	45:35:50;
Gryka	okopowe, zboża	10-20 V	80-100	30:30:30;
Sorgo	małe wymagania	15-30 V	9-11	260:100:300
Chmiel	mieszanki traw i motylkowych	koniec paździer-nika	1900 szt./ha	obornik t/ha; 130:150:180 corocznie
Dynia oleista	okopowe	20V	25	obornik 40 t/ha; 50:35:70;
Mak	buraki, warzywa	15-30 III	3-4	50:45:90;
Brukiew	j.w.	po zbiorze zbóż	2-3	50:35:70;
Rzepa	j.w.	j.w.	3-4	50:35:70;
Mieszanki paszowe*	zboża	20 III-20 IV	8-18	35:80:130;
Łubin	zboża	1-20 IV	180-200	35:80:130;

* koniczyny, lucerna, trawy.

Źródło: praca zbiorowa 2009, Budzyński 2003

Kukurydza wymaga klimatu ciepłego i jednocześnie wilgotnego, daje wtedy najlepsze plony. Gleby pod kukurydzę powinny być zasobne w próchnicę i dosyć szybko nagrzewać się. Aby uzyskać wysokie plony kukurydzy (wykorzystać potencjalne możliwości tej rośliny) trzeba sprostać wielu wymaganiom:

- wymaga podczas wegetacji temperatury co najmniej 20^0C,
- ma duże wymagania wodne,
- jest bardzo wrażliwa na przymrozki zwłaszcza po wschodach,
- źle znosi gleby torfowe i gliniaste ze względu na początkowe wolne nagrzewanie i trudny zbiór w okresie jesieni,
- kwasowość gleby odpowiednia pod uprawę kukurydzy winna wynosić w granicach pH 5,5 - 6,0 ale generalnie dobrze znosi gleby kwaśniejsze.
- wymaga specjalistycznych maszyn do precyzyjnego siewu punktowego i do prawidłowego zbioru,
- jest bardzo wrażliwa na zachwaszczenie zwłaszcza w początkowym okresie wegetacji,
- rekompensuje plonowaniem wysokie nawożenie nawozami naturalnymi (obornik, gnojowica, gnojówka) i mineralnymi,
- w celu efektywnego wykorzystania zaleca się stosować nawozy fosforowe i azotowe rzędowo w czasie siewu, co wiąże się z koniecznością zastosowania specjalnego siewnika z aplikatorem nawozów.

Na wytworzenie 1 tony zielonej masy należy zastosować: 2-5 kg azotu, 1,5-2,5 kg fosforu, 4-6 kg potasu, 0,4-0,7 magnezu oraz 1,2-1,8 kg wapnia a także niezbędne mikroelementy.

Zbiór kukurydzy na zieloną masę (do produkcji biogazu) dokonywany jest w późniejszym okresie dojrzałości, kiedy to zmniejsza się włóknistość roślin. Zaleca się stosować do zbioru maszyny drobno tnące lub sieczkarnię zbierającą. Optymalna długość sieczki powinna wynosić 4-7 mm. Zbiór na ziarno można wykonać przy użyciu kombajnów zbożowych wyposażonych, w miejsce zespołu żniwnego, w adapter obrywający kolby. Kombajn taki powinien przejść także modyfikacje w zespole młócącym i czyszczącym. Istnieją również kombajny specjalnie przeznaczone do zbioru kukurydzy na ziarno.

Ziemniak został uznany przez Komisję Europejską za roślinę energetyczną, którą można wykorzystywać na potrzeby produkcji bioetanolu.. Warunkiem jest ich celowa uprawa do: przemysłowego przetworzenia na bioetanol albo dla wykorzystania na cele energetyczne w gospodarstwie.

Ziemniak należy do ważnych roślin energetycznych z uwagi na możliwość racjonalnego zagospodarowanie plonów niskiej jakości. Udział plonu handlowego w plonie ogólnym produkowanych w kraju ziemniaków jadalnych i dla przetwórstwa spożywczego wynosi zaledwie około 70%, zatem pozostałe 30% stanowią bulwy drobne i z defektami wyglądu, nie nadające się do sprzedaży. Ta część plonu może trafić albo na paszę, albo do przerobu na bioetanol. Plon uboczny ziemniaków przedstawia niską wartość rynkową, a więc jest konkurencyjny w stosunku do zbóż. Natomiast celowa uprawa odmian wysoko skrobiowych pod potrzeby surowca energetycznego wymaga stosowania agrotechniki dającej wyższe realne plonowanie tych odmian. Aktualnie potencjał plonowania odmian ziemniaka jest wykorzystywany w Polsce na poziomie tylko około 50%**.** Uwzględniając wysoki poziom plonów odmian ziemniaka skrobiowego w doświadczeniach prowadzonych przez COBORU czy IHAR, gatunek ten charakteryzuje się bardzo wysoką wydajnością spirytusu z jednostki powierzchni.

Jedną z barier zwiększonego areału może być fakt, że ziemniak jest gatunkiem drogim w uprawie. Istnieją jednak sposoby obniżenia kosztów uprawy zawierające się w niskonakładowej technologii produkcji ziemniaka na cele energetyczne [Jabłoński 2006, Nowacki 2004].

Elementami tej technologii są miedzy innymi:

- wykorzystanie nawozów organicznych zastępujących coraz droższe nawozy mineralne;
- odpowiednia gęstość sadzenia dla uzyskania maksymalnego plonu suchej masy z ha, bez względu na jakość wizualną bulw;
- wykorzystanie genetycznej odporności odmian na choroby i szkodniki celem zmniejszenia kosztów ochrony plantacji ziemniaka.

Ważnym argumentem przemawiającym za wykorzystaniem ziemniaków w produkcji biopaliw jest rola tego gatunku w zrównoważonym systemie gospodarowania w rolnictwie, a szczególnie na glebach lekkich.

Ziemniak uprawiany w płodozmianie zmniejsza ilości stosowanych agrochemikaliów w rolnictwie oraz podnosi ich produktywność. Jako roślina okopowa jest doskonałym przedplonem dla wszystkich gatunków uprawnych.

Ziemniaki uprawiane są zwłaszcza w mniejszych gospodarstwach, na nawozach naturalnych.

Przy aktualnych plonach ziemniaki pod względem produkcji etanolu z hektara (2484 l) dorównują kukurydzy (2740 l) i znacznie przewyższają żyto (924 l). Gospodarstwa produkujące ziemniaki skrobiowe osiągają plony 30–35 t/ha, znacznie wyższe niż średnia krajowa – 17 t/ha. Wykorzystując tylko częściowo potencjał produkcyjny tych gospodarstw, uzysk etanolu z hektara ziemniaków mógłby przekroczyć nawet 4000 l/ha. Pozytywne aspekty wykorzystania ziemniaków do wytwarzania biopaliw przemawiają za rozszerzeniem tej produkcji.

Burak ma duże wymagania wodne i glebowe (typ gleby, sprawność strukturalną, czynną biologicznie warstwę próchniczą a także dużą zasobność w składniki mineralne). Odczyn gleby optymalny pH 6,0-7,0. W uprawie buraków cukrowych podstawową rolę plonotwórczą odgrywają mikro i makro elementy. Plon korzeni buraka jak i zawartość cukru zależy od długości okresu wegetacji rośliny, który jest zdeterminowany początkiem terminu kiełkowania, a rozpoczyna się przy temperaturze gleby 5-6^{o}C na głębokości 0,1 m

Plony buraka energetycznego w porównaniu do plonów buraka do produkcji cukru mogą zostać zwiększone dzięki specjalnym, nowo opracowanym technologiom uprawy (lepsza tolerancja na zimno i mróz, burak ozimy) oraz zbioru.

W nowoczesnych technologiach uprawy buraka cukrowego zauważa się systematyczne przechodzenie z klasycznych metod uprawy do systemów uproszczonych, dostosowanych do określonych warunków przyrodniczo - produkcyjnych. Podstawą takich zmian są efekty ekonomiczne i przyrodnicze. Aspekty ekonomiczne narzucają konieczność utrzymania właściwych proporcji pomiędzy kosztami ponoszonymi na uprawę roli, a uzyskiwanymi plonami. Względy przyrodnicze dążą natomiast do utrzymania równowagi w agroekosystemie poprzez zachowanie właściwych relacji pomiędzy procesami powstawania i degradacji gleby przy jednoczesnym zachowaniu wysokiego potencjału żyzności i urodzajności.

W wielu rejonach uprawy buraka cukrowego co raz częściej spotyka się uprawę tej rośliny z siewu w mulcz. Mulczowanie polega na pozostawieniu na powierzchni pola materii organicznej lub wymieszaniu jej z wierzchnią warstwą gleby. Podstawową zasadą tej technologii jest ochrona środowiska glebowego. W zależności od rodzaju materii organicznej,

która pokrywa powierzchnię pola (konserwuje), wyróżniamy następujące systemy uprawy w mulcz:

- uprawa buraka z siewu w mulcz z międzyplonu, na który zalecane są antymątwikowe odmiany gorczycy białej i rzodkwi oleistej oraz facelii błękitnej, z zastosowaniem orki siewnej pod międzyplon, lub zamiast orki, płytkie spulchnienie gleby kultywatorem ścierniskowy;
- uprawa buraka z siewu w mulcz ścierniskowy, który stanowi rozdrobniona słoma;
- siew bezpośredni w ściernisko z rozdrobnioną słomą.

Wyniki badań naukowych i praktyki rolniczej dowiodły, iż z wymienionych sposobów uprawy buraka, wyższe plony uzyskano wysiewając nasiona w warstwę gleby wymieszaną z przemarzniętymi resztkami gorczycy. Wynika to z faktu, iż burak cukrowy korzystnie reaguje na uprawę przedsiewną. Siew w warstwę gleby z pozostającymi na powierzchni pola resztkami międzyplonu zalecany jest w rejonach szczególnie narażonych na działanie erozji wietrznej. Prowadzone obserwacje wykazały, że warstwa orna gleby na obiektach mulczowanych gorczycą charakteryzowała się w porównaniu do tradycyjnej uprawy większą wilgotnością i nieznacznie niższą temperaturą, zwłaszcza na początku wegetacji.

Uprawa buraka cukrowego z siewu w mulcz z międzyplonu, w przypadku zastąpienia orki zabiegiem spulchniającym, ze względu na znaczne obniżenie kosztów ponoszonych na uprawę roli (o 60 - 70%) pozwala zmniejszyć o 15% całkowite koszty produkcji przy zachowaniu plonu korzeni i jakości technologicznej na poziomie technologii tradycyjnej [Lenartowicz 2008]. W rejestrze występuje ok. 80 odmian buraka cukrowego [Praca zbiorowa 2009].

Burak cukrowy o przeznaczeniu energetycznym jest gatunkiem, który osiąga najwyższe plony suchej masy i najszybciej ulega przemianie gazowej, dając biogaz o wysokiej koncentracji metanu.

Zboża należą do roślin uprawnych o mniejszych potrzebach wodnych niż inne gatunki. Terminy siewu zbóż ozimych muszą być tak ustalone, aby jęczmień i żyto uzyskały przed okresem zimowego spoczynku (temperatura powietrza $<5^{o}C$) stan pełnego krzewienia. Pszenżyto powinno uzyskać dosyć zaawansowany stan krzewienia (2-3 źdźbła), a pszenica ozima musi znajdować się w stadium 4 liścia.

Potencjalne plonowanie czterech podstawowych zbóż szacuje się odpowiednio dla jęczmienia na poziomie 7,8; pszenicy 6,9; pszenżyta 6,79 i żyta 6,1 t/ha. Natomiast plony rzeczywiste wynoszą nie więcej niż połowę tych wartości.

Spośród wszystkich zbóż, pszenica należy do gatunku o największych wymaganiach glebowych. Poza nawożeniem NPK wymaga także stosowania magnezu i siarki. Jęczmień ma podobne do pszenicy wymagania glebowe (warunki wodne, odczyn gleby, zasobność w składniki pokarmowe i przedplon). Zboża ozime takie jak żyto, pszenżyto i jęczmień, są bardziej tolerancyjnymi gatunkami na warunki siedliskowe (gleba klimat) i agrotechniczne (zmianowanie, zasobność gleby, poziom nawożenia azotem, ochronę).

Dobór gatunku uprawianego zboża powinien uwzględniać: potencjał plonowania oraz parametry jakościowe, wrażliwość na podstawowe czynniki siedliska i agrotechniki oraz choroby. Żyto jest gatunkiem najbardziej tolerancyjnym na warunki glebowo-klimatyczne w Polsce. Dobór odmian zbóż do produkcji bioetanolu powinien uwzględniać, poza wysokimi plonami rzeczywistymi, wysoką zawartość cukrów redukujących i zawartość skrobi. Zalecane odmiany żyta to: Warko, Słowiańskie, Agricolo, Bosmo, Matador, Dańkowskie, Złote, Amilo, Włodko.

Do produkcji biomasy zaleca się odmiany o dużym jej plonie i dużej wydajności energii, należą do nich odmiany heterozyjne [Budzyński, Szempliński, 2003]. Od 10 lat zbożem, które wskazuje na dużą tendencję wzrostową pod względem powierzchni zasiewów jest pszenżyto. Ze względu na niskie wymagania glebowe i klimatyczne oraz stosunkowo niskie koszty uprawy, podobnie jak żyto, jest cennym surowcem do produkcji bioetanolu. Jednym z kryteriów przydatności pszenżyta dla celów produkcyjnych jest aktywność endogennej α-amylazy, enzymu odpowiadającego za rozkład skrobi zapasowej do cukrów prostych. Popularność tej rośliny zbożowej wynika z większego potencjału plonowania na stanowiskach średnich i słabych zarówno w stosunku do pszenicy, jak i żyta.

Pszenżyto wykazuje również większą efektywność pobierania azotu, mniejszą podatność na choroby płodozmianowe oraz wykorzystanie na bioetanol i do produkcji biomasy. W produkcji ziarna na cele energetyczne (bioetanol) zalecane są odmiany: Tornado, Magnat, Todan, Gniewko o wyższej zawartości cukrów redukujących i Witon, Pawo, Sorento o wyższej zawartości skrobi [Domańskia i in. 2008]. Ważną rośliną energetyczną, coraz częściej wykorzystywaną jako biopaliwo jest owies, którego ziarno stanowi surowiec do spalania. Bardzo dobrze znosi warunki klimatyczne panujące na obszarze całej Polski, z czego najbardziej korzystne występują w północno-wschodniej części kraju. Jest odporny na niskie temperatury, znosi bez szkody przymrozki pojawiające się na wiosnę, również w późniejszych okresach niskie temperatury nie stanowią zagrożenia dla rozwoju. W okresie od strzelania w źdźbło do kłoszenia owies wymaga dużej ilości wody. Dobre plony owsa osiągane są na glebach kompleksów żytnich bardzo dobrych jak i słabszych. Do odmian wysokoplonujących owsa należą: Dragon, Komes, Góral, Borys Grajcar [Kowalczyk-Juśko 2004, Budzyńska 1999]. Wszystkie rośliny zbożowe przeznaczone na cele energetyczne mogą być zbierane z wykorzystaniem takich maszyn jak kombajny zbożowe (zbiór ziarna), prasy do słomy (zbiór słomy), sieczkarnie (zbiór zielonej masy do produkcji biogazu).

Rzepak cechuje się zmniejszoną w stosunku do innych roślin uprawnych odpornością na niskie temperatury, która zależy od odpowiedniego rozwoju roślin przed zimą. Może on przetrwać krótkotrwałe mrozy z temperaturą nawet do -20°C. Szczególnie niebezpieczne są wiosenne zmiany temperatury i przymrozki. Optymalne pod uprawę rzepaku są gleby żyzne, z odpowiednią ilością składników niezbędnych do prawidłowego rozwoju i niezbyt wilgotne. Ich odczyn nie powinien być mniejszy niż pH 6 [Schönberger 2007]. W początkowym okresie wzrostu, przy ciągłych opadach deszczu, problemem są ślimaki, które dość mocno przerzedzają wschodzące, słabe jeszcze rośliny. Oprócz tego, plantacje wymagają w tym okresie wzmożonej ochrony przed chwastami. Nadmierne zachwaszczenie stanowi konkurencję roślin o światło, powoduje wybujały wzrost i gorsze przezimowanie. Wysokie plony, rzędu 5 t/ha, uzyskiwane są przy wydatkach około 300 €/ha na chemiczne środki ochrony roślin (fungicydy, herbicydy i insektycydy) oraz około 300 €/ha na nawozy.

Z 1 tony rzepaku, przy tłoczeniu oleju na zimno, można uzyskać ok. 380 litrów oleju i 700 kg wytłoków, które są bogate w białko i tłuszcz (12-20%). Wytłoki rzepakowe mogą być źródłem tzw. bioenergii. Zaolejenie wytłoków zasadniczo wpływa na wysoką wartość opałową takiego paliwa i wynosi około 5,31 kWh w każdym kilogramie. Jest ona wyższa w porównaniu do wartości opałowej 1 kg drewna opałowego (4 kWh). Makuch rzepakowy pozostawia po spaleniu większe ilości popiołu, co oznacza, że jego spalanie wymaga specjalnej technologii.

Oprócz wykorzystania makucha rzepakowego jako paliwa stałego może on stanowić wsad do biogazowi. Zaletą jego jest duża podatność do beztlenowej fermentacji.

Poniżej zamieszczono krótką charakterystykę roślin stanowiących potencjalne źródło surowców energetycznych, ich wymagań i elementów technologii. Rośliny te zajmują niewielki udział w strukturze zasiewów w warunkach Polski.

Lnianka siewna jest rośliną alternatywną dla rzepaku, którego uprawa na słabszych glebach nie jest opłacalna. Obecnie lnianka na nowo wzbudziła zainteresowanie rolnictwa i przemysłu, jako roślina oleista stanowiąca dobry surowiec do produkcji biopaliw. W gorszych warunkach zapewnia ona wyższe plony oleju niż rzepak.

Za szczególnie cenne należy uznać dużą zawartość kwasów nienasyconych w oleju z lnianki, co sprawia, że długo zachowuje on świeżość. Jest to ważne zarówno przy wykorzystaniu spożywczym, jak i energetycznym. Bardzo ważna jest także niższa niż u rzepaku temperatura krzepnięcia oleju z lnianki (–18^{o}C). Lnianka jest rośliną jednoroczną jarą lub ozimą. Odmiany ozime odznaczają się większą od rzepaku ozimego odpornością na mróz. Lnianka jara jest natomiast wytrzymała na przymrozki wiosenne. Ma najmniejsze spośród roślin oleistych wymagania wodne. Dlatego nadaje się do uprawy w rejonach i latach o mniejszych opadach.

Dobre plony nasion można uzyskać na glebach średnio zwięzłych, a słabe na podmokłych, gliniastych i ilastych, bo utrudnione są wschody roślin. Lniankę ozimą uprawia się po tych samych przedplonach co rzepak ozimy. Z powodu krótkiego okresu wegetacji i wytrzymałości na okresowe susze można ją stosować do przesiewów po wymarzniętym rzepaku, oziminach, a także koniczynach. Z odmian znana jest lnianka ozima Przybrodzka i jara Borowska.

Dynia oleista posiada wysoką zawartość tłuszczu, która w nasionach dyni bezłupinowej wynosi 40-50%, w łupinowej 33- 46%. Nasiona dyni kiełkują dopiero w temperaturze 12°C, a młode siewki są bardzo wrażliwe na przymrozki. Okres wegetacji dyni jest dość długi, wynosi 130-150 dni. W niektórych cieplejszych rejonach Austrii i Słowenii uzupełnieniem produkcji w wielu gospodarstwach jest uprawa dyni oleistej będącej odmianą botaniczną dyni zwyczajnej.

Do zbiorów przystępuje się najczęściej we wrześniu i październiku, gdy wyrośnięte owoce osiągają masę 3-4 kg i przebarwiają się na żółto. Dynię zbiera się ręcznie i bezpośrednio na polu wydłubywane są z nich nasiona. Możliwy jest zbiór nasion przy wykorzystaniu kombajnu. Nasiona są suszone i mielone, następnie dodawana jest do nich sól i woda, i z takiej masy po podgrzaniu do odpowiedniej temperatury tłoczony jest olej. Średnio jedna dynia zawiera 60 g nasion, a do uzyskania 1 litra oleju potrzeba ich 2,3 kg (z około 40 dyń).

Z hektara uprawy można uzyskać około 7000 sztuk dyń, z nasion których można wytłoczyć 120-180 l oleju. Miąższ dyni może być wykorzystywany jako surowiec do produkcji biogazu, a pośrednio jako cenna pasza dla zwierząt. Odmianami dyni oleistej są Miranda i Puławska Bezłuska [Praca zbiorowa 2009].

Słonecznik cechuje się dosyć dobrą odpornością na długie okresy suszy, głównie dzięki rozwiniętemu systemowi korzeniowemu. Krótkie przymrozki nie są zbytnio szkodliwe, natomiast ujemny wpływ mają przedłużające się chłody. Najlepsze dla wzrostu słonecznika są temperatury powietrza wynoszące ok. 20-25^{o}C oraz dłuższe i słoneczne dni. Słonecznik nie jest rośliną wymagającą pod względem typu gleb. Dzięki rozbudowanemu systemu

korzeniowego, uprawa może przynosić dobre efekty również na uboższych kompleksach, gdzie inne rośliny, jak np. kukurydza, nie będą odpowiednio plonowały [Praca zbiorowa 2009].

Proso należy do roślin dobrze plonujących na glebach zasobnych w próchnicę, kompleksów pszennych. Nie znosi gleb zimnych, podmokłych oraz głębokich piasków. W uprawie prosa ważne są: dobra struktura gleby, odczyn zbliżony do obojętnego (pH 6-6,5) oraz małe zachwaszczenie pola (szczególnie niepożądane są chwasty prosowate). Proso jest bardzo wrażliwe na stosowanie herbicydów, szczególnie na ich pozostałość w glebie. W Polsce zarejestrowana jest tylko jedna odmiana prosa o nazwie Gierczyckie.

Gryka jest w miarę odporna na niskie temperatury. Niekorzystnym zjawiskiem są silne wiatry, powodujące wyleganie gryki. Gryka wymaga gleb o większej ilości wody i zasobnych w składniki pokarmowe. Dobrze pod uprawę gryki nadają się gleby kompleksów żytniego dobrego, żytniego słabego, zbożowego górskiego i owsiano-ziemniaczano-górskiego. W Polsce występują dwie zarejestrowane odmiany gryki o nazwie Hruszowska i Kora.

Len oleisty jest rośliną dosyć odporną na niskie temperatury, kiełkowanie rozpoczyna się już przy +4^{o}C i znosi przymrozki do -4^{o}C. Do optymalnego rozwoju wymagane są niezbyt wysokie temperatury, za to duża wilgotność powietrza. Wymagana jest także zwiększona ilość opadów w okresie na przełomie maja i czerwca, kiedy to następuje intensywniejszy wzrost lnu. Len oleisty nie ma dużych wymagań siedliskowych i łatwo można go włączyć do płodozmianu.

Najlepiej plonuje na glebach kompleksu pszennego bardzo dobrego, a także żytniego dobrego. Roślina ze względu na dobrze rozwinięty i głęboko wnikający w glebę system korzeniowy znosi okresowe niedobory wody. Wrażliwy jest jednak na częste niedobory wilgoci.

Do podstawowych zaleceń agrotechnicznych w uprawie lnu oleistego należy zaliczyć 6-letnią przerwę w uprawie na tym samym polu, racjonalne nawożenie, a także wysiew nasion zdrowych i zaprawionych. Len oleisty jest bogatym źródłem niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych, może być także wykorzystany do produkcji biopaliw. Nasiona lnu zawierają w suchej masie ok. 40% tłuszczu. Do odmian o dużej zawartości tłuszczu należą odmiany Opal – średnio wczesna, która ma nasiona brązowe, a kwiaty niebieskie, Szafir -wczesna, plenna, o średniej do dużej zawartości tłuszczu. Pierwszą polską odmianą lnu oleistego jest odmiana Oliwin – żółtonasienna, średnio wczesna, o wysokiej zawartości tłuszczu [Kościelniak, Dreczka 2009].

Konopie wymagają bardzo dużej ilości wody, znoszą także krótkotrwałe zalewy wodą przepływającą. Wyróżniają się intensywnym wzrostem oraz szybkim wytwarzaniem dużej ilości biomasy (10-15 t/ha). Nie wymagają w zasadzie stosowania środków ochrony roślin, mogą być uprawiane na terenach skażonych, przyczyniając się do ich rekultywacji. Konopie uprawiane w Polsce, znoszą przymrozki do -5^{o}C, powinny być jednak siane w glebę dobrze ogrzaną (do 8-10^{o}C), bo inaczej wolno rosną i łatwo się zachwaszczają. W Polsce uprawiane są konopie odmian: Beniko, Białobrzeskie i Silesia. Zasady uprawy konopi w Polsce określa ustawa z dnia 24 kwietnia 1997 r. o przeciwdziałaniu narkomanii. Zgodnie z nią uprawa konopi może być prowadzona na określonej powierzchni, w wyznaczonych rejonach, na podstawie zezwolenia i kontraktacji [Dz. U. Nr 75, poz. 468].

Gorczyca cechuje się zwiększoną odpornością na niekorzystne warunki atmosferyczne, np. niskie temperatury, przymrozki, jednak wymaga zwiększonej ilości wody w okresie kwitnienia i dojrzewania. Najlepszymi glebami pod uprawę gorczycy są piaszczysto-gliniaste oraz gliniasto-piaszczyste, ze zwiększoną zawartością wapnia. Nie mogą to być gleby piaszczyste i suche [Praca zbiorowa 2009].

Łubin gorzki zaliczany jest do roślin na biomasę do produkcji biogazu. Łubin dobrze rośnie na glebach lepszej jakości, ale także na piaszczystych i piaszczysto-gliniastych. Lepiej rozwija się przy wyższych temperaturach powietrza. W uprawie łubinu nie ma potrzeby stosowania nawozów azotowych, ze względu na jego zdolność przyswajania i wiązania z powietrza. Łubin stanowi dobrą roślinę przedplonową, dzięki pozostawieniu azotu w glebie [Podleśny, Brzóska 2006].

Sorgo należy do rodziny wiechlinowatych, zaliczane jest do roślin zbożowych, wykorzystywane jako biomasa do produkcji biogazu lub wysuszona słoma może być spalana. Cechuje się dużą zawartością białka i witamin z grupy B. Część liściasta wykorzystywana jest jako pasza dla zwierząt hodowlanych, głównie bydła. Sorgo jest rośliną bardzo odporną na dłuższe okresy niedostatku wody. Zużywa w procesie transpiracji dwa razy mniej wody niż kukurydza. Jest rośliną popularną w krajach o klimacie ciepłym i gorącym.

Mak lekarski najlepiej rośnie na glebach cięższych, wapiennych i ciepłych. Jest wrażliwy na nadmiar wody, po długotrwałych opadach jest porażany przez choroby grzybowe. Pod uprawę należy wybierać miejsca nasłonecznione .

Brukiew i rzepa nadają się do uprawy w klimacie wilgotnym i chłodnym, nie są wrażliwe na długość dnia. Najważniejszym czynnikiem, decydującym o wysokich plonach, jest duża wilgotność gleby i powietrza oraz równomierne występowanie opadów. Są wrażliwe na okresowe susze. Obie rośliny nie są wrażliwe na niskie temperatury w początkowym okresie wzrostu, natomiast są wrażliwe na przymrozki pod koniec okresu wegetacji. Wyższe wymagania glebowe ma brukiew niż rzepa. Odmiany brukwi to Kaszubska i Saba, a rzepy to odmiana Rogowska [Jasińska, Kostecki 2003] .

Chmiel należy do roślin dzikorosnących i uprawnych prowadzonych na tym samym polu przez 10-15 lat. Wysokość pędów nadziemnych wynosi do 10 m i więcej. Miejsce pod plantację powinno być nasłonecznione i osłonięte od wiatrów. Wymagana jest uprawa na glebie żyznej, o odczynie obojętnym do lekko zasadowego. Przed założeniem plantacji konieczne są staranne zabiegi pielęgnacyjne gleby, nawożenie i jej odchwaszczanie. Następnie co roku zalecane jest nawożenie oraz wykonanie zabiegów niszczących chwasty, szkodniki i choroby. Po zebraniu szyszek pędy mogą stanowić surowiec do produkcji biogazu lub po wysuszeniu jako biomasa do spalania. Podobnie mogą być wykorzystane pędy fasoli i grochu pnącego lub słoma z fasoli niskiej [Jasińska, Kostecki 2003].

Ocena ekonomiczna wybranych roślin energetycznych

W tabeli 24 zmieszczono przykładowe uzyski energii dla szacunkowych plonów oraz koszty i nakłady poniesione przy uprawie wybranych roślin energetycznych pochodzących z upraw polowych.

Tabela 24. Produkcja energii z wybranych roślin oraz nakłady robocizny i koszty jednostkowe

Substrat roślinny	Plon masy [dt/ha]	Uzysk biogazu [m^3/ha]	Energia [GJ/ha]	Cena energii [PLN/GJ]	Koszt [PLN/t]	Nakłady na 1 ha	
						rbh	cnh
Kukurydza	300-500	6050-6750	87-145	9,95	8,8	25,0-32,2	21,0-26,4
Lucerna	250-350	3960-4360	85-94	8,18	-		
Żyto	300-400	1620-2025	35-43	7,16	9-12,8	19,6-26,7	11,9-14,6
Pszenżyto	300	2430	52	7,20	9-12,8	19,6-26,7	11,9-14,6
Burak cukrowy – korzeń	400-700	10260	220	50	2,6	76,3-85,1	32,3-39,5
Burak cukrowy – liście	300-500	3375	72	50			
Słonecznik	300-500	2430-3240	52-70	7,45	-	-	-
Rzepak	200-350	1010-1620	22-37	-	-	-	-
Trawy	200-300	3000-4000	80	10,35	-	25,0-61,9	25,0-61,9
Ziemniaki	400-500	-	-	-	9,6-13,6	125-157	52,4-60,4

Źródło: Ptaszyński 2007

Jak wynika z badań i doświadczeń praktycznych, w warunkach środkowo-zachodniej Europy jako rośliny energetyczne pod uwagę powinny być brane przede wszystkim takie kultury jak: kukurydza kiszonkowa, zboża na kiszonkę z całych roślin, okopowe korzeniowe, lucerna, trawy łąkowe oraz jako uzupełnienie - rośliny poplonowe. O przydatności surowca decyduje ilość wyprodukowanej biomasy, w tym przede wszystkim plon suchej masy.

Pod względem plonu suchej masy najlepsza jest kukurydza, której realne plony wynoszą dziś 12-14 t/ha, podczas gdy pozostałe rośliny plonują średnio na poziomie znacznie niższym. Z kolei najniższe koszty produkcji zielonej masy dotyczą traw łąkowych, a najwyższe okopowych korzeniowych. Zależności te przekładają się na koszty produkcji jednostki masy plonu. Najdroższa jest produkcja 0,1 t suchej masy z buraków i wynosi powyżej 50 PLN (bez uwzględnienia liści). Przewaga kukurydzy zaznacza się wyraźniej, jeśli uwzględni się przewidywane zmiany technologii uprawy (wzrost plonów s.m. o 20-30%), a także plony suchej masy organicznej, która jest właściwym substratem dla produkcji biogazu [Praca zbiorowa 2004].

Przy wykorzystywaniu ziarna kukurydzy do produkcji bioetanolu istotny jest koszt jego konserwacji i przechowywania. Przerabiając wilgotne ziarno kukurydzy można zdecydowanie obniżyć koszty produkcji. Obliczono, że przy przetwarzaniu wysuszonego ziarna koszt wytworzenia 1 litra etanolu obciążony jest kwotą 0,25-0,50 PLN, wynikającą z nakładów na suszenie. Biorąc pod uwagę średnie ceny etanolu uzyskiwane przez gorzelnie rolnicze, które kształtują się na poziomie poniżej 2,0 PLN/l, koszty suszenia obniżają przychód o około 20-30%. Alternatywnym dla suszenia rozwiązaniem jest zakiszanie ziarna. Mokre ziarno kukurydzy łatwo się kisi po ześrutowaniu, ale można też kisić w całości, np. w rękawach foliowych.

Wiele argumentów wskazuje, że kukurydza należy do roślin najbardziej przydatnych do produkcji bioetanolu. Zakładając, że całość produkcji bioetanolu na zaspokojenie potrzeb wyłącznie krajowych rafinerii pochodziłoby z żyta oraz uwzględniając systematyczny

wzrost udziału biopaliw na rynku, to w roku 2010 gorzelnie przetworzą do 1,4-1,5 mln ton żyta, które będzie pochodzić z powierzchni około 0,5 mln ha.

Koszt produkcji 1 tony rzepaku szacowany jest na 740 do 800 PLN, natomiast uzysk oleju wnosi około 380 l z tony rzepaku. Zysk ze sprzedaży 1 l oleju po odliczeniu kosztów szacowany jest na kwotę 0,89 PLN co daje 338 PLN/t. Natomiast energia dostarczona przy uprawie rzepaku wynosi 36,3 GJ/ha, energia zawarta w nasionach 42,5 GJ/ha. Tak więc energia dostarczona do wyprodukowania biopaliwa RME stanowi 85% energii pozyskanej.

Biosurowce pochodzenia zwierzęcego

Ważnym biosurowcem pochodzącym z gospodarstwa rolnego prowadzącego chów zwierząt są: obornik pochodzący od bydła i trzody chlewnej, odchody drobiowe i inne rodzaje obornika. Odchody zwierzęce stanowią ważny surowiec do produkcji biogazu. Produkcja biogazu jest najbardziej ekonomiczną i przyjazną środowisku formą wykorzystania biomasy.

W tabeli 25 zamieszczono uzyski biometanu z odchodów zwierzęcych. Najwyższą ilość biogazu można uzyskać z odpadów tłuszczowych. Biorąc jednak pod uwagę ilość surowca pozyskanego w skali roku za najważniejsze źródło biogazu należy uznać serwatkę i gnojowicę (tab. 26).

Tabela. 25. Uzyski biometanu z beztlenowej fermentacji

Surowiec	Produkcja CH_4 [m^3/t s.m.]
Obornik	30
Gnojowica bydlęca	25
Gnojowica świńska	36
Serwatka	55
Tłuszcz	800

źródło: Kotowski 2005, 2003

Tabela 26. Wydatek odchodów od zwierząt gospodarskich

Wyszczególnienie	Obornik [t/szt./a]	Gnojówka [m^3/szt./a]	Gnojowica [m^3/szt./a]
Bydło	10	6,2	25
Trzoda chlewna	3,7	3,6	4,6
Owce	0,8	0,3	-
Konie	7,0	2,0	-
Drób :- kury - gęsi - indyki - kaczki	0,045 0,036 0,037 0,084		0,04 0,03 0,03 0,08

III. Biomasa z produkcji polowej i leśnej

Norbert Pedryc
Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

BIOMASA LEŚNA

Biomasę pochodzenia leśnego w celu jednoznacznej identyfikacji nazywamy również arbomasą (od łac. *arbor* – drzewo). Dzielimy ją na trzy główne grupy towarowe [Dziurosz 2007]:

- Drewno wielkowymiarowe (W)
- Średniowymiarowe (S)
- Małowymiarowe (M)

Drewno przeznaczone na cele energetyczno-ciepłownicze pozyskujemy z:

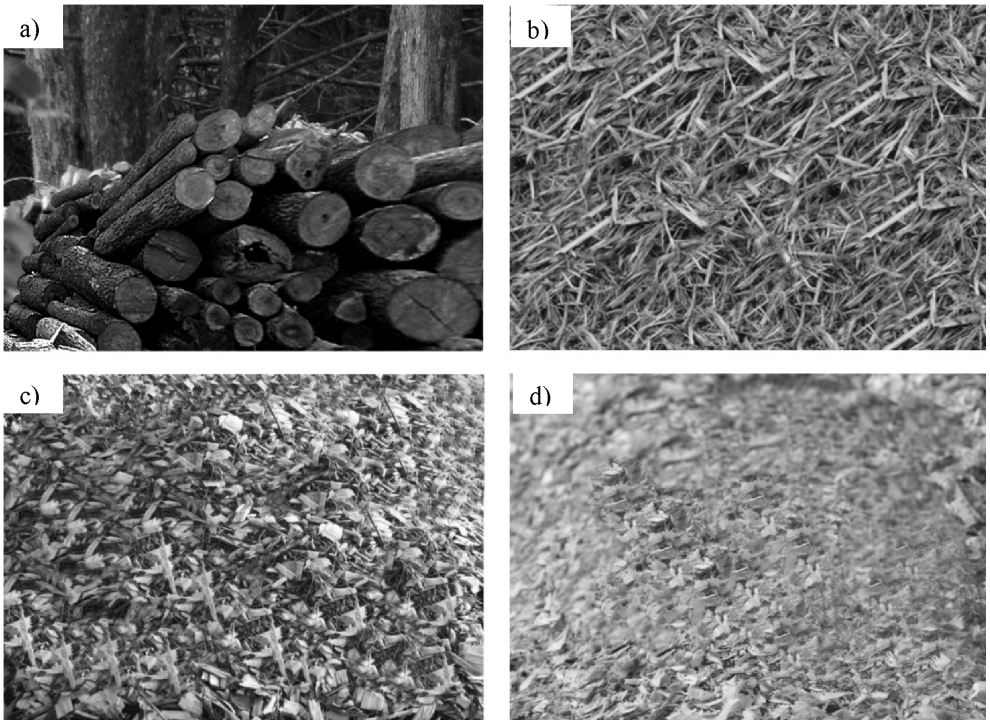
- Drobnicy tyczkowej (M1)
- Drobnicy gałęziowej (M2)
- Drewna opałowego (S4)
- Drewna żerdziowego (S3a)
- Drewna energetycznego (S2ac)
- Pozostałości po zrębach (Zo).

Asortyment leśny przeznaczony na cele energetyczno-ciepłownicze dla uproszczenia dzielimy na dwie grupy:

- arbomasa o niskim wskaźniku przetworzenia (drewno okrągłe), takie jak: szczapy, wałki, gałęzie, zrzyny i okrawki.
- arbomasa o wysokim wskaźniku przetworzenia, są to odpady poprodukcyjne z przemysłu drzewnego.

Drewno okrągłe (rys. 30a.) (kawałkowe) pozyskiwane z lasu najczęściej pochodzi z planowej gospodarki zasobami leśnymi. Wycinane drzewa przeznaczone na cele energetyczno-ciepłownicze są klasyfikowane jako nie nadające się na materiał do produkcji wyrobów drewnianych. Dużą część stanowią drzewa chore, krzywe lub zasęczone. Należy również wspomnieć o coraz większym znaczeniu w tej grupie drewna pochodzącego z wycinki interwencyjnej, do której zaliczyć należy drzewa pochodzące z pogorzelisk oraz z kataklizmów pogodowych (wiatrołomy oraz śniegołomy) [Puchniarski 2003].

Kolejnym źródłem pozyskiwania tego rodzaju biomasy są pozostałości po obróbce drewna konstrukcyjnego (strzał) przycinanego na wymiar, bądź też odpad z produkcji przycinanych na wymiar półwyrobów. Ilość pozyskiwanych w ten sposób odpadów wynosi ok. 2% przerabianego drewna. Materiał nie spełniający norm półwyrobu ze względu na uszkodzenia lub nieciągłość struktury może stanowić do 50% przerabianego drewna. Wartość opałowa tego drewna wynosi 11-22 MJ/kg, wilgotność – 20-30%, a zawartość popiołu 0,6-1,5% suchej masy, zawiera minimalne ilości kory.



Rys. 30. Arbomasa stosowana jako paliwo na cele energetyczno- ciepłownicze a) drewno opałowe, b) wióry drzewne, c) zrębki drzewne, d) trociny drzewne. [foto: N. Pedryc]

Do drugiej grupy zaliczamy arbomasę uzyskaną w procesie produkcji wyrobów z drewna. Podczas obróbki drewna powstają znaczne ilości trocin, wiórów, pyłów oraz zrzynki i zrębki. Trociny (rys. 30d) są produktem ubocznym skrawania, frezowania, przecinania drewna w tartakach oraz zakładach stolarskich. Stanowią one około 10% drewna przerabianego w tych zakładach. Oczyszczone z drewna kawałkowego (zrzynków) stanowią cenne paliwo i mogą być wykorzystywane w kotłowniach. Poziom wilgotności trocin waha się od 6-10% w przypadku obróbki końcowej drewna oraz 45-65% dla trocin z niedawno ściętego drzewa. Przy wilgotności 5-15% zawartość popiołu wynosi ok. 0,5%. Wadą trocin są trudności związane z magazynowaniem, skłonność do zaparzania (trociny bukowe) i podatność na zawilgocenia.

Wióry, podobnie jak trociny, (rys. 30.b,d) są produktem ubocznym przemysłu drzewnego, powstającym podczas skrawania i frezowania. Cechą charakterystyczną wiórów jest niska wilgotność (5-15%) oraz niewielka ilość zanieczyszczeń.

Zrębki drzewne (rys.30c) to rozdrobnione drewno w postaci długich na 5-50 mm ścinków o nieregularnych kształtach. Są produkowane podczas pierwszego trzebienia drzewostanów, wierzchołków i innych pozostałości po wyrębach. Rosnące zapotrzebowanie na ten asortyment spowodowało, że oprócz drobnicy leśnej na zrębki przeznacza się również pnie drzew. Wartość opałowa zrębków wynosi 6-16 MJ/kg, wilgotność 20-60%, a zawartość popiołu od 0,6 do 1,5% suchej masy. Zrębki są doskonałym paliwem dla kotłów, wykorzystuje się je również do produkcji płyt wiórowych i jako topnik w hutnictwie. Wadą tego

paliwa jest wrażliwość na zmiany wilgotności powietrza i podatność na choroby grzybowe, dlatego powinny być co jakiś czas przewietrzane (przewracane).

Kora jest wartościowym pod względem energetycznym odpadem przemysłu drzewnego, stanowiącym od 10 do 15% masy pozyskiwanego drewna. Jej wartość opałowa wynosi 18,5-20 MJ/kg, wilgotność 55-65%. Wadą jednak jest dość duża zawartość popiołu stanowiąca 1-3% suchej masy. Korę, przed podaniem do kotła z podajnikiem ślimakowym należy rozdrobnić w rębaku. Zrębkowanie kory przebiega szybko i pochłania niewielkie ilości energii. Część kory zostaje na drewnie i podczas jego obróbki jest przetworzona na trociny.

Drewno kawałkowe oraz pozostałości po produkcji przemysłowej można przetworzyć na tzw. paliwo uszlachetnione, czyli brykiet i pelet. Cechują się one wysoką wartością opałową, za którą odpowiada niska wilgotność i mała objętość, związana z dużym ciężarem właściwym.

Pozyskiwanie drewna

Głównym źródłem pozyskiwania surowca drzewnego w Polsce są Lasy Państwowe. Drewno z Lasów Państwowych pozyskiwane jest w czasie wyrębów wykonywanych zgodnie z Planem Urządzania Lasu, który tworzony jest co 10 lat. Dzięki planowanym wycinkom możliwa jest racjonalna gospodarka zasobami leśnymi. Ze względu na choroby, szkodniki oraz uszkodzenia drzew plan cięć jest corocznie modyfikowany. Korekta planu wykonywana jest na podstawie tworzonych przez leśniczych szacunków brakarskich, które służą również do wykonania wniosków cięć. Na podstawie tych wniosków wykonywane są cięcia sanitarne. Oprócz wycinki planowanej drewno pozyskujemy również w czasie zabiegów pielęgnacyjnych mających na celu racjonalną hodowlę zasobów leśnych. Zabiegi pielęgnacyjne możemy podzielić na:

- Czyszczenia:
  - wczesne
  - późne
- Trzebieże:
  - wczesne
  - późne

Czyszczenie wczesne

Celem czyszczeń wczesnych jest doprowadzenie uprawy do etapu, jakim jest początek okresu młodnika. Orientacyjna liczba drzewek na początku młodnika powinna wynosić:

- dla sosny - 10-12 tys. szt./ha
- dla buka - 9 tys. szt./ha

W młodnikach z samosiewu lub siewu, liczba drzewek na jednostkę powierzchni powinna być odpowiednio wyższa, jednak Zasady Hodowli Lasu nie podają jakie to mają być ilości. W przypadku kiedy odnowienie lub zalesienie wykonano stosując liczbę sadzonek mniejszą od liczby drzewek pożądanych na początku okresu młodnika, czyszczenia wczesne powinny w miarę możliwości w niewielkim tylko stopniu redukować zagęszczenie drzew. W czyszczeniach wczesnych wykonuje się następujące czynności:

- usuwanie lub hamowanie wzrostu zbędnych domieszek, które głuszą drzewka należące do gatunków głównych lub pożądanych domieszkowych,

– łagodzenie różnic wysokości drzew na granicy grup lub kęp odnowienia różniących się między sobą składem gatunkowym lub układem wiekowym,
– usuwanie wadliwych przerostów i przedrostów,
– przerzedzanie przegęszczonych partii siewów lub samosiewów,
– usuwanie drzewek chorych, obumierających i obumarłych.

Przerzedzanie siewów i samosiewów nadmiernie zagęszczonych należy wykonywać stopniowo, pozostawiając drzewka najdorodniejsze, rozmieszczone równomiernie. Do przerzedzeń należy przystąpić w 2-3 roku, w zależności od tempa i równomierności wzrostu odnowienia, stopnia zagęszczenia oraz narażenia na choroby i szkodniki.

Czyszczenie późne

Celem czyszczeń późnych jest doprowadzenie młodnika do etapu, jakim jest początek okresu drzewostanu dojrzewającego (tyczkowiny). Są to zabiegi przygotowujące drzewostan do pierwszej trzebieży i od jakości ich wykonania będzie zależał stan przyszłego drzewostanu.

W czyszczeniach późnych wykonuje się następujące czynności:
– usuwanie lub hamowanie wzrostu drzew wadliwych,
– usuwanie, ogławianie lub obrączkowanie zbędnych domieszek pozostałych z okresu czyszczeń wczesnych,
– przerzedzanie nadmiernie zagęszczonych partii młodnika,
– usuwanie drzew chorych, obumarłych i obumierających.

Dodatkowo w okresie młodnika zaleca się formowanie strzał i koron poszczególnych drzew, jak w czyszczeniach wczesnych [Suwała 2000].

Usuwanie drzew zbędnych powinno odbywać się sukcesywnie, aby nie dopuścić do nadmiernego rozluźnienia zwarcia i nie opóźniać oczyszczania się strzał. Nie należy usuwać drzew wadliwych stanowiących niezbędną domieszkę biocenotyczną. Za zbędną domieszkę uważa się drzewa należące do gatunków niezgodnych z siedliskiem i nieprzewidzianych w składzie odnowienia występujących w nadmiarze. Usunięcie lub hamowanie wzrostu tych drzew jest wskazane tylko wtedy, gdy przeszkadzają one prawidłowemu rozwojowi dobrze ukształtowanych drzew, stanowiących główny cel hodowli lasu.

Podkrzesywanie drzew

Podkrzesywanie drzew, mające na celu otrzymanie bezsęcznego surowca drzewnego, należy ograniczyć do wysokowartościowych drzewostanów na bogatych siedliskach oraz do wybranych drzew dorodnych, przede wszystkim takich gatunków jak dąb, buk, jesion, świerk, modrzew i jedlica. Do podkrzesywania przystępuje się wtedy, gdy drzewa osiągają około 0,1 m pierśnicy i wysokość około 10–12 m; prowadzi się je sukcesywnie najpierw do wysokości 4–5 m, a później do wysokości najwyżej 8 m, nie skracając korony więcej niż o 1/4. Zabiegi podkrzesywania wykonuje się, gdy nie istnieje niebezpieczeństwo spałowania pni przez zwierzynę.

Trzebieże wczesne

Celem trzebieży wczesnych jest kształtowanie jakości i produkcyjności drzewostanu, który powinien wówczas osiągnąć pożądany skład gatunkowy zgodny z celem hodowlanym, cechować się wysoką liczbą drzew dorodnych i pełnym zadrzewieniem.

W trzebieżach wczesnych wykonuje się następujące czynności:
- wybór drzew dorodnych,
- wyznaczenie drzew szkodliwych,
- usunięcie drzew szkodliwych.

Przy wyborze drzew dorodnych należy dążyć do zachowania odpowiedniego udziału poszczególnych gatunków drzew, wskazanego dla danego gospodarczego typu drzewostanu (GTD). Równocześnie z wyborem drzew dorodnych, wyznacza się drzewa szkodliwe. Drzewa szkodliwe oznacza się w sposób wyraźnie widoczny. Czas wykonania pierwszej trzebieży wczesnej zależy od klasy bonitacji siedliska i średniej wysokości drzewostanu.

Zabiegi trzebieżowe należy powtarzać systematycznie, w miarę potrzeby. Okres nawrotu trzebieży wczesnych powinien wynosić 5–7 lat. Częstsze nawroty trzebieży stosuje się w drzewostanach mieszanych, złożonych z gatunków szybko rosnących i na siedliskach bogatszych. W drzewostanach o składzie gatunkowym zgodnym z przyjętym typem gospodarczym drzewostanu nasilenie trzebieży powinno być umiarkowane i w jednym zabiegu nie powinno przekraczać 10–20% zapasu.

W drzewostanach częściowo zgodnych i niezgodnych z typem gospodarczym drzewostanu nasilenie trzebieży powinno być odpowiednio wyższe (15–30%) w celu zapewnienia warunków do stopniowej przebudowy tych drzewostanów przez wprowadzenie dolesień lub odsadzeń i kontynuowania cięć pielęgnacyjnych o charakterze przekształceniowym.

Trzebieże późne

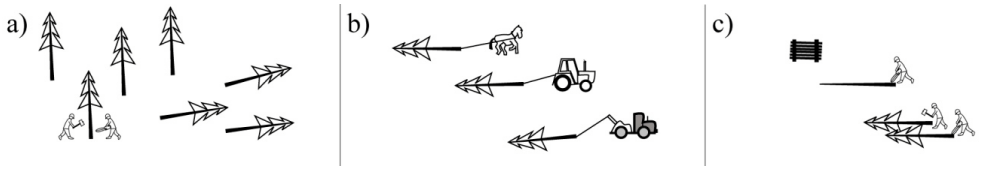
Celem trzebieży późnych jest doprowadzenie drzewostanu do etapu finalnego, jakim jest drzewostan dojrzały do odnowienia. Drzewostan taki powinien się cechować pożądanym składem gatunkowym, wysoką jakością i pełnym zadrzewieniem. Charakter trzebieży późnych zależy od składu gatunkowego, wieku, jakości stanu zdrowotnego i sanitarnego drzewostanu:
- w zdrowych drzewostanach sosnowych i modrzewiowych średnich klas wieku (III–IV) o dobrej jakości kontynuuje się selekcję pozytywną. W przypadku występowania w takich drzewostanach drugiego piętra lub powstawania odnowienia naturalnego, można stosować zabiegi o większym nasileniu. W drzewostanach bliskorębnych (IVb, Va kl. wieku) stosuje się głównie trzebież dolną, pozostawiając na pniu drzewa dziuplaste, a w drzewostanach rębnych i starszych, nieobjętych użytkowaniem rębnym, tylko cięcia sanitarne i ewentualnie cięcia przygotowawcze (prześwietlające) do rozpoczęcia procesu naturalnego odnowienia lasu – o ile drzewostan kwalifikuje się do odnowienia naturalnego.
- w drzewostanach zaniedbanych pod względem pielęgnacyjnym i o gorszej jakości kontynuuje się selekcję pozytywną również w drzewostanach bliskorębnych, o ile istnieje szansa dalszej poprawy ich jakości;
- w drzewostanach świerkowych i olszy czarnej selekcję pozytywną prowadzi się do końca III klasy wieku, a następnie trzebież dolną;
- w pozostałych, zdrowych drzewostanach liściastych i mieszanych z przewagą gatunków liściastych, zasadniczy zabieg przeprowadza się w górnej warstwie drzewostanu i kontynuuje selekcję pozytywną, aż do rozpoczęcia okresu odnowienia przy umiarkowanym, a w drzewostanach bukowych dość silnym natężeniu cięć;
- w litych drzewostanach jodłowych trzebież późna powinna mieć charakter zbliżony do cięcia przerębowego i prowadzić do kształtowania drzewostanu o strukturze przerębowej;
- w drzewostanach chorych i osłabionych stosuje się cięcia sanitarne.

Okres nawrotu dla trzebieży późnych powinien wynosić około 8–10 lat. W drzewostanach zaniedbanych pod względem pielęgnacyjnym nawrót trzebieży powinien być krótszy, a okres stosowania trzebieży górnej może być wydłużony [Leibundgut 2001].

Sposoby pozyskiwania drewna

Przed wycinką drzew z lasu należy ustalić metodę pozyskiwania surowca. Najbardziej rozpowszechniona klasyfikacja metod pozyskiwania drewna powstała w oparciu o następujące kryteria:
- miejsce okrzesywania ściętego drzewa
- miejsce wyróbki sortymentu drzewnego
- formę transportowanego drewna

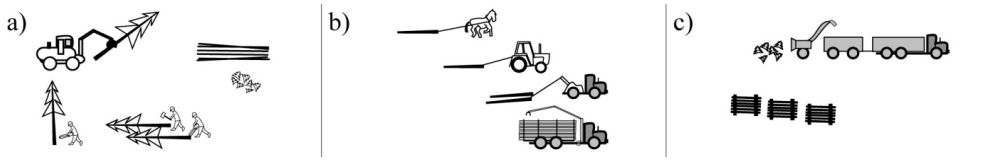
Na podstawie wyżej wymienionej klasyfikacji metody pozyskiwania drewna można podzielić na:
- **Metoda całego drzewa**, (system całego drzewa, full tree system - FTS) polega na transporcie ściętych drzew z koroną (rys.31). W tej metodzie okrzesanie oraz przerzynka drewna wykonywana jest na składnicy.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 31. Pozyskanie drewna metodą całego drzewa: a) powierzchnia cięć, b) zrywka, c) prace na składnicy

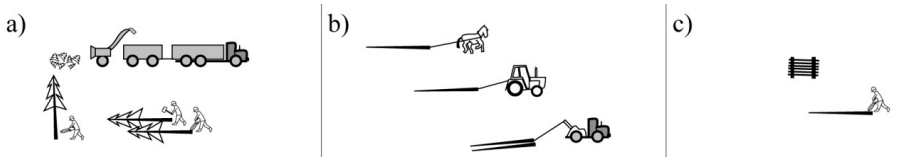
- **Metoda drzewa w częściach**, (system drzewa w odcinkach, short tree system - STS) po ścince dzieli się drzewo na części (część nieugałęzioną i ugałęzioną — koronę), które są oddzielnie transportowane (rys.32). Korony oraz silnie ugałęzione części pnia najczęściej są rozdrabniane (zrębkowane).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 32. Pozyskanie drewna metodą drzewa w częściach: a) powierzchnia cięć, b) zrywka, c) prace na składnicy

– **Metoda całej strzały**, (system całej strzały, system dłużycowy, long wood system - LWS)- polega na okrzesywaniu ściętego drzewa na powierzchni cięć, oraz transporcie całych dłużyc do składnic (rys. 33), gdzie zostaje wykonana przerzynka (podział drewna na odpowiednie sortymenty).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 33. Pozyskanie drewna metodą całej strzały: a) powierzchnia cięć, b) zrywka, c) prace na składnicy lub linii oddziałowej

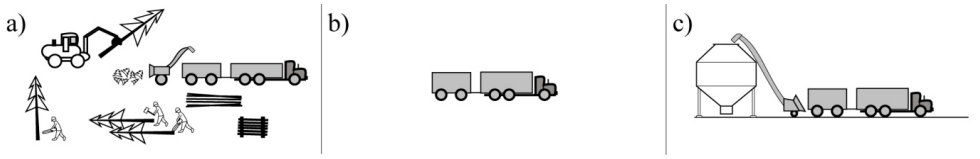
– **Metoda sortymentowa**, (metoda drewna krótkiego, system drewna krótkiego, system sortymentowy, short wood system - SWS), polega na okrzesaniu i przerzynce drewna na powierzchni cięć na kłody i wyrzynki (rys. 34). Następnie są one transportowane, na składnicę, bądź do odbiorcy.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 34. Pozyskanie drewna metodą sortymentową: a) powierzchnia cięć, b) zrywka, c) prace na składnicy

– **Metoda drewna sypkiego**, (system drewna sypkiego, firable wood system - FWS) polega na rozdrabnianiu drewna na zrębki w lesie lub na szlakach gospodarczych i jego wywozie (rys. 35).



Rys. 35. Pozyskanie drewna metodą drewna sypkiego [opracowanie własne]: a) powierzchnia cięć, b) zrywka, c) prace na składnicy lub u odbiorcy

W zależności od terenu w jakim jest pozyskiwane drzewo oraz od dalszego jego przeznaczenia stosowane są różne narzędzia i urządzenia. Konfigurowanie wariantu pozyskania drewna (procesu technologicznego pozyskania drewna) dla dowolnej metody polega na ustaleniu optymalnych parametrów pracy przy minimalnych nakładach ekonomicznych i stratach w rębni. Narzędzia wykorzystywane przy ścince oraz zrywce dopasowywane są również do ilości pozyskiwanego surowca oraz czasu w jakim ten zabieg ma być wykonany. Obecnie najczęściej wykorzystywane są maszyny wielooperacyjne, jednak nierzadkim obrazem jest wykorzystanie do ścinki pilarek, a po obaleniu drzewa do okrzesania oprócz pilarki drwale używają siekier.

Zrywka w trudnych warunkach oraz na obszarach szczególnie cennych wykonywana, jest przy użyciu koni lub ciągników rolniczych (rys.36). Głównym powodem stosowania tradycyjnych narzędzi jest aspekt ekologiczny. Zrywka ręczna z wykorzystaniem konia charakteryzuje się mniejszym zniszczeniem ściółki leśnej oraz brakiem hałasu i spalin emitowanych przez wieloprocesowe maszyny [Sowa i in. 2008]. W krajach skandynawskich zrywka konna przeżywa swój renesans. Firmy zaczęły produkować maszyny i urządzenia pomocnicze do tego typu zrywki zmniejszające opory ruchu oraz ograniczające zaczepianie się pni o przeszkody. Oferują również osprzęt do zrywki nasiębiernej (tzw. forwardery konne) oraz sanie, wózki i dwukółki transportowe.

Inne warianty pozyskiwania drewna mogą wykorzystywać różne kombinacje połączenia nowoczesnej techniki ścinki oraz zrywki (skidery, forwardery, harwester, itd.) z tradycyjnymi. Uzyskujemy w ten sposób połączenie wysokiej wydajności oraz ekologicznego użytkowania zasobów leśnych [Kubiak 1998].



Rys. 36. Zrywka drewna: a) zrywka drewna końmi w Masywie Śnieżnika, Sudety. [foto: M. Tomaszewski, Barlinek], b) zrywka drewna przy użyciu ciągnika, Góry Sowie. [foto: Przykuta]

Obserwowany od kilkunastu lat w Europie, a także i w Polsce, proces „ekologizacji" leśnictwa, wymusza zmiany w procesie pozyskania i zrywki drewna. Coraz częściej zręby zupełne ustępują miejsca rębniom częściowym lub przerębowym, gdzie drzewa wycinane są jedynie na małych powierzchniach, bądź usuwana jest tylko ich część. Dużą wagę przywiązuje się do staranności wykonywania zabiegów pielęgnacyjnych – szczególnie ważne

jest aby podczas trzebieży jak najmniej ucierpiały pozostające drzewa. Wszelkie uszkodzenia korzeni, części odziomkowej lub otarcia kory mogą być przyczyną rozwoju różnych chorób pnia, a co za tym idzie obniżenia jakości surowca drzewnego.

Nowoczesne maszyny leśne muszą pracować wydajnie, ale jednocześnie muszą mieć jak najmniejszy wpływ na środowisko, w którym pracują. Niska emisja spalin i hałasu, biodegradowalne oleje oraz specjalne ogumienie minimalizujące skutki przejazdów maszyny po ściółce leśnej, to obecnie podstawowe założenia konstruktorskie.

Firma Komatsu Forest Valmeta wyprodukowała harwester 901TX (rys. 37) charakteryzujący się zmniejszonym naciskiem na podłoże dzięki zastosowaniu balance bogie czyli specjalnego systemu kontroli rozkładu masy na kołach oraz szerszych opon, co minimalizuje szkodliwe oddziaływanie na środowisko. Zwiększono również zasięg pracy oraz moc żurawia. Siła i łatwa manewrowalność żurawia gwarantują, że ilość uszkodzeń drzew pozostających będzie znikoma. Maszyna ta służy do ścinki, okrzesywania oraz cięcia drzewa na kawałki.



Rys. 37. Wycinka drzewa przy użyciu Harwestera 901TX, [źródło: materiały reklamowe firmy Valmet]

Do zrywki drewna z lasu poza klasycznymi metodami stosuje się ciągniki specjalistyczne zwane skiderami oraz forwarderami. Skidery to ciągniki służące do zrywki półpodwieszonej dłużyc, natomiast forwardery to ciągniki do nasiębiernej zrywki drewna krótkiego. Maszyny te są samozaładowcze dzięki czemu eliminuje się dodatkowe maszyny z lasu. Innowacją forwardera 840TX (rys.38) jest skrócona tylna i przednia rama co powoduje, że pokonywanie zakrętów nawet w bardzo trudnym terenie nie stanowi problemu.



Rys. 38. Zrywka drzewa przy użyciu forwardera 840TX, [źródło: materiały reklamowe firmy Valmet]

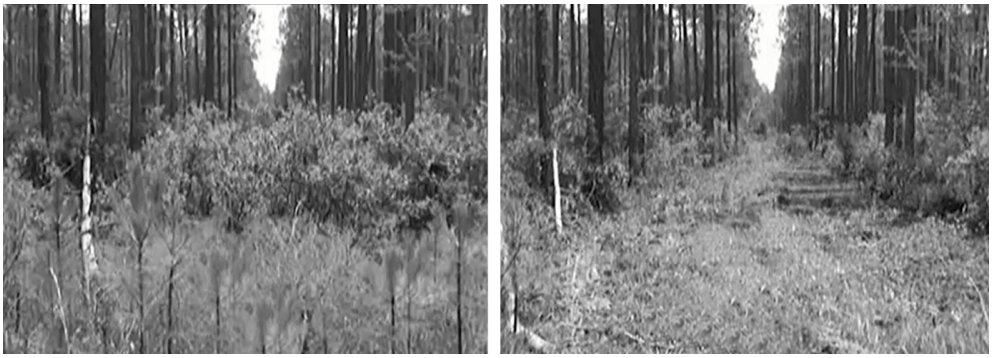
Dzięki nowej konstrukcji kłonic, zredukowano masę całej maszyny, bez utraty ładowności (12 ton). Dodatkowo kłonice są skierowane do wewnątrz przestrzeni ładunkowej, przez co podczas poruszania się po szlaku nie uszkadzają rosnących przy nim drzew.

Nowym rozwiązaniem do zbioru drobnicy leśnej (np. pozostałości po okrzesywaniu) jest maszyna produkowana przez firmę Aderson Biobaler WB55 (rys.39). Zaletą tej maszyny jest możliwość zbioru tuż nad ziemią runa leśnego oraz drzew o grubości pnia do 0,1 m. Zbierana biomasa formowana jest w bele mające średnicę 1,2 m oraz szerokość 1,0 m.



Rys. 39. Biobaler WB55 wykorzystywany do prac leśnych. [źródło: Materiały reklamowe firmy Anderson]

Dużą zaletą tej maszyny jest skrętny zaczep pozwalający łatwo manewrować zestawem w lesie. Zastosowanie tej maszyny w lesie może być bardzo szerokie. Biobaler wykorzystany do czyszczenia drogi pożarowej (rys.40) pozostawia teren pozbawiony runa leśnego oraz samosiejek.



Rys. 40. Efekt czyszczenia drogi pożarowej biobalerem WB55: a) przed czyszczeniem, b) po czyszczeniu. [źródło: Materiały reklamowe firmy Anderson]

Maszyna może również znaleźć wykorzystanie w innych pracach leśnych takich jak, tworzenie dróg w młodnikach, zbieranie chrustu leśnego oraz pozostałości po pracach porządkowych, a nawet likwidację plantacji leśnych. Bele biomasy z tych zabiegów mogą być transportowane do składnic lub przewożone bezpośrednio do odbiorcy, często jednak są rozdrabniane na miejscu zbioru i dopiero w formie zrębków trafiają do odbiorców. Proces zrębkowania beli arbomasy przedstawia rys. 41, rozdrobniony materiał jest bezpośrednio ładowany na samochód ciężarowy.



Rys. 41. Zrębkowanie bel arbomasy z Biobalera WB55. [źródło: Materiały reklamowe firmy Anderson]

Organizacja i technologia pozyskiwania biomasy leśnej uzależniona jest również od sposobu jej dalszego użytkowania. Drewno przeznaczone do spalania w urządzeniach tradycyjnych o niskiej sprawności (w kominkach i w niektórych piecach), przygotowywane jest w postaci wałków i szczap.

Zrębki na cele energetyczno-ciepłownicze w Polsce pozyskuje się głównie z czyszczeń i wczesnych trzebieży metodą drewna sypkiego (FWS). Najlepszy wariant pozyskiwania tego surowca przebiega w następujących etapach:

- ręczna ścinka drzew, ich zrywka i ułożenie na szlakach zrywnych,
- zgrubne okrzesanie,
- zrywka ciągnikiem rolniczym do linii oddziałowej,
- zrębkowanie na linii oddziałowej i pneumatyczny załadunek zrębków na specjalne przyczepy,
- dowóz zrębków do odbiorców, pomiar i rozładunek.

W krajach Nordyckich stosowana jest technologia znana pod nazwą „Dawid i Goliat". W technologii tej drzewa obala się na miniciągnik, który zrywa je do szlaku zrywkowego lub linii oddziałowej, po których przejeżdża ciągnik z zawieszonym z przodu rębakiem zagregatowanym z okrzesywarką, a z tyłu - z samowyładowczym pojemnikiem na zrębki. Po napełnieniu pojemnika ciągnik zjeżdża do drogi wywozowej, na której przesypuje zawartość pojemnika do kontenera transportowego [Laurów 2003].

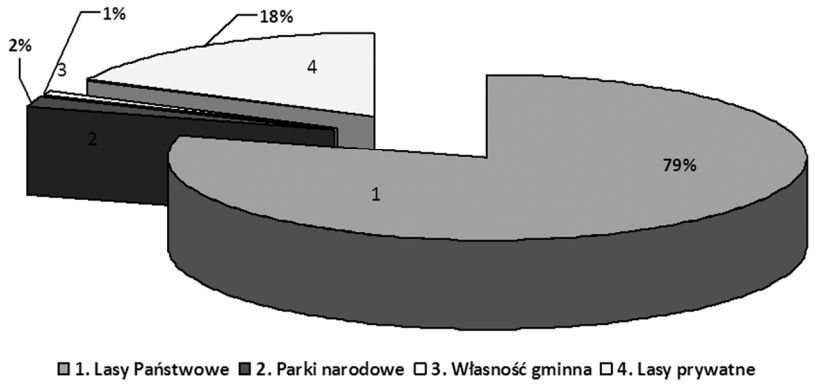
Kolejną technologią stosowaną na zrębach jest zrębkowanie odpadów zrębowych (pozostałości) za pomocą mobilnego rębaka. Optymalnym rozwiązaniem może być wówczas pozyskiwanie drewna systemem całego drzewa (FTS). Wówczas w czasie zrywki obłamują się cienkie gałązki z cetyną i zasilają glebę. W metodzie tej następuje zmasowanie w jednym miejscu okrzesanych gałęzi co ułatwia ich zrębkowanie i wywóz zrębków. Wyraźnie rośnie w tym przypadku wydajność pracy i spadają koszty całego łańcucha produkcyjnego [Laurów 2003].

Opisane technologie możliwe są do stosowania przy zrębkowaniu drewna małowymiarowego. W wielu nadleśnictwach, szczególnie bogatych w drzewostany liściaste złej jakości (np. w Bieszczadach), przy prawidłowo przeprowadzonych cięciach pozyskuje się znaczne ilości drewna o jakości nie do zaakceptowania przez przemysł drzewny. Przy podjęciu decyzji o ich zrębkowaniu na cele energetyczne, drzewo może być zrywane w postaci kłód lub dłużyc do składnic przejściowych i tu zrębkowane za pomocą mobilnych rębaków drewna wielkowymiarowego.

Zrębki pozyskane opisanymi dotychczas sposobami powinny być możliwie szybko przewiezione do ich nabywcy i przesuszone w wiatach, na przykład wyposażonych w suszarnię podłogowo-komorową współpracujących z wentylatorem i nagrzewnicą. Dzięki temu wilgotność zrębków spada z około 60% do 20%, a ich wartość kaloryczna rośnie z 6 GJ/t do 15 GJ/t.

Szacunkowy plon i jego charakterystyka

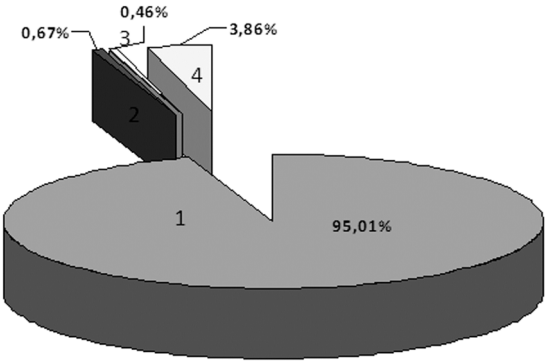
Lasy Państwowe w ostatnich latach pozyskiwały od 20 do nieco ponad 34 mln m^3 drewna rocznie, tymczasem przyrost drewna na pniu był w tym samym czasie ponad dwukrotnie wyższy. Dzięki takiej gospodarce zasobność lasów zarządzanych przez PGL LP stale rośnie.



Rys. 42. Struktura powierzchni Lasów Państwowych i Lasów Prywatnych w Polsce (dane z 2008 r.) [źródło: GUS Leśnictwo 2009]

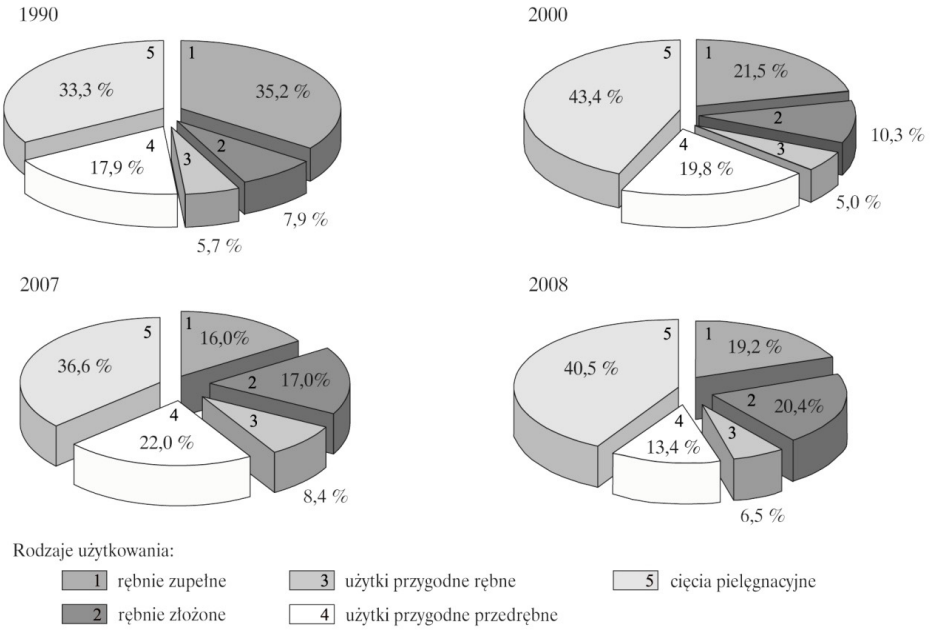
Na przełomie lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych LP dysponowały drzewostanem liczącym około 150 m^3 na 1 ha, a w 2008 roku obsada drzewostanu wynosiła już około 357,4 m^3 na 1 ha. Ocenia się, że „na pniu" w lasach jest 1,5 mld m^3 drewna. Całkowita powierzchnia terenów zalesionych w Polsce wynosiła w 2008 roku 9,273 mln. ha. W rękach prywatnych było tylko 18% lasów, pozostała część pozostawała w zarządzie LP, Parków Narodowych i Gmin (rys.42).

W 2008 roku według GUS w Polsce pozyskano łącznie 34,273 mln m^3 grubizny, większość pochodziła z Lasów Państwowych i stanowiła około 95% pozyskanego asortymentu (rys. 43).



Rys. 43. Struktura pozyskania grubizny z Lasów Państwowych i Lasów Prywatnych w Polsce (dane z 2008r.)[źródło: GUS Leśnictwo 2009]

Większość pozyskiwanej w ostatnich latach grubizny pochodzi z cięć pielęgnacyjnych (rys. 44). W strukturze pozyskiwanego drewna cięcia te stanowią 36% - 44%.

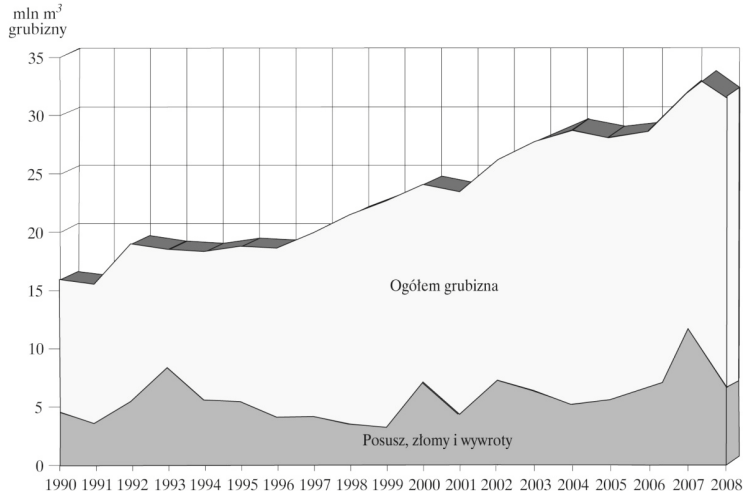


Rys. 44. Struktura pozyskiwania drewna (grubizny) w LP według rodzajów użytkowania w latach 1990, 2000, 2007, 2008. [źródło: GUS Leśnictwo 2009]

Niewiele mniejsze znaczenie ma pozyskiwanie grubizny z wywrotów, złomów i posuszu (rys. 45). Porównując dane zestawione przez GUS można określić procentowy udział wyciętej z lasu grubizny z powodu klęsk żywiołowych oraz posuszu, i tak w roku 2000 było to 29%, w roku 2007 z powodu huraganowych wiatrów wartość ta wzrosła do 37%, a w 2008 roku wyniosła 24%.

Największymi odbiorcami biomasy w Polsce są nowoczesne elektrownie i elektrociepłownie. Jednym z największych producentów energii elektrycznej w Polsce jest GDF SUEZ Energia Polska S.A. (Elektrownia Połaniec). Posiada moc 1800 MW, generowaną w ośmiu blokach. Produkuje około 7 TWh energii elektrycznej rocznie. Instalacja współspalania biomasy z węglem kamiennym sprawia, że elektrownia ta jest jednym z największych producentów energii odnawialnej („zielonej"). Do współspalania wykorzystuje biomasę w ilości 15 – 20% całego wsadu.

Innym przykładem elektrowni wykorzystującej arbomasę jest Elektrownia Opole. Zainstalowane są w niej 4 bloki energetyczne o łącznej mocy 1532 MW (1x386 MW; 2x383 MW; 1x380 MW). Do zasilania bloków wykorzystywany jest węgiel oraz biomasa, która stanowi do 8% udziału wagowego.



Rys. 45. Pozyskanie posuszu, złomów i wywrotów w Lasach Państwowych w latach 1990–2008 [źródło: GUS Leśnictwo 2009]

Bibliografia

Budzyński W. 1999. Reakcja owsa na czynniki agrotechniczne: przegląd wyników badań krajowych. „Żywność" 1(18).

Budzyński W., Szempliński W. 2003. Rośliny zbożowe. [w] Jasińska Z. Kostecki A. Szczegółowa uprawa roślin. T. I, wyd. AR Wrocław, s. 31-314.

Denisiuk W. 2003. Techniczne i ekologiczne aspekty wykorzystania słomy na cele grzewcze. Rozprawa doktorska.

Denisiuk W. 2004. Dyrektywa Unii Europejskiej a polskie Uwarunkowania prawne i gospodarcze wykorzystania OZE na przykładzie biomasy. Międzynarodowa konferencja nt. Stan polskiej energetyki odnawialnej- Biomasa, Poświętne 2004.

Denisiuk W. 2005. Produkcja roślinna jako źródło surowców energetycznych. Inżynierii Rolniczej nr 5(80) s. 123-131.

Dobek T. 2005. Ekonomiczne i energetyczne porównanie rośnych technologii produkcji rzepaku uprawianego na biodiesel. Acta Agrophysica, 6(3), 595-603

Domańska A., Najewski A., Tokarski P., Zych J. 2008. Wyniki porejestrowych doświadczeń odmianowych – PDO nr 64 COBORU, Słupia Wielka, ss. 56.

Dziurosz J. 2007 Wykorzystanie drewna jako alternatywnego źródła energii. Wydawnictwo Świat zeszyt 264 Warszawa ISSN 1232-8111.

Grzybek A., Gradziuk P., Kowalczyk K. 2001. Słoma – energetyczne paliwo.

Jabłoński K. 2006. Technologia uprawy ziemniaków jadalnych i przemysłowych. [w] Produkcja ziemniaków, pod red. Chotkowskiego J. Warszawa. s. 48-71.

Jasińska Z. Kostecki A. Szczegółowa uprawa roślin. T. I, wyd. AR Wrocław, s. 31-314.

Kościelniak W., Dreczka M. 2009. Nowoczesna uprawa zbóż. APRA Poznań. ss. 238.

Kowalczyk-Juśko A. 2004. Owies i pelety. Aeroenergetyka nr 4.

Kowalczyk-Juśko A. 2007. Owies do pieca. Farmer nr 01.

Kotowski W. 2005. Przetwarzanie biomasy do metanolu i paliw silnikowych Przemysł chemiczny. s. 8-9.

Kotowski W. 2003. Chałupniczym sposobem. Agroenergetyka 4: 12-15.

Krzemiński M, Zalewski A. 2009. Mniej zbóż na paszę – więcej na bioetanol. Zboża wszechstronne wykorzystanie, IHAR, Agro Serwis. Warszawa. ISBN 978-83-927966-4-0.
Kubiak M. 1998 Transport leśny. Wydawnictwo AR Poznań wyd.2 ISBN 83-7160-119-0
Laurów Z. 2003 Wykorzystanie surowca rzewnego do celów energetycznych. Wydawnictwo Świat zeszyt 183 Warszawa ISSN 1232-8111
Leibundgut H. 2001, Pielęgnowanie drzewostanów. Państwowe Wydaw. Rolnicze i Leśne, Warszawa 83-09-01741-3
Lenartowicz T. 2008. Lista opisowa odmian COBORU. Tom 2. Słupia Wielka.
Majtkowski W. 2005. IHAR Oddział w Bydgoszczy: „Tradycyjne gatunki rolnicze źródłem biomasy. Powrót do przeszłości", Agroenergetyka nr 2(16), str. 28-32.
Michalski T. 2005. Produkcji kukurydzy w 2004 i jej wykorzystanie. Kukurydza 2005. 2 (26), s. 4-8.
Miś R. 2007 Urządzanie lasów wielofunkcyjnych. Wydawnictwo AR Poznań wyd.2. ISBN 987-83-7160-461-4
Nowacki W. 2004. Ziemniak – alternatywnym surowcem do produkcji bioetanolu. Zeszyty Prob. Post. Nauk Roln., 500, 45-56.
Nowacki W. 2009. Przyrodnicze i ekonomiczne uwarunkowania wykorzystania krajowej bazy surowcowej do produkcji bioetanolu. Stowarzyszenie Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu. Roczn. Nauk. t. IX, z. 1.
Olszewski M. Pod Miechowem (Małopolska) ruszyła pierwsza w kraju instalacja do ogrzewania domu (www.ekologika.pl).
Ptaszyński M. 2007. Produkcja biogazu i energii. Farmer 21.
Puchniarski T. H., 2003 Klęski żywiołowe w lasach -poradnik leśniczego. Metody zapobiegania i likwidacji. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne ISBN 83-09-01820-7.
Schönberger H. 2007. Możliwe są wysokie plony. Rzepak, agrotechnika, odmiany, nawożenie, ochrona, zbiór. Top agra extra, s. 26-32.
Sowa J. M., i in. 2008. Charakterystyka uszkodzeń powierzchniowych warstw gleby podczas zrywki drewna ciągnikami rolniczymi w trzebieżowych drzewostanach sosnowych. Inżynieria Rolnicza 1(99)/2008.
Suwała M. 2000. Poradnik użytkowania lasu dla leśników praktyków. Oficyna wydawnicza „Wydawnictwo Świat" Warszawa ISBN 83-85597-86-7.
Wróbel E., Budzyński W., Dubis B. 2000. Rolnicza, energetyczna i ekonomiczna efektywność uprawy owsa i jęczmienia jarego na glebie lekkiej. „Żywność" 1(18).
Zawieja R. 2008. Kukurydza energetyczna, poradnik KWS. Agroservice Kukurydza KWS Polska http://www.kws.pl/aw/KWS/poland/Agroservice/Kukurydza/.
Dyrektywa 2003/30/WE Parlamentu Europejskiego i Rady UE z dnia 8 maja 2003 roku w sprawie wspierania użycia w transporcie biopaliw lub innych paliw.
Dz. U. Nr 75, poz. 468. USTAWA z dnia 24 kwietnia 1997 r. o przeciwdziałaniu narkomanii.
GUS Leśnictwo 2009 Informacje i opracowania statystyczne, Leśnictwo Warszawa ISSN 1230 – 574X
Materiały informacyjne firmy Anderson dostępna 06.06.2010 http://www.grpanderson.com/en/biomass /biobaler/wb-55
Materiały informacyjne firmy Valmet Kumatsu Forest dostępna 06.06.2010 http://www.komatsuforest.com /default.aspx?id=1266&ptid=0
Praca zbiorowa. Technologie produkcji roślinnej. PWRiL. Wyd. IV. Warszawa. ISBN 83-09-01629.
Praca zbiorowa p. red. Grzebisz W. 2009. Produkcja roślinna. cz. III. Hortpress Sp. z o. o. Warszawa. ISBN 978-83-89211-94-1.
Rozporządzeniem Ministra Gospodarki Pracy i Polityki Społecznej z dnia 9 grudnia 2004.
Rozporządzenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 30 maja 2003 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązku zakupu energii elektrycznej i ciepła z odnawialnych źródeł energii.
www.paze.pl/kociolnaowies.pdf

IV. Kosztochłonność produkcji biopaliw stałych

Dariusz Kwaśniewski
Instytut Inżynierii Rolniczej i Informatyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

KOSZTY PRODUKCJI BIOMASY Z UPRAW POLOWYCH

Od kilku lat obserwowany jest w Polsce wzrost zainteresowania uprawami energetycznymi, a produkcja i pozyskiwanie biomasy szybko rosnących gatunków jest kreowana jako nowy kierunek produkcji rolniczej. Jednak rozwój tej nowej działalności rolniczej jest w dużym stopniu uwarunkowany aspektami ekonomicznymi [Stolarski 2006]. Jedną z barier produkcji biomasy z roślin energetycznych na szerszą skalę stanowi duża kosztochłonność produkcji.

W procesach produkcji biomasy z wieloletnich roślin energetycznych można wyróżnić następujące etapy: założenie plantacji, użytkowanie (prowadzenie plantacji) oraz likwidacja plantacji. Właśnie z tymi etapami związane są koszty produkcji biomasy, a istotnym założeniem, które należy brać pod uwagę w kalkulacjach kosztów jest planowany okres użytkowania plantacji. Koszty założenia i likwidacji plantacji odniesione do lat jej użytkowania pozwolą na oszacowanie średniorocznych kosztów prowadzenia plantacji.

W zależności od rodzaju gruntów, na których planowane jest założenie plantacji wieloletniej, należy wykonać szereg różnego rodzaju zabiegów technologicznych. Wszystkie zabiegi i czynności z nimi związane są nośnikami kosztów.

Składowe kosztów założenia plantacji to:

- **koszty eksploatacji parku maszynowego** - koszty utrzymania i koszty użytkowania maszyn. Koszty utrzymania (koszty stałe) ponoszone są z tytułu posiadania maszyny. Ich wartość w skali roku jest niezależna od ilości pracy wykonanej przez dany środek techniczny. Do kosztów tych zaliczamy amortyzację, koszty ubezpieczenia, oprocentowania kapitału, przechowywania maszyn. Natomiast koszty użytkowania (koszty zmienne) powstają w wyniku wykorzystania maszyny, ich wartość w skali rocznej jest wprost proporcjonalna do ilości pracy wykonanej przez dany środek techniczny. Do kosztów tych zaliczamy koszty nośników energii (olej napędowy, etylina, energia elektryczna), olejów i smarów oraz koszty napraw i obsługi technicznej. Do kosztów zmiennych należą także koszty pracy ludzkiej,
- **koszty pracy** (robocizny) - w kalkulacjach kosztów produkcji biomasy na wieloletnich plantacjach roślin energetycznych koszty pracy często są wydzielane osobno, jako odrębna składowa kosztów produkcji i wtedy nie są zaliczane do kosztów eksploatacji maszyn,
- **koszty materiałowe** - koszty związane ze zużyciem: nasion, sadzonek, nawozów mineralnych i organicznych, środków ochrony roślin, wody do oprysku itp.,
- **koszty pozostałe** (pośrednie) - koszty analizy gleby (jeśli jest wykonywana przed założeniem plantacji), podatek rolny, ubezpieczenie rolnika.

O kosztochłonności produkcji biomasy do celów energetycznych decydują: wielkość plonu i jego cena, powierzchnia pola oraz technologia zbioru. Wraz ze wzrostem plonu koszt na jednostkę masy maleje. Również zastosowanie nowoczesnych maszyn, o dużej wydajności, pracujących na polach o większym areale, pozwala znacznie ograniczyć koszty.

Biorąc pod uwagę opłacalność produkcji biomasy należy także pamiętać o bardzo ważnym czynniku wchodzącym w skład kosztów produkcji biomasy, jakim jest transport gotowego wyrobu (surowca), jego sposób załadunku i rozładunku (ręczny, zmechanizowany). Ogromna rolę w tym wypadku odgrywa także wilgotność produkowanej biomasy (od ok. 20% do nawet 60%), jej gęstość usypowa oraz odległość, na jaką będzie ona transportowana do miejsca docelowego (np. ciepłownia, gospodarstwo rolne).

Najpopularniejszą obecnie rośliną energetyczną uprawianą w Polsce jest wierzba energetyczna. Koszty założenia plantacji wierzby, według różnych źródeł, przedstawiono w tabeli 27.

Tabela 27. Porównanie kosztów założenia plantacji wierzby energetycznej

Lp.	Koszty wg autorów publikacji	Koszty (PLN/ha)	Koszty roczne* (PLN/ha)
1	[Frączek i inni 2004]	6489,0	259,5
2	[Izdebski, Skudlarski 2004]	5080,0	203,2
3	[Szczukowski i inni 2004]	6951,0	278,0
4	[Dubas, Tomczyk 2005]	6695,9	267,8
5	[Kwaśniewski 2006]	6404,0 – 8058,0	256,2 – 322,3
6	[Matyka 2008]	8982,0	359,3

* koszty przeliczone na rok, przy założeniu, że plantacja będzie użytkowana 25 lat

Źródło: opracowanie własne

Należy podkreślić, że koszty te są wprawdzie bardzo wysokie i mieszczą się w granicach od 5080 do 8982 PLN/ha, ale będą one rozłożone na 25 lat użytkowania plantacji. Rocznie wyniosą one od 203,2 do 359,3 PLN/ha.

Warto także dodać, że decydując się na uprawę wierzby krzewiastej (jak też innych wieloletnich roślin energetycznych) większość kosztów ponosi się w roku założenia plantacji. Są to znaczące, jednorazowe koszty inwestycyjne decydujące często o podjęciu tego typu uprawy i kierunku działalności. Zwrot kosztów inwestycji może się rozpocząć dopiero po dwóch, trzech lub nawet czterech latach od momentu założenia plantacji, w zależności od przyjętego cyklu zbioru.

Większość kosztów założenia plantacji wierzby związana jest z przygotowaniem stanowiska oraz zakupem sadzonek (sztobrów, zrzezów). Przykładową analizę kosztów założenia takiej plantacji po kosztach własnych, z wyszczególnieniem wykonywanych zabiegów agrotechnicznych oraz kosztów materiałowych, pokazano w tabeli 28.

Tabela 28. Koszty założenia plantacji wierzby przy obsadzie 32 tys. roślin/ha

Lp.	Wyszczególnienie	Koszty [PLN/ha]	Grupa kosztów	Struktura kosztów [%]
1.	Oprysk (Roundup)	17	Zabiegi agrotechniczne przed sadzeniem	2,8
2.	Wapnowanie	60		
3.	Wysiew nawozów (fosforowych i potasowych)	16		
4.	Orka przedzimowa	77		
5.	Bronowanie	23		
6.	Koszt zakupu sadzonek	4800	Zakup sadzonek	69,1
7.	Wytyczenie znaków do sadzenia	16	Sadzenie	7,1
8.	Sadzenie ręczne	474		
9.	Oprysk	17	Pielęgnacja po sadzeniu	1,3
10.	Pielenie mechaniczne (dwukrotnie)	73		
11.	Zakup wapna i nawozów	346	Nawozy i środki ochrony roślin	8,3
12.	Zakup środków ochrony roślin (Roundup i Azotop)	230		
13.	Ręczny zbiór roślin po pierwszym okresie wegetacji	716	Zbiór ręczny	10,3
14.	Podatek rolny	85	Podatek rolny	1,2
15.	Razem koszty założenia plantacji	6951	-	100
	Koszt na rok użytkowania plantacji *	278	-	-

* koszty przeliczone na rok, przy założeniu, że plantacja będzie użytkowana 25 lat

Źródło: opracowanie własne na podstawie Szczukowski i inni 2004

W przykładzie założono, że koszt zakupu jednej sadzonki wynosił 0,15 PLN. Koszty zakupu materiału sadzeniowego stanowiły wówczas aż 69,1% w strukturze całkowitych kosztów założenia plantacji. Drugie miejsce w tej strukturze (10,3%) zajmowały koszty ręcznego zbioru roślin po pierwszym roku wegetacji, wykonywanego w celu lepszego rozkrzewienia wierzby w latach następnych. Pozostałe składowe kosztów, związane m.in. z przygotowaniem pola, zakupem nawozów mineralnych i środków ochron roślin odgrywały w strukturze znacznie mniejszą rolę. Zdecydowanie najmniejszy udział (nieco ponad 1%) przypadał na koszty pielęgnacji plantacji po sadzeniu i na podatek rolny.

Koszty założenia jednohektarowej plantacji wierzby, przy obsadzie 32 tys. roślin/ha były wysokie i wynosiły 6951 PLN. Koszty te w przeliczeniu na lata użytkowania plantacji to rocznie 278 PLN/ha.

Na kosztochłonność produkcji biomasy z upraw polowych oraz opłacalność produkcji w znaczny stopniu wpływa obsada roślin, która decyduje o wielkości uzyskiwanych plonów.

Przykładowe porównanie kosztów produkcji oraz opłacalności pozyskiwania biomasy z wierzby energetycznej w trzech cyklach zbioru, dla różnej obsady roślin (32 i 40 tys. szt/ha) przedstawiono w tabeli 29. Plon biomasy i jej cena to czynniki, które istotnie wpływają na zysk końcowy i opłacalność uprawy wierzby. W analizie autorzy założyli, że zrębki wierzbowe będą sprzedawane w cenie 10 PLN/GJ, co daje wartość 80 PLN za tonę świeżych zrębków wierzbowych o wilgotności 50%.

Tabela 29. Opłacalność produkcji wierzby w 3 cyklach zbioru przy różnej obsadzie roślin

Lp.	Wyszczególnienie	Zbiór w cyklach					
		jednorocznym		dwuletnim		trzyletnim	
		Obsada roślin [tys. szt/ha]					
		32	40	32	40	32	40
1	Koszt produkcji (PLN/ha)	1355,0	1191,9	1974,0	2556,9	3011,0	4279,9
2	Plon biomasy (t/ha)	29,0	31,8	56,0	63,5	91,0	120,6
3	Koszt produkcji 1 tony (PLN)	47,0	37,4	35,0	40,2	33,0	35,4
4	Cena za 1 tonę zrębków (PLN)	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0
5	Zysk z 1 tony (PLN)	33,0	42,5	45,0	39,7	47,0	44,5
6	Zysk z 1 ha (PLN)	965,0	1353,6	2506,0	2523,1	4269,0	5372,9
7	Zysk z 1 ha/rok (PLN)	965,0	1353,6	1253,0	1261,5	1423,0	1790,9

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Szczukowski, Budny 2003, Szczukowski i inni 2004

W przypadku mniejszej obsady roślin plon świeżej biomasy to średnio: 29 t/ha przy zbiorze roślin co roku, 56 t/ha przy zbiorze co dwa lata, 91 t/ha przy zbiorze co trzy lata. Najniższe koszty produkcji tony zrębków stwierdzono przy zbiorze roślin w cyklu trzyletnim (33 PLN/t). Zysk z produkcji tony zrębków wyniósł w tym wariancie 47 PLN/t. Z punktu widzenia opłacalności produkcji, najkorzystniej jest zbierać wierzę krzewiastą w cyklu trzyletnim. Zysk z hektara w przeliczeniu na rok wyniósł 1423,0 PLN. W cyklu jednorocznym zysk z hektara wyniósł średnio 965 PLN [Szczukowski i inni 2004].

Również w przypadku większej obsady, z punktu widzenia opłacalności produkcji najkorzystniej jest zbierać rośliny wierzby krzewiastej w cyklu trzyletnim. Zysk z hektara w przeliczeniu na rok użytkowania wyniósł 1790,9 PLN. Gdy rośliny zbierano w cyklu jednorocznym zysk z hektara to średnio 1353,6 PLN. Należy podkreślić, że jednoroczne pędy *Salix* sp. mogą być zbierane silosokombajnem sprzężonym z ciągnikiem. Natomiast do zbioru roślin w cyklach dwu- i trzyletnich wymagane są już specjalistyczne maszyny np. kombajn Claas Jaguar, który jest maszyną drogą i nie zawsze dostępną [Szczukowski, Budny 2003].

Ze względu na specyfikę uprawy roślin energetycznych wysokie koszty założenia plantacji są charakterystyczne nie tylko dla wierzby energetycznej, ale także dla innych roślin energetycznych, np. miskanta i ślazowca pensylwańskiego. Poniżej przedstawiono przykład kalkulacji tych kosztów, a główne założenia wyjściowe zamieszczono w tabeli 30.

Podstawowymi nośnikami kosztów, które uwzględniono w obliczeniach były koszty: materiałowe, użycia maszyn i narzędzi oraz wynagrodzenie za pracę. Założono, że rolnik uprawiający rośliny na cele energetyczne będzie otrzymywał wynagrodzenie za pracę na poziomie płacy uzyskiwanej w pozarolniczych działach gospodarki. Takie założenie przyjęto w celu zapewnienia porównywalności kalkulacji. W analizie przyjęto również, że plantacje roślin energetycznych będą użytkowane przez okres 25 lat.

Wielowariantową kalkulacje kosztów założenia plantacji miskanta, ślazowca pensylwańskiego i dla porównania wierzby energetycznej pokazano w tabeli 31. Zdecydowanie najwyższe koszty trzeba ponieść w przypadku miskanta, co głównie powodowane jest wysokimi kosztami zakupu sadzonek. Miskant w naszych warunkach klimatycznych nie wytwarza nasion i możliwy jest jedynie zakup materiału roślinnego powstałego w wyniku podziału karp lub hodowanego w specjalistycznych laboratoriach za pomocą metod *in vitro*.

Tabela 30. Założenia przyjęte do kalkulacji uprawy roślin na cele energetyczne

Wyszczególnienie	Wierzba krzewiasta	Miskant	Ślazowiec
Obsada roślin [tys. szt/ha]	20	13	20
Koszt sadzonek [PLN/szt]	0,12	1,2	0,2 (1-1,5kg nasion o sile kiełkowania > 60%, cena 4000 PLN)
Nawożenie NPK [kg/ha]	70-30-80		
Plon suchej masy [t/ha]	13	15	13
Odchwaszczanie chemiczne	Fusilade Forte	Chwastox	Fusilade Forte
Ochrona chemiczna	Astra Miedzian	-	Astra Miedzian
Częstotliwość zbioru	corocznie		

Źródło: Matyka 2008

Tabela 31. Wielowariantowa kalkulacja kosztów założenia plantacji roślin energetycznych

Wyszczególnienie		Wierzba krzewiasta		Miskant		Ślazowiec		
Rodzaj materiału roślinnego		sadzonki (zrzezy)		sadzonki ukorzenione		nasiona	sadzonki ukorzenione	
Sposób zakładania plantacji		sadzenie ręczne	sadzenie sadzarką	sadzenie ręczne	sadzenie sadzarką	siew	sadzenie ręczne	sadzenie sadzarką
Koszty przy gotowania pola [PLN/ha]	analiza gleby	20						
	koszty użycia maszyn i narzędzi	941				871	941	
	koszty materiałowe (nawozy, herbicydy)	650				580	650	
	wynagrodzenie za pracę	88				49	88	
Koszty zakupu (produkcji sadzonek) wraz z transportem [PLN/ha]		2400		15600		4000		
Koszty sadzenia [PLN/ha]	koszty użycia maszyn i narzędzi	60	420	60	420	120	60	420
	wynagrodzenie za pracę	1045	186	1016	186	54	1563	186
Koszty pielęgnacji [PLN/ha]	koszty użycia maszyn i narzędzi	340		200		340		
	koszty materiałowe (nawozy, herbicydy)	463		307		463		
	wynagrodzenie za pracę	3224						
Razem koszty założenia plantacji [PLN/ha]		9231	8732	22106	21636	9721	11349	10332
Średnio koszty założenia plantacji [PLN/ha]		8982		21871		10467		

Źródło: Matyka 2008

Koszty założenia plantacji energetycznej z wierzby, w zależności od sposobu sadzenia stanowią tylko 40-43% kosztów założenia plantacji z miskanta. Natomiast w przypadku ślazowca pensylwańskiego to 44-53%. Zróżnicowanie kosztów założenia plantacji w zależności od sposobu sadzenia jest największe w przypadku ślazowca. Najdroższe jest zakładanie plantacji z sadzonek ukorzenionych i sadzonych ręcznie, a najtańsze w warunkach

siewu nasion bezpośrednio do gruntu. Różnice w wysokości kosztów założenia plantacji pozostałych roślin, w zależności od sposobu sadzenia, są niewielkie. W każdym przypadku znaczny udział w strukturze kosztów stanowi materiał roślinny, który u miskanta sadzonego sadzarką stanowi 71% kosztów założenia plantacji oraz 24% ogółu kosztów [Matyka 2008].

Nakłady finansowe ponoszone zarówno na założenie, jak i likwidację plantacji, mają wpływ na koszty prowadzenia plantacji przez cały okres jej użytkowania. Jednak koszty likwidacji są znacznie niższe i stanowią tylko około 2% ogółu całkowitych kosztów. Natomiast koszty założenia plantacji w przypadku wierzby stanowią 15%, ślazowca pensylwańskiego 17%, a miskanta aż 33% ogółu kosztów. Głównym elementem kosztów likwidacji jest koszt użycia maszyn i narzędzi, co spowodowane jest dużą energochłonnością tego procesu (tabela 32).

Tabela 32. Kalkulacja kosztów likwidacji plantacji roślin energetycznych

Wyszczególnienie	Wierzba krzewiasta	Miskant	Ślazowiec
	[PLN/ha]		
Koszty użycia maszyn i narzędzi	970	870	870
Koszty materiałowe (herbicydy)	110	110	110
Wynagrodzenie za pracę	49	49	49
Razem	1129	1029	1029

Źródło: Matyka 2008

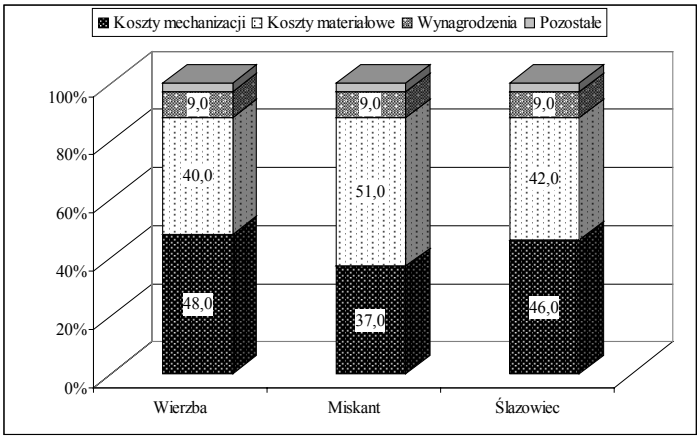
Koszty prowadzenia plantacji w trakcie eksploatacji, dla wybranych roślin energetycznych, pokazano w tabeli 33. Koszty te stanowią w zależności od gatunku 65-83% ogółu kosztów [Matyka 2008].

Tabela 33. Koszty prowadzenia plantacji roślin energetycznych w trakcie eksploatacji

Wyszczególnienie		Wierzba krzewiasta	Miskant	Ślazowiec
		Koszty roczne [PLN/ha]		
Zabiegi pielęgnacyjne	Koszty użycia maszyn i narzędzi	445	305	445
	Koszty materiałowe (nawozy, herbicydy)	842	679	842
	Wynagrodzenie za pracę	39	39	39
Zbiór	Koszty użycia maszyn i narzędzi	615	615	615
	Wynagrodzenie za pracę	29	29	29
Pozostałe koszty (OC rolników, podatek rolny)		86	86	86
Razem		2056	1753	2056

Źródło: Matyka 2008

Rozpatrując strukturę kosztów prowadzenia plantacji (rys. 46) można stwierdzić, że w przypadku wierzby krzewiastej i ślazowca pensylwańskiego jest ona zbliżona, a główne jej elementy stanowią koszty materiałowe (odpowiednio 40 i 42%) oraz koszty użycia maszyn i narzędzi (48 i 46%). Nieco odmiennie przedstawia się sytuacja w przypadku miskanta, gdzie udział kosztów materiałowych jest zdecydowanie najwyższy (aż 51%). Wynika to z bardzo wysokiego kosztu sadzonek, który wynosił 15600 PLN/ha, co w strukturze kosztów materiałowych stanowiło aż 24%. Dla porównania udział kosztów sadzonek dla wierzby i ślazowca był znacznie mniejszy i wynosił odpowiednio 4 i 7%.



Rys. 46. Struktura kosztów prowadzenia plantacji energetycznych [%]. Źródło: opracowanie własne na podstawie [Matyka 2008]

Podsumowując przykład pełnej kalkulacji kosztów dla wierzby energetycznej, miskanta i ślazowca pensylwańskiego, należy stwierdzić, że zarówno koszty ogółem dla całego okresu użytkowania plantacji, jak i koszty średnioroczne są najwyższe dla plantacji miskanta, a najniższe w przypadku wierzby (tabela 34). Różnice jednak nie są znacząco duże – szczególnie przy porównaniu wierzby i ślazowca.

Tabela 34. Koszty ogółem oraz koszty średnioroczne prowadzenia plantacji roślin energetycznych łącznie z kosztami założenia i likwidacji plantacji

Wyszczególnienie	Wierzba krzewiasta	Miskant	Ślazowiec
Koszty ogółem [PLN]	59 455	64 972	60 840
Koszty średnioroczne [PLN/a]	2460	2669	2516

Źródło: Matyka 2008

Przykład analizy rocznych przychodów z plantacji roślin na cele energetyczne do momentu osiągnięcia pełnego plonowania pokazano w tabeli 35. Analiza wykazała, że główne źródło przychodów stanowi wartość produkcji (82%) oraz dopłaty bezpośrednie (13%) i dopłaty do roślin energetycznych (5%). Wyniki te są zbliżone dla wszystkich gatunków

objętch kalkulacją. Ze względu na założony poziom uzyskiwanych plonów w uprawie wierzby i ślazowca pensylwańskiego wartość przychodów będzie taka sama u obydwu gatunków.

Tabela 35. Roczne przychody z plantacji roślin energetycznych do czasu osiągnięcia pełnego plonowania

Wyszczególnienie	Jednostka	Wierzba	Miskant	Ślazowiec
Przychody z plantacji w roku sadzenia (1 rok uprawy)				
Dopłaty bezpośrednie (D)	[PLN/ha]	301	301	301
Przychody z plantacji od 1 roku po posadzeniu (plon 70%); (2 rok uprawy)				
Plon suchej biomasy (A)	[t/ha]	9,1	10,5	9,1
Cena zrębkowanej biomasy (B)	[PLN/t s.m]	150	150	150
Przychód (C = A · B)	[PLN/ha]	1365	1575	1365
Dopłaty bezpośrednie (D)	[PLN/ha]	301	301	301
Dopłata do roślin energetycznych [E]	[PLN/ha]	120	120	120
Przychody z produkcji z dopłatami (F = C + D + E)	[PLN/ha]	1786	1996	1786
Przychody z plantacji od 2 roku po posadzeniu (plon 100%); (3 rok uprawy)				
Plon suchej biomasy (A)	[t/ha]	13	15	13
Cena zrębkowanej biomasy (B)	[PLN/t s.m]	150	150	150
Przychód (C = A · B)	[PLN/ha]	1950	2250	1950
Dopłaty bezpośrednie (D)	[PLN/ha]	301	301	301
Dopłata do roślin energetycznych [E]	[PLN/ha]	120	120	120
Przychody z produkcji z dopłatami (F = C + D + E)	[PLN/ha]	2371	2671	2371

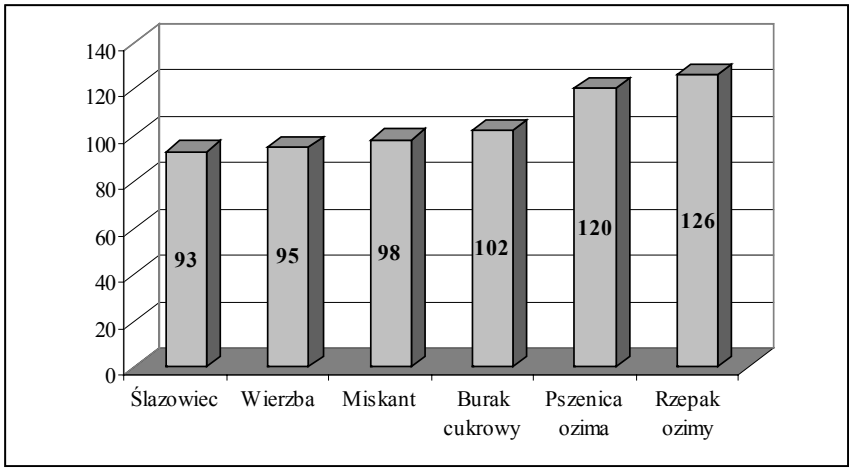
Źródło: Matyka 2008

Większą wartością przychodów charakteryzuje się miskant, co wynika z wyższego poziomu plonowania oraz niższych kosztów prowadzenia plantacji w okresie produkcyjnym.

Porównanie części kosztowej i przychodowej w kalkulacji wykazało, że u wszystkich roślin energetycznych objętych analizą przychody z prowadzonej działalności nie pokrywają jej kosztów. Obrazuje to wskaźnik opłacalności, którego wartość u roślin uprawianych na cele energetyczne (ślazowiec, wierzba, miskant) przyjmuje wartość poniżej 100% (rys. 47).

Wymiernym efektem takiego wyniku jest strata poniesiona przez producenta. Jej wartość jest zbliżona dla wszystkich roślin energetycznych, niemniej jednak najwyższą stratę odnotowano w przypadku ślazowca pensylwańskiego, a najniższą w uprawie miskanta.

Jednym z argumentów używanych przez propagatorów rozwoju produkcji biomasy jest jej konkurencyjność w stosunku do roślin rolniczych. Rozumiana w tym aspekcie konkurencyjność ma polegać na łatwiejszej, mniej wymagającej technologii produkcji oraz na lepszym wyniku finansowym osiąganym z tego typu działalności.



Rys. 47. Wskaźnik opłacalności produkcji dla roślin uprawianych na cele energetyczne i żywnościowe [%] [Matyka 2008]

Przeprowadzona analiza wykazała, że uprawa roślin na cele energetyczne jest niekonkurencyjna w stosunku do uprawy zarówno pszenicy ozimej i rzepaku ozimego, jak i buraka cukrowego (rys. 47), dla których wartość wskaźnika opłacalności przekroczyła 100%.

Należy zwrócić uwagę, że w okresie, kiedy była porównywana konkurencyjność tych dwóch kierunków produkcji ceny płodów rolnych kształtowały się na wysokim poziomie. Wynikało to m.in. z niskich plonów w 2007 roku, a w efekcie dużego zapotrzebowania na żywność na rynkach światowych. Niemniej jednak uzyskane wyniki pozwalają jednoznacznie stwierdzić, że przy aktualnych uwarunkowaniach produkcja pszenicy ozimej, rzepaku ozimego i buraka cukrowego jest bardziej opłacalna względem uprawy miskanta, wierzby czy ślazowca pensylwańskiego [Matyka 2008].

Oceniając kosztochłonność produkcji biomasy pochodzącej z upraw polowych trzeba podkreślić, że aktualność sporządzanej kalkulacji kosztów produkcji jest ograniczona ciągle zmieniającymi się uwarunkowaniami ekonomiczno-rynkowymi. Generalnie należy stwierdzić, że uprawa roślin energetycznych w Polsce jest ciągle mało opłacalna przy aktualnych uwarunkowaniach cenowych, a rośliny te nie są konkurencyjne w stosunku do typowych roślin rolniczych (np. pszenicy ozimej, rzepaku, buraków cukrowych). Sytuacja ta może ulec poprawie w wyniku zmian uwarunkowań makroekonomicznych.

Do głównych zmian, które mogą wpłynąć na poprawę niekorzystnego wyniku ekonomicznego uprawy roślin energetycznych oraz zwiększenie ich konkurencyjność należy zaliczyć:

- wzrost cen biomasy ze względu na konieczność realizacji dyrektyw UE,
- obniżenie cen materiału rozmnożeniowego roślin uprawianych na cele energetyczne, co może wynikać z większej jego podaży na rynku,
- obniżenie kosztów usług specjalistycznych w uprawie roślin energetycznych,
- dążenie do zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego oraz zmniejszenie importu paliw kopalnych,
- wzrost dotacji do produkcji biomasy z upraw polowych,
- wyselekcjonowanie lepiej plonujących klonów roślin uprawianych na cele energetyczne.

Istnieją jednak pewne przesłanki, które wskazują również na możliwość pogorszenia opłacalności i konkurencyjności produkcji biomasy na cele energetyczne. Do nich można zaliczyć:

- dalszy wzrost cen środków produkcji i kosztów użycia maszyn i narzędzi (wzrost cen energii, surowców, technologii),
- wzrost kosztów pracy oraz niedobór siły roboczej,
- osłabienie zainteresowania energią z biomasy uwarunkowane czynnikami środowiskowymi i efektywnością energetyczną tego procesu,
- wzrost cen żywności, co pogłębi brak konkurencyjności biomasy i spowoduje zmniejszenie zainteresowania szukaniem alternatywnych kierunków produkcji rolniczej,
- rozwój produkcji energii z roślin rolniczych uprawianych tradycyjnie (np. rzepaku, kukurydzy), których technologia produkcji jest dobrze rozpoznana i opanowana.

Obok upraw roślin energetycznych, źródłem biomasy z upraw polowych jest również słoma (zbóż, rzepaku, kukurydzy traktowana jako produkt uboczny) i inne pozostałości roślinne stanowiące materiał odpadowy przy produkcji rolniczej.

Nowoczesne metody produkcji rolniczej powodują często znaczący wzrost udziału zbóż w strukturze zasiewów wielu gospodarstw rolnych, zwłaszcza tych, które nastawione są na produkcję roślinną. Powoduje to, że w wielu rejonach kraju powstają nadwyżki słomy, które mogą zostać wykorzystane dla celów energetycznych [Szlachta i inni 1999]. Należy tutaj zaznaczyć, że słoma traktowana jest jako produkt uboczny produkcji zbóż, rzepaku czy kukurydzy. Dlatego w analizie kosztochłonności produkcji słomy nie zostają brane pod uwagę nakłady pracy oraz koszty uprawy zboża (np. żyta, pszenicy ozimej) związane z takimi procesami technologicznymi jak: przygotowanie pola pod siew, siew, ochrona, kombajnowy zbiór zboża. W związku z tym koszty pozyskiwania słomy jako biomasy wykorzystywanej do celów grzewczych utożsamiane są najczęściej jedynie z technologią zbioru (zbiór, transport i składowanie).

Wyróżnia się dwie podstawowe formy zaopatrzenia w słomę energetyczną:

- zakup „gotowej słomy" - zakup słomy i jej dostawa do magazynu kotłowni w uzgodnionej formie i terminie, realizowane jest to bezpośrednio przez producentów rolnych lub przez firmy usługowe wyspecjalizowane w tej dziedzinie działania,
- zakup słomy „na pokosie" i samodzielny zbiór - zakup słomy „na pokosie" przez zleceniodawcę, oraz samodzielny zbiór, prasowanie, składowanie i transport sprasowanej słomy do kotłowni, przez własną wyspecjalizowaną komórkę lub firmę zewnętrzną.

Najbardziej efektywny i bezpieczny wydaje się wariant pośredni, tzn. organizacja struktury pozyskiwania słomy opartej na współpracy z firmami świadczącymi usługi dla rolnictwa, dysponujących z jednej strony potencjałem maszynowym, z drugiej zaś dobrym rozpoznaniem terenu i kontaktami z producentami rolnymi.

Gradziuk i Kościk [2007] przeprowadzili badania i analizę kosztów pozyskiwania słomy dla technologii zbioru z wykorzystaniem pras zwijających i wielkogabarytowych. W analizie uwzględniona została także organizacja zbioru i transport. Materiały do badań autorzy zebrali w Zakładzie Gospodarki Komunalnej w Grabowcu (pow. zamojski, woj. lubelskie) oraz Zakładzie Energetyki Cieplnej i Usług Bytowych „EKOLOG" w Zielonkach (pow. sztumski, woj. pomorskie), gdzie w 1996 roku wybudowano pierwsze w Polsce kotłownie komunalne opalane słomą. W 1999 roku do badań włączono Przedsiębiorstwo Energetyki Cieplnej w Lubaniu, które posiada największą w Polsce ciepłownię wykorzystującą takie paliwo (8 MW), a w 2001 roku znajdujące się w woj. lubelskim Zakłady Gospodarki Komunalnej w Dubience (pow. chełmski) i Ulhówku (pow. tomaszowski).

Wszystkie te jednostki kontraktowały słomę u producentów i samodzielnie zajmowały się jej pozyskaniem. Wymagało to znaczących nakładów inwestycyjnych oraz organizacyjnych.

Z doświadczeń duńskich wynika, że najlepszym rozwiązaniem w zakresie pozyskania słomy dla potrzeb ciepłowni byłoby podpisanie wieloletnich umów z dostawcami loco magazyn kotłowni, zgodnie z ustalonym harmonogramem. Stąd dla porównania przeprowadzono analizę kosztów w wyspecjalizowanych zakładach zajmujących się usługowym zbiorem słomy, między innymi na cele energetyczne. Dwa z nich swoją działalność prowadziły na Dolnym Śląsku i Śląsku Opolskim, a trzeci na Lubelszczyźnie.

Dane do analizy kosztów zgromadzono w oparciu o opracowany kwestionariusz, który stanowił podstawę do wywiadów z kierownikami badanych zakładów. Pierwsza część kwestionariusza dotyczyła organizacji, a druga kosztów zbioru słomy w latach 2001-2003.

Koszty pozyskania słomy z wykorzystaniem pras zwijających pokazano w tabeli 36. Prasy takie stosowano do zbioru w ZGK Dubienka, Grabowiec, Ulhówek i Zakładzie Usługowym I. Natomiast do zbioru bel i transportu stosowano wózki samozaładowczo-stertujące, a do układania stert ładowacze czołowe.

Tabela 36. Koszty pozyskania słomy zbieranej prasami zwijającymi

Wyszczególnienie	ZGK Dubienka		ZGK Grabowiec		ZGK Ulhówka		Zakład Usługowy I	
	Masa zebranej słomy w tonach							
	766		442		1463		14 279	
	[PLN/t]	[%]	[PLN/t]	[%]	[PLN/t]	[%]	[PLN/t]	[%]
Zakup słomy - cena	27,0	22,4	23,8	21,8	10,0	11,7	19,5	27,3
Zbiór/prasowanie	27,5	22,8	26,0	23,9	33,6	39,2	20,9	29,3
Transport i stertowanie	10,4	8,7	13,8	12,7	27,3	31,9	9,8	13,7
Wynagrodzenia	55,6	46,1	45,5	41,7	14,7	17,2	21,3	29,8
Razem	120,6	100,0	109,0	100,0	85,5	100,0	71,4	100,0

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Gradziuk, Kościk 2007]

Koszty pozyskania słomy z wykorzystaniem pras wielkogabarytowych zamieszczono w tabeli 37. Prasy takie stosowano w PEC Lubań, ZECiUB „EKOLOG" w Zielonkach oraz Zakłady Usługowe II i III. Wielkogabarytowe bele prostopadłościenne po sprasowaniu były ładowane, a następnie rozładowywane w miejscu składowania za pomocą ciągnika wyposażonego w ładowacz czołowy. Do transportu używano ciągnika z dwoma przyczepami transportowymi lub samochodu ciężarowego z naczepą.

Przeprowadzone badania wykazały znaczne zróżnicowanie kosztów jednostkowych pozyskania słomy, wynosiły one od 71,4 PLN/t (tabela 36) dla zbioru prasami zwijającymi do 131,9 PLN/t (tabela 37) dla zbioru prasami wielkogabarytowymi. Zróżnicowanie to było niższe przy prasowaniu (od 20,9 PLN/t do 47,2 PLN/t) niż transporcie i stertowaniu (od 9,8 PLN/t do 44,3 PLN/t), co oznacza, że pierwszy z zabiegów miał zbliżoną efektywność we wszystkich zakładach.

Duże wahania kosztów transportu i składowania, wskazują, że są to zabiegi sprawiające znacznie więcej trudności niż samo prasowanie. Przyczyn zróżnicowania należy upatrywać w systemie organizacji prac oraz wyposażeniu w specjalistyczny sprzęt, głównie przyczepy o dużej powierzchni ładunkowej. W Zakładzie Usługowym I wykorzystywano do tego celu, zaprojektowane na specjalne zamówienie przyczepy do przewozu słomy.

Tabela 37. Koszty pozyskania słomy zbieranej prasami wielkogabarytowymi

Wyszczególnienie	PEC Lubań		ZECiUB Zielonki		Zakład Usługowy II		Zakład Usługowy II	
	Masa zebranej słomy w tonach							
	4159		824		3237		12 667	
	[PLN/t]	[%]	[PLN/t]	[%]	[PLN/t]	[%]	[PLN/t]	[%]
Zakup słomy - cena	7,5	8,9	19,8	15,0	19,5	20,4	18,5	21,1
Zbiór/prasowanie	47,2	55,7	34,3	26,0	45,4	47,5	42,0	48,0
Transport i stertowanie	16,2	19,1	44,3	33,6	11,9	12,5	12,5	14,3
Wynagrodzenia	13,8	16,3	33,5	25,4	18,7	19,6	14,5	16,5
Razem	84,7	100,0	131,9	100,0	95,5	100,0	87,4	100,0

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Gradziuk, Kościk 2007]

W strukturze kosztów istotną pozycję stanowiły wynagrodzenia (od 16,3% w PEC Lubań i 17,1% w ZGK Ulhówka do 41,7 w ZGK Grabowiec i 46,2% w ZGK Dubienka). Niskie koszty wynagrodzeń w PEC Lubań i ZGK Ulhówka uzyskano przez zastosowanie bardzo wydajnego sprzętu.

Najważniejszym czynnikiem różnicującym koszty pozyskiwania słomy w ocenianych zakładach była cena zakupu słomy - najniższa płacona przez PEC Lubań (7,5 PLN/t) i ZGK Ulhówek (10,0 PLN/t), a najwyższa w ZGK Dubienka (27,0 PLN/t) i ZGK Grabowiec (23,8 PLN/t). Niskie ceny występowały w regionach zdominowanych przez gospodarstwa wielkoobszarowe, specjalizujące się w produkcji roślinnej, głównie zbożowej. Najwyższe zaś w gminach Dubienka i Grabowiec, gdzie dominują gospodarstwa drobnotowarowe [Gradziuk, Kościk 2007].

W porównaniu z innymi powszechnie stosowanymi nośnikami energii, słoma jest dość uciążliwym surowcem energetycznym. Stanowi ona materiał niejednorodny, o niższej wartości energetycznej odniesionej do jednostki objętości, szczególnie w porównaniu do konwencjonalnych nośników energii. Ponadto sam zbiór, transport i przechowywanie wymagają takiej organizacji prac, która nie wpływałaby na przesunięcie terminów agrotechnicznych (podorywek, orek, siewu) oraz gwarantowała niskie wydatki na jej pozyskanie. Jest to bardzo ważne, ponieważ koszt przygotowania tego paliwa i dostarczenia go do zakładów ciepłowniczych ma decydujący wpływ na ich wyniki ekonomiczne. Jednak powszechność występowania i dostępność powodują, że słoma stanowi coraz atrakcyjniejsze źródło energii odnawialnej wykorzystywane zarówno w komunalnych systemach grzewczych, jak i w gospodarstwach rolnych.

Koszty przetwarzania biomasy

Wyprodukowana biomasa z upraw polowych wymaga niekiedy dalszego przetwarzania np. na brykiety lub pelety. Surowiec poddawany przetwarzaniu musi mieć określone cechy i parametry ze względu na sam proces brykietowania lub peletyzacji. Na przykład wilgotność surowca do brykietowania powinna mieścić się w granicach od 8 do 18%. Ponadto, im drobniejszą frakcję stanowi surowiec, tym procesy przetwarzania przebiegają sprawniej, ze względu na większą powierzchnię przylegania cząstek w brykiecie czy pelecie. Mając powyższe na uwadze należy dodać, że materiał przeznaczony do dalszego przetwarzania

biomasy musi być w wielu przypadkach sezonowany lub suszony w specjalnych suszarniach. Trzeba go niekiedy także dodatkowo rozdrabniać na różnego rodzaju rębakach, sieczkarniach czy młynach. W związku z tym, koszty przetwarzania biomasy na brykiety lub pelety, uzależnione są od stosowanej technologii produkcji (rodzaju wykorzystywanej linii technologicznej) oraz od wilgotności surowca.

Składowe kosztów przetwarzania biomasy to:

- koszty pozyskania (zakupu) surowca (trocin, zrębków, słomy),
- koszty rozdrabniania surowca (jeśli jest taka potrzeba),
- koszty suszenia (zależne od wilgotności surowca),
- koszty mielenia,
- amortyzacja urządzeń tworzących linię technologiczną,
- koszty remontów i konserwacji urządzeń,
- koszty energii elektrycznej,
- koszty wynagrodzenia pracowników,
- koszty dodatkowe (w zależności od stosowanej technologii produkcji).

Poniżej zamieszczono przykłady analizy kosztów produkcji peletów i brykietów w zależności od pochodzenia i rodzaju surowca do produkcji (np. zrębki wierzby, trociny poprodukcyjne, surowiec z własnej plantacji lub zakupiony).

Pierwszy przykład dotyczy doświadczeń polowych wykonanych w Stacji Doświadczalno-Dydaktycznej, przez pracowników Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie [Szczukowski i inni 2004; Stolarski 2005]. Badania przeprowadzono na plantacji wierzby energetycznej, z której uzyskane jednoroczne pędy zostały rozdrobnione rębakiem do drewna. Następnie zrębki przetransportowano do zakładu, gdzie zostały wysuszone w suszarni bębnowej. Kolejnym etapem było zmielenie wysuszonych zrębków na trociny. Uzyskany w ten sposób surowiec poddano peletyzacji w urządzeniu o wydajności 1 t/h.

Podczas analizy kosztów produkcji peletów założono, że surowiec (zrębki wierzby) zostanie zakupiony w cenie 80 PLN/t przy wilgotności 50%. Wilgotność końcowa peletów wynosiła 8%, w związku z tym, aby uzyskać 1 tonę peletów o takiej wilgotności należało zakupić 1,84 t świeżych zrębków wierzby. Założono, że transport surowca będzie się odbywał z odległości 50 km. Amortyzację urządzeń przyjęto na poziomie 20% rocznie. Dobowa produkcja peletów wynosiła 16 t.

Całkowity koszt wytworzenia tony peletów ze zrębków wierzby pozyskanych w cyklu jednorocznym wyniósł ok. 306,4 PLN/t (tabela 38). Koszty związane z zakupem surowca stanowiły 48% całkowitych kosztów procesu peletyzacji biomasy. Na drugim miejscu w strukturze całkowitych kosztów produkcji znajdowały się koszty związane z suszeniem zrębków – 18% [Szczukowski i inni 2004].

Przeprowadzono również analizę kosztów produkcji peletów na bazie suchych trocin poprodukcyjnych. Założono, że koszt zakupu suchego surowca, łącznie z kosztami transportu wyniósł 120 PLN/t. Koszty domielenia trocin wynosiły 3 PLN/t. Pozostałe koszty (amortyzacja, remonty i konserwacje, energia elektryczna, płace) ustalono na takim samym poziomie, jak w przypadku produkcji peletów w oparciu o zrębki wierzbowe. Całkowity koszt produkcji peletów na linii o wydajności 1 t/h wyniósł 189,4 PLN [Stolarski i inni 2003].

Dla porównania w tabeli 38 pokazano również koszty produkcji peletów z czteroletniej wierzby i ślazowca pensylwańskiego dla linii technologicznej także o wydajności 1 t/h. Należy zauważyć, że układ składowych kosztów w tym przypadku jest nieco inny. Występują koszty inwestycyjne, wyposażenie dodatkowe, peletyzacja, chłodzenie oraz składowanie.

Całkowity koszt wytworzenia jednej tony peletów z biomasy czteroletnich pędów wierzby wyniósł 317,2 PLN/t. Natomiast koszt wytworzenia peletów ze ślazowca był nieznacznie wyższy i wyniósł 323,8 PLN/t. W strukturze kosztów największy udział stanowiły koszty związane z zakupem surowca. Wynosiły one dla wierzby 50,6% całkowitych kosztów produkcji, natomiast dla ślazowca 47,8%. Na drugim miejscu znajdowały się koszty związane z suszeniem surowców, które wynosiły odpowiednio 21,1 i 19,0%. W dalszej kolejności znalazły się koszty związane z transportem biomasy do zakładu peletyzacji, które w przypadku wierzby wynosiły 6,9%, a ślazowca 12,3% kosztów całkowitych. Ta znaczna różnica wynikała z prawie dwukrotnie większej gęstości nasypowej zrębków wierzby. Pozostałe koszty dla obu rodzajów biomasy kształtowały się na zbliżonym poziomie [Stolarski 2005].

Tabela 38. Koszty produkcji peletów z różnych surowców

L.p.	Wyszczególnienie	Surowiec do produkcji peletów							
		zrębki wierzby rocznej		suche trociny poprodukcyjne		zrębki wierzby czteroletniej		ślazowiec pensylwański	
		Koszty produkcji peletów według:							
		[Szczukowski i inni 2004]		[Stolarski 2003]		[Stolarski 2005]			
		[PLN/t]	[%]	[PLN/t]	[%]	[PLN/t]	[%]	[PLN/t]	[%]
1	Koszty inwestycyjne	-	-	-	-	13,7	4,3	13,7	4,2
2	Wyposażenie dodatkowe	-	-	-	-	8,6	2,7	8,6	2,6
3	Zakup surowca	147,2	48,0	120,0	63,3	160,5	50,6	154,9	47,8
4	Koszty transportu	27,6	9,0	-	-	21,9	6,9	39,8	12,3
5	Koszty suszenia	55,2	18,0	-	-	67,0	21,1	61,4	19,0
6	Koszty mielenia	10,0	3,3	3,0	1,6	10,0	3,2	10,0	3,1
7	Peletyzacja	-	-	-	-	21,4	6,8	21,4	6,6
8	Chłodzenie	-	-	-	-	1,0	0,3	1,0	0,3
9	Amortyzacja	27,4	8,9	27,4	14,5	-	-	-	-
10	Remonty i konserwacje	13,7	4,5	13,7	7,2	-	-	-	-
11	Energia elektryczna	16,7	5,4	16,7	8,8	-	-	-	-
12	Składowanie	-	-	-	-	3,1	1,0	3,1	1,0
13	Płace	8,7	2,8	8,7	4,6	10,0	3,2	10,0	3,1
-	Razem koszty produkcji	306,5	100,0	189,5	100,0	317,2	100,0	323,8	100,0

Źródło: opracowanie własne na podstawie literatury

Kolejny przykład analizy kosztów produkcji peletów oraz brykietów na bazie wykorzystania surowca (zrębków), ale z własnej plantacji wierzby energetycznej zamieszczono w tabeli 39. Przykład ten dotyczy brykietów i peletów produkowanych w Przedsiębiorstwie Usługowo-Produkcyjnym Saleko. Znajduje się ono w miejscowości Chotelek, w gminie Busko-Zdrój (woj. świętokrzyskie) i posiada 300 ha UR. Na powierzchni 70 ha uprawiana jest wierzba energetyczna.

Trzyletnie pędy wierzby energetycznej zostały ścięte z wykorzystaniem kosy mechanicznej (z tarczą) i przewiezione na plac do firmy. Biomasę poddano tzw. sezonowaniu w warunkach naturalnych, które trwało 6 miesięcy. W stosowanej przez Saleko technologii produkcji brykietów i peletów można wyodrębnić następujące etapy:

– przygotowanie surowca (rozdrobnienie pędów wierzby),

– suszenie w suszarni bębnowej,
– dodawanie makuchów rzepakowych (dotyczy tylko technologii produkcji peletów) w celu zwiększenia efektów sprasowania i uzyskania powierzchni o większej gładkości,
– dodatkowe tzw. doparowanie (dotyczy tylko technologii produkcji peletów) z wykorzystaniem parownika - jest to urządzenie do poprawienia jakości peletów,
– brykietowanie i peletyzacja,
– pakowanie i składowanie (worki foliowe 20 kg i zgrzewarka, big-bagi 600 kg).

Dodatkowe informacje charakteryzujące stosowaną technologię produkcji:

– zebrana wierzba w czasie zbioru miała 54% wilgotności,
– dobowa produkcja peletów wynosiła 9,6 t (średnio 400 kg/h), a brykietów 4,8 t (200 kg/h),
– wilgotność końcowa peletów mieściła się od 8 do 10%, a brykietów od 9 do 12%.

Tabela 39. Koszty produkcji brykietów i peletów z wierzby na bazie własnego surowca

L.p.	Wyszczególnienie	Brykiety		Pelety	
		[PLN/t]	[%]	[PLN/t]	[%]
1	Surowiec do produkcji 1 tony*	4,8	2,2	10,4	3,2
2	Koszty zrębkowania	9,7	4,4	15,7	4,9
3	Koszty mielenia	12,2	5,6	12,2	3,8
4	Koszty suszenia	20,0	9,1	20,0	6,2
5	Koszty dodatkowe	-	-	43,9	13,7
6	Amortyzacja	42,8	19,5	50,1	15,6
7	Remonty i konserwacje	14,3	6,5	17,1	5,3
8	Energia elektryczna	30,0	13,7	74,8	23,3
9	Płace	85,6	39,0	77,1	24,0
-	Razem koszty produkcji	219,4	100,0	321,3	100,0

* - koszty produkcji własnego surowca przeliczone w odniesieniu do 1 tony produkowanego paliwa

Źródło: Kwaśniewski 2008

Całkowite koszty produkcji peletów i brykietów na bazie surowca z własnej plantacji wierzby energetycznej wynosiły odpowiednio: 321,4 PLN/t dla peletów, 219,4 PLN/t dla brykietów. W przypadku produkcji brykietów największe koszty (85,6 PLN/t) poniesiono w związku z wynagrodzeniem za pracę, a ich udział w strukturze kosztów produkcji to aż 39%. Zaś najmniejsze koszty związane były z wyprodukowaniem surowca na własnej plantacji wierzby energetycznej, w przeliczeniu na tonę produkowanych brykietów. Wynosiły one tylko 4,8 PLN/t, a ich udział w strukturze to 2,2%. Znaczny udział w strukturze kosztów produkcji brykietów (19,5%) zajmowała amortyzacja linii technologicznej, która wynosiła 42,8 PLN/t (szacowana w obliczeniach jako 20% w skali roku).

W produkcji peletów, największe koszty ponoszono także z tytułu płac dla pracowników. Wynosiły one 77,1 PLN/t, a ich udział w ogólnej strukturze to 24%. Najmniejsze koszty wynoszące 10,4 PLN/t, to także koszty produkcji własnego surowca (w przeliczeniu na tonę wyprodukowanych peletów). Na kolejnych miejscach w strukturze kosztów znajdowały się: koszty zużycia energii elektrycznej (23,3%), amortyzacja linii (15,6%) oraz koszty dodatkowe (13,7%), które wynikały ze zmodyfikowania przez właściciela technologii produkcji i związane były z zakupem makuchów (42,8 PLN/t) i z kosztami tzw. doparowania (zakup parownika 1,1 PLN/t). Należy tutaj nadmienić, że w tych dodatkowych kosztach aż 13,3% to koszty zakupu makuchów rzepakowych.

Podsumowując, należy podkreślić, że w ocenianej technologii produkcji peletów i brykietów, stosowanej przez firmę Saleko, wykorzystywano surowiec pochodzący z własnej plantacji wierzby energetycznej. Fakt ten jest istotny, ponieważ wtedy koszt zakupu surowca był równoważony kosztem jego produkcji. Trzeba także dodać, że plantacja wierzby energetycznej była położona blisko siedziby przedsiębiorstwa (odległość ok. 1 km). Wpływało to zdecydowanie na obniżenie kosztów transportu biomasy, a tym samym na końcowe koszty produkcji brykietów i peletów [Kwaśniewski 2008].

Kosztochłonność przetwarzania biomasy na pelety i brykiety może być bardzo zróżnicowana, w zależności od rodzaju surowca a także od jego wilgotności (ważny czynnik, który wpływa na podjęcie decyzji, czy potrzebne jest dodatkowe dosuszanie surowca). Jedną z możliwości obniżenia kosztów przetwarzania biomasy jest produkcja surowca na własnych plantacjach energetycznych. Ponadto, koszty produkcji surowców do przetwarzania biomasy można obniżać maksymalizując plon z jednostki powierzchni poprzez intensywną uprawę wysoko produktywnych genotypów na plantacjach roślin energetycznych. Bardzo ważne jest także, aby plantacje energetyczne znajdowały się blisko zakładu, który przetwarza biomasę. Bliskie położenie będzie miało wpływ na obniżenie kosztów transportu. Dlatego wskazane są badania dotyczące optymalizacji odległości zakładu przetwarzającego biomasę od odległości plantacji, na której jest ona produkowana.

Bibliografia

Dubas J. W., Tomczyk A. 2005. Zakładanie, pielęgnacja i ochrona plantacji wierzb energetycznych. Wydawnictwo SGGW Warszawa.

Gradziuk P., Kościk K. 2007. Analiza możliwości i kosztów pozyskania biomasy na cele energetyczne na potrzeby energetycznego wykorzystania w Gminie Cmolas. Opracowanie na podstawie projektu „Innowacje technologiczne i organizacyjne w bioenergetyce szansą na przyspieszony rozwój społeczno-gospodarczy Podkarpacia – klaster energetyczny w Cmolasie.

Izdebski W., Skudlarski J. 2004. Koszty pozyskania energii cieplnej z wybranych produktów rolniczych. Inżynieria Rolnicza 3/58.

Kwaśniewski D. 2006. Analiza kosztów produkcji wierzby energetycznej w pierwszym roku uprawy. Acta Agrophysica 8 (4). Lublin.

Kwaśniewski D. 2008. Technologia oraz koszty produkcji brykietów i peletów z wierzby energetycznej. Inżynieria Rolnicza 5(103). Kraków.

Matyka M. 2008. Opłacalność i konkurencyjność produkcji wybranych roślin energetycznych. Studia i raporty IUNG-PIB. Zeszyt 11. Wyd. Dział Upowszechniania i Wydawnictw IUNG-PIB w Puławach.

Stolarski M. Szczukowski S. Tworkowski J. 2003. Pelety z biomasy szybko rosnących wierzb krzewiastych. Czysta Energia nr 6. Warszawa.

Stolarski M. 2005. Pelety z biomasy wierzby i ślazowca. Czysta Energia nr 6. Warszawa.

Stolarski M. 2006. Opłacalność uprawy na cele energetyczne. Wyd. 2 Regionalne Forum Energetyki Odnawialnej. Przysiek.

Szczukowski S., Budny J. 2003. Wierzba krzewiasta – roślina energetyczna. Biblioteka praktycznego ekologa. Olsztyn 2003.

Szczukowski S., Tworkowski J., Stolarski M. J. 2004. Wierzba energetyczna. Wydawnictwo Plantpress Sp. z o.o.

Szlachta J. i inni. 1999. Niekonwencjonalne źródła energii. Wydawnictwo Akademii Rolniczej we Wrocławiu.

V. Transport i logistyka dostaw biomasy

Maciej Kuboń
Instytut Inżynierii Rolniczej i Informatyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

ORGANIZACJA DOSTAW I MAGAZYNOWANIA BIOMASY

Wprowadzenie

W każdej gospodarce występuje przestrzenne rozproszenie miejsc pochodzenia surowców do produkcji, miejsc produkcji wyrobów finalnych oraz miejsc zużycia i konsumpcji. Należy uwzględnić nie tylko przestrzenny, ale także czasowy aspekt działalności gospodarczej polegający na tym, że wielkość i struktura produkcji najczęściej nie jest dostosowana w czasie do wielkości i struktury zużycia oraz konsumpcji produktów. Niezależnie od rodzaju wytwarzanych wyrobów, odległości od źródeł pozyskania surowców, lokalizacji miejsc produkcji względem rynków zbytu oraz innych uwarunkowań, zawsze występuje tzw. luka czasowo-przestrzenna. Istnienie tej luki powoduje, konieczność prowadzenia działań mających na celu dostarczenie właściwego produktu, we właściwej ilości, we właściwym stanie, we właściwym miejscu, we właściwym czasie, dla właściwego klienta, po właściwym koszcie. Zapewnienie dostępności produktów, jako podstawowy cel logistyki, wymaga spełnienia wyżej wymienionych postulatów, określanych mianem 7W [Coyle i in. 2002].

Współczesne rozumienie procesów logistycznych to integracja strumieni rzeczowych i informacyjnych, to patrzenie na procesy gospodarcze przez pryzmat tych strumieni, sprawności ich przepływu, a także kosztów jakie za sobą pociągają. W tym pojęciu procesów logistycznych zawiera się także obsługa klienta, jej poziom, jakość, skuteczność oraz zadowolenie klienta. Przepływ strumieni rzeczowych w pojedynczym przedsiębiorstwie nie zawsze może być ze względów przyrodniczych, technicznych, organizacyjnych oraz ekonomicznych ciągły. Szczególnie jest to widoczne w produkcji rolniczej, gdzie nie jest możliwe takie zsynchronizowanie procesów produkcyjnych w czasie i przestrzeni, a także pod względem intensywności i rozmiarów, aby przerwy i zahamowania nie występowały. To z kolei jest przyczyną tworzenia zapasów, które występują w różnych ogniwach procesów przepływu i pełnią rozmaite funkcje.

Przepływ produktów, utrzymywanie zapasów, gromadzenie i przetwarzanie informacji to działania wymagające dysponowania wieloma środkami technicznymi, które zaliczamy do infrastruktury procesów logistycznych. Infrastruktura ta powinna zapewnić odpowiednią szybkość i sprawność przepływu produktów, ochronę zapasów przed utratą ich właściwości użytkowych, a także umożliwić racjonalne sterowanie procesami logistycznymi. Do technicznej infrastruktury procesów logistycznych możemy zaliczyć: budynki i budowle magazynowe, środki transportu oraz środki ładunkowe, opakowania, a także środki teleinformatyczne. We współczesnej gospodarce sprawność przepływu strumieni rzeczowych i informacyjnych nie jest praktycznie możliwa bez rozwiniętej infrastruktury technicznej procesów logistycznych.

Na sprawność przepływu należy również patrzeć przez pryzmat ekonomiczności i racjonalności, co przejawia się zwłaszcza w kosztach logistycznych. Koszty stanowią bowiem istotny składnik kosztów działalności gospodarczej, a ich redukcja przez zintegrowane działania logistyczne staje się istotnym źródłem poprawy gospodarności podmiotów gospodarczych. Przepływ dóbr rzeczowych, utrzymywanie zapasów oraz funkcjonowanie infrastruktury technicznej są główną przyczyną powstawania kosztów logistycznych. Nowoczesne metody technologiczne w produkcji, automatyzacja, robotyzacja oraz wykorzystanie systemów informatycznych w sterowaniu produkcją doprowadziły do takiej racjonalizacji kosztów wytwarzania, że dalszy postęp jest już bardzo trudny do osiągnięcia. Natomiast procesy logistyczne takie jak transport, manipulacja, magazynowanie, opakowania itp. w sposób wyraźny odstają pod względem techniki i organizacji od procesów produkcji, powodując wysokie koszty. To one są podstawową przesłanką zastosowania nowoczesnych technologii i organizacji w procesach przepływu.

Czynniki warunkujące stosowanie określonych technologii procesów – przewozowego i ładunkowego

Postać ładunku oraz jej wpływ na dobór technologii transportowej

O wyborze technologii procesu transportowego w dużym stopniu decyduje podatność transportowa ładunku, która może wynikać z jego cech fizykochemicznych lub nadanej mu postaci. Rodzaj i postać ładunku ma decydujący wpływ na dobór odpowiednich środków technicznych. Chodzi bowiem o to, aby przemieszczany ładunek dotarł do odbiorcy w określonym czasie oraz w stanie nie zmienionym zarówno jeśli chodzi o ilość, jak i o jakość. Nieznajomość właściwości ładunku może prowadzić do pogorszenia lub utraty jego wartości użytkowej w czasie transportu. Przykładem ładunków odpornych na warunki transportu jest np. drewno po różną postacią, które w zasadzie nie wymaga przygotowania do transportu. Wiele jednak ładunków wymaga odpowiedniego przygotowania do transportu, najczęściej poprzez zastosowanie specjalnych opakowań lub specjalizowanych nadwozi. Takie ładunki charakteryzują się niską podatnością transportową (np. trociny, wióry, pelety czy też brykiet).

Wyróżniamy trzy rodzaje podatności transportowej: naturalną, techniczną i ekonomiczną.

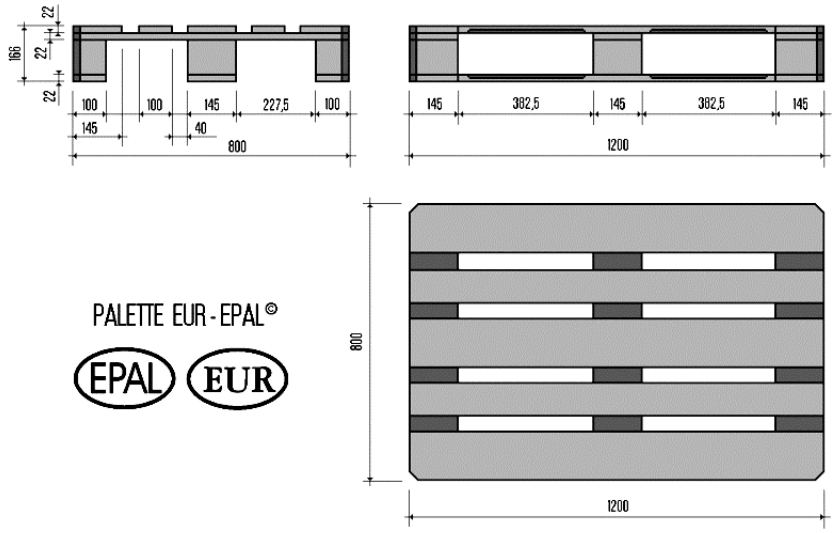
Podatność naturalna wynika z fizykochemicznych oraz biologicznych właściwości ładunku. Są to przede wszystkim: stan skupienia, gęstość, własności mechaniczne (wytrzymałość, twardość, sprężystość). Właściwości fizykochemiczne przewożonej biomasy decydują o stopniu jego oddziaływania na środek transportowy i otoczenie lub odwrotnie. Im niższa jest podatność naturalna ładunku, tym większe są wymagania względem środków technicznych i organizacji procesu transportowego. Dotyczy to odpowiednich warunków przeładunku i przewozu, rodzaju opakowań, nadwozi i maszyn przeładunkowych.

Podatność techniczna wynika przede wszystkim z masy ładunku, wymiarów i kształtu. Można ją zwiększać poprzez zastosowanie tzw. opakowań transportowych. Ważnym parametrem ładunków występujących w postaci sypkiej lub zbrylonej jest tzw. gęstość nasypowa, która wyraża się ilorazem masy materiału i zajmowanej przez niego objętości (bez ugniatania). Gęstość nasypowa jest mniejsza niż gęstość materiału, ponieważ pomiędzy jego kawałkami występują wolne przestrzenie. Przykładowo gęstość usypowa sprasowanej

słomy wynosi 90-165 kg/m^3, zrębków drzewnych 250-350 kg/m^3, a ziarna zbóż 400-750 kg/m^3 [Tymiński 1997]. Wartość gęstości nasypowej zależy od stopnia rozdrobnienia ładunku, wilgotności oraz intensywności ugniatania podczas ładowania. Należy to uwzględniać podczas załadunku pojazdów, aby nie doszło do ich przeciążenia. Biomasa jako paliwo odnawialne – w porównaniu do węgla kamiennego czy oleju opałowego – pod względem właściwości fizykochemicznych jest mniej atrakcyjna do transportu i magazynowania. Związane jest to m.in. z niską gęstością biomasy, co utrudnia transport i magazynowanie oraz powoduje, iż koszty transportu biomasy w przeliczeniu na jednostkę masy lub energii są kilkakrotnie wyższe.

Podatność ekonomiczna jest związana z wartością ładunku i jest tym większa, im jest niniejsza wartość ładunku. W celu zwiększenia podatności ekonomicznej ładunek zabezpiecza się przed uszkodzeniem, zepsuciem, zagubieniem lub kradzieżą.

Naturalną podatność transportową można zwiększyć poprzez łączenie sztuk małych, drobnych w opakowania handlowe, opakowania handlowe w opakowania transportowe, opakowania transportowe w małe jednostki ładunkowe, a te z kolei mogą wchodzić w skład dużych jednostek ładunkowych. Szczególnego znaczenia nabiera sprawa normalizacji i to nie tylko w odniesieniu do opakowań i jednostek ładunkowych, lecz również środków transportowych, tj. pojazdów i maszyn ładunkowych. Normy dla tych urządzeń i środków są opracowywane według palety uprzywilejowanej 800x1200x144 mm (rys. 48).



Rys. 48. Podstawowe wymiary palety uprzywilejowanej. Źródło: Palata EUR (on-line 2010)

Najczęściej spotykane typy "EUROPALET" w przewozach ładunków paletyzowanych:
- 1/2 (EUR) - 800 x 600 x 144 mm,
- (EUR) - 1200 x 800 x 144 mm, obciążenie do 1500 kg,
- powiększona (EUR) - 1200 x 1200 x 144 mm,
- ISO - 1200 x 1000 x 144 mm,
- przeznaczona do kontenerów - 1135 x 1133 mm.

Opakowania jednostkowe zawierają poszczególne sztuki produktu lub jego porcję. Mogą osłaniać produkt całkowicie lub częściowo. Chronią produkty przed ubytkami ilościowymi i jakościowymi, jednak nie stanowią dostatecznej ochrony przed narażeniami w czasie transportu i magazynowania. Opakowania zbiorcze łączą ustaloną liczbę sztuk produktu lub opakowań jednostkowych w większą całość, a opakowania transportowe ułatwiają transport i przechowywanie produktów w opakowaniach jednostkowych, zbiorczych lub luzem. Ponadto opakowania transportowe zwiększają podatność przeładunkową i przewozową poprzez przyspieszenie prac przeładunkowych oraz proste i łatwe rozmieszczenie i umocowanie ładunku na pojeździe. W celu jeszcze większego ułatwienia transportu ładunków są stosowane tzw. jednostki ładunkowe. Jednostka ładunkowa jest utworzona z określonej liczby mniejszych, jednorodnych lub niejednorodnych produktów, opakowanych lub nieopakowanych, uformowana za pomocą pomocniczych środków wiążących, w sposób zabezpieczający przed samoczynnym rozformowaniem podczas przeładunku, przewozu i magazynowania. Masa i wymiary jednostek ładunkowych są zwykle dostosowane do nośności typowych urządzeń przeładunkowych, ładowności oraz przestrzeni ładunkowej środków transportowych. Wyróżnić można następujące rodzaje jednostek ładunkowych [Jakubowski 2003]: pakiety, palety, kontenery, pojemniki i nadwozia wymienne, naczepy przystosowane do transportu kombinowanego oraz naczepy bimodalne. Stosowanie w/w jednostek ładunkowych w procesach transportowych korzystnie wpływa na:

- mechanizację przeładunków i ich piętrzenie (układanie w stosy), co zmniejsza czasochłonność i pracochłonność przeładunków, a więc także koszty i czas transportu,
- zmniejszenie czasu postoju pojazdów podczas przeładunku,
- zmniejszenie liczby uszkodzeń ładunków podczas prac ładunkowych,
- lepsze wykorzystanie powierzchni ładunkowej środków transportowych i magazynów (dopasowanie wymiarów i możliwość piętrzenia), a w przypadku kontenerów nawet eliminację magazynów w miejscach przeładunku,
- uproszczenie ewidencji i kontroli poprzez szybkie określenie ilości towaru, bez konieczności jego rozformowania i przeliczania (często jednostka ładunkowa jest jednocześnie jednostką rozliczeniową w produkcji i sprzedaży hurtowej).

Zalety jednostek ładunkowych są szczególnie istotne wówczas, gdy ładunek nie trafia bezpośrednio od nadawcy do odbiorcy, a jest przewożony różnymi środkami transportu, np. samochodami i wagonami kolejowymi. Ładunek musi być wówczas, często kilkakrotnie, przeładowywany.

Różnorodność ładunków oraz różna podatność ładunków na warunki i czas przewozów decydują o rodzaju zastosowanej technologii. W procesach przewozowych możemy wyróżnić [Mindur 2004]:

Technologie zunifikowaną, polegającą na przemieszczaniu ładunków w znormalizowanych kontenerach lub innych zbiorczych jednostkach ładunkowych z wykorzystaniem środków przewozowych i maszyn ładunkowych, dostosowanych do parametrów wspomnianych jednostek zarówno pod względem formy zewnętrznej, jaki i masy zawartych w nich ładunków. Oprócz kontenerów przewożone są w tej technologii również palety, pakiety oraz stosy technologiczne, tworzone z ładunków sztukowych i kawałkowych. W technologii tej przewożone są również ładowne naczepy, przyczepy, nadwozia oraz zespoły samochodowe przy użyciu środków przewozowych innych gałęzi transportu (transport intermodalny).

Technologię specjalizowaną, polegającą na stosowaniu środków transportowych, dostosowanych do wymogów technologicznych ładunków i należy do najbardziej rozpowszechnionych w transporcie samochodowym. Stosowana zwłaszcza przy przewozie towarów masowych. Technologia specjalizowana z zasady eliminuje uciążliwe i niebezpieczne roboty ładunkowe, a także gwarantuje właściwą jakość ładunków w całym łańcuchu transportowym. W technologii tej ma zastosowanie przede wszystkim tabor samowyładowczy, zbiornikowy oraz cysterny do materiałów płynnych i sproszkowanych.

Technologię uniwersalną która jest stosowana w procesach przewozowych o najniższym poziomie mechanizacji robót ładunkowych, tj. przy przewozie ładunków sztukowych lub kawałkowych luzem, gdzie znaczną część prac ładunkowych wykonuje się ręcznie. W technologii tej mają zastosowanie głównie proste maszyny i urządzenia ładunkowe oraz uniwersalny tabor.

Podatność transportowa ładunków aspekcie mechanizacji robót ładunkowych

Ważną częścią procesu transportowego są prace przeładunkowe podczas załadunku i rozładunku pojazdów. Wpływają one przede wszystkim na czas transportu, a tym samym na wydajność przewozów, koszty oraz bezpieczeństwo transportu. W celu skrócenia czasu trwania i zmniejszenia pracochłonności prac przeładunkowych wprowadza się coraz to nowocześniejsze technologie i urządzenia ułatwiające ich wykonywanie. Zwykle polega to na całkowitym lub częściowym zastąpieniu pracy ręcznej przez pracę maszyn. Mechanizacja prac przeładunkowych korzystnie wpływa również na efektywność wykorzystania środków transportowych oraz powierzchni i przestrzeni magazynowych. Dzięki temu maleją ogólne koszty transportu. Zmechanizowana obsługa ładunków eliminuje wiele zagrożeń, które mogą dotyczyć zarówno pracowników (mniejsza ich liczba, wysiłek), jak i samego ładunku (krótki czas, mniejsze narażenie na uszkodzenia ładunku).

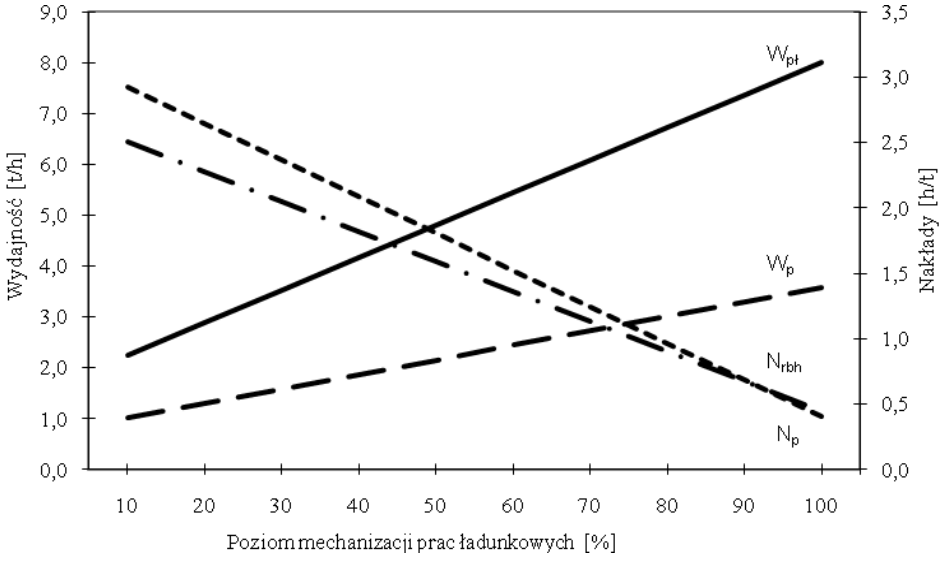
Podatność transportowa ładunków ma bardzo istotny wpływ na poziom i stopień mechanizacji robót ładunkowych. Poziom mechanizacji robót ładunkowych określa jaką część robót wykonano sposobem zmechanizowanym, natomiast stopień mechanizacji określa, w jakiej części pracę fizyczną człowieka zastąpiono pracą maszyn oraz w jakim stopniu - w wyniku mechanizacji - nastąpiło zmniejszenie czasochłonności prac ładunkowych [Fiałkowski 2003].

$$P_m = \frac{\sum(Q_{mi} \times S_{mi})}{\sum Q_i} \times 100\% \qquad S_m = \frac{t_r - t_m}{t_r} \times 100\%$$

gdzie:

- P_m – poziom mechanizacji [%],
- S_m – stopień mechanizacji [%],
- Q_{mi} – masa (w t lub m^3) i- tego ładunku przeładowywanego mechanicznie,
- Q_i – łączna masa i –tego ładunku (t lub m^3) obsługiwana w danym punkcie ładunkowym,
- t_r – pracochłonność niezbędna do wykonania konkretnego zadania ładunkowego, wyrażona w roboczogodzinach pracy ręcznej,
- t_m – pracochłonność niezbędna do wykonania konkretnego zadania ładunkowego, wyrażona w roboczogodzinach pracy maszynami lub urządzeniami ładunkowymi.

Poziom mechanizacji prac ładunkowych w bardzo istotny sposób wpływa na efektywność pracy środków transportowych, czego dowodzą w swoich badaniach Kokoszka, Kuboń i Sęk [2002]. Na rys. 49 przedstawiono wydajność prac ładunkowych ($W_{pł}$), wydajność przewozu (W_p), nakłady robocizny (N_{rbh}) oraz nakłady czasu pracy (N_p) w zależności od osiągniętego poziomu mechanizacji prac ładunkowych.



Rys. 49. Poziom mechanizacji prac ładunkowych, a wydajność przewozów i nakłady robocizny [Kokoszka i in. 2002]

Sposób wykonania czynności ładunkowych, tj. ręcznie, mechanicznie, czy też automatycznie, zależy głównie od masy ogólnej i jednostkowej ładunków. W przypadku ładunków masowych (odpady przemysłu leśnego, odpady i produkty uboczne przemysłu przetwórczego) łatwo jest zmechanizować poszczególne czynności ładunkowe przy użyciu stosunkowo prostych i dostępnych maszyn i urządzeń ładunkowych. Natomiast ładunki o dużej masie jednostkowej (drewno – rys. 50, bele słomy – rys. 51, worki typu BIG-BAG- rys. 52a) lub zjednostkowane wyroby gotowe (np. pelety, brykiety) na paletach – rys. – 52b,c nie są przystosowane do ręcznych robót ładunkowych i muszą być zmechanizowane.

Na wzrost poziomu mechanizacji prac ładunkowych duży wpływ ma również postęp w produkcji środków transportu - zwłaszcza stosowanie taboru samowyładowczego do przewozu masowych ładunków sypkich (rys. 53a,b) oraz pojazdów wyposażonych w własne urządzenia załadunkowe (rys. 50, 52a)



Rys. 50. Załadunek drewna (on-line) 2010



Rys. 51. Ładowacz czołowy (on-line) 2010

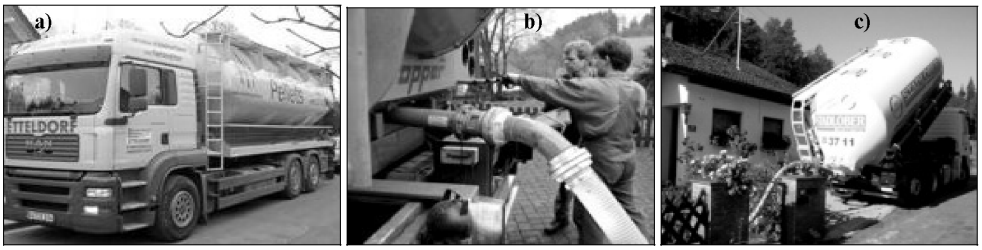


Rys. 52. Załadunek pelet: a) załadunek big-bagów z peletami (on-line) 2010; b, c) pelety zejednostkowane na palecie (on-line) 2010



Rys. 53. Transport biomasy: a) pojazdami samowyładowczymi; b) w kontenerach (on-line 2010)

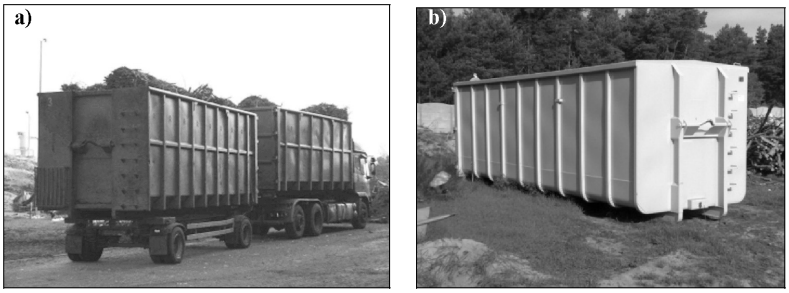
Niektóre ładunki wymagają specjalizowanych urządzeń przeładunkowych. Przykładowo do przeładunku materiałów sypkich (np. pelety) są wykorzystywane sprężarki i pompy nabudowane na samochodach (rys. 54a,b,c).



Rys. 54. Transport pelet: a) samochody specjalistyczne tzw. silosy ciśnieniowe lub naczepowe; b,c) rozładunek pelet do magazynów lub zbiorników (on-line 2010)

Główną zaletą dostaw peletów za pomocą silosów ciśnieniowych jest możliwość ich bezpośredniego, czystego wtłoczenia do magazynków z ominięciem wszelkich przeszkód architektonicznych i do tego możliwość ich płynnego dozowania. Licznik zamontowany na pojeździe pozwala na precyzyjne określenie ilości wtłoczonego peletu. Jeśli długość węża pozwoli, można tego dokonać także z ulicy. Przy możliwości wjazdu na posesję, załadować można magazyn w dowolnym miejscu, nie tylko w piwnicy, ale i na górze budynku nawet do 12 metrów wysokości.

Coraz częściej samochody są wyposażane w urządzenia do załadunku i wyładunku nadwozi wymiennych (rys. 55a) i pojemników (rys. 55b), którymi bardzo często przewożona jest biomasa w stanie wstępnie przetworzonym.



Rys. 55. Przewóz biomasy: a) w nadwoziach wymiennych; b) w pojemnikach (on-line 2010)

Pozostałe ładunki, pomimo że nie stanowią tak dużego udziału ilościowego jak ładunki masowe, niemniej jednak nastręczają wiele trudności, gdy chodzi o mechanizację robót ładunkowych. Są to bowiem z zasady ładunki wymagające różnorodnych technologii wykonywania robót ładunkowych, a zatem różnorodnych środków technicznych. Przy przewozach tego typu ładunków poziom mechanizacji robót ładunkowych jest więc stosunkowo niski.

Prace przeładunkowe mogą być prowadzone z wykorzystaniem urządzeń przeładunkowych (maszyn) stacjonarnych lub ruchomych, w tym umieszczonych na pojazdach. Urządzenia stacjonarne występują w stałych miejscach załadunku i rozładunku. Należą do nich różnego rodzaju urządzenia transportu bliskiego, takie jak: żurawie, suwnice, przenośniki

oraz sprężarki i pompy do przeładunku materiałów płynnych i sypkich. Natomiast ruchomymi urządzeniami przeładunkowymi są: wózki widłowe, ładowarki oraz wozy podnośnikowe i bramowe.

Szczególnie istotnym parametrem maszyn ładunkowych jest wydajność urządzenia, która określa masę lub objętość ładunku przeładowywanego w określonym czasie. Generalnie można wyróżnić trzy zasadnicze sposoby wykonywania prac ładunkowych, tj. przemieszczanie w sposób ciągły, przemieszczanie za pomocą czerpaków lub pojemników i przemieszczanie w sposób przerywany. Uwzględniając te sposoby i niektóre parametry robocze wydajność pracy tych środków można określić na podstawie następujących wzorów [Jakubowski 2003]:

Maszyny i urządzenia przemieszczające ładunek w sposób ciągły:

$$W_k = 3600 \times F \times v \times \rho_m \quad [t/h]$$

gdzie:

W_k – wydajność konstrukcyjna przenośnika [t/h],
F – przekrój strumienia ładunku [m^2],
v – prędkość strumienia ładunku [m/s],
ρ_m – masa objętościowa ładunku [t/m^3].

Maszyny i urządzenia przemieszczające ładunek za pomocą czerpaków lub pojemników:

$$W_k = 3600 \times \frac{V \times v \times \rho_m}{L} \quad [t/h]$$

gdzie:

W_k – wydajność konstrukcyjna przenośnika [t/h],
V – pojemność pojedynczego pojemnika [m^3],
v – prędkość przenoszenia pojemników [m/s],
ρ_m – masa usypowa ładunku [t/m^3],
L – odstęp pomiędzy pojemnikami [m].

Maszyny i urządzenia przemieszczające ładunek w sposób przerywany:

$$W_k = \frac{3600 \times Q}{T_c} \quad [t/h]$$

gdzie:

W_k – wydajność konstrukcyjna przenośnika [t/h],
Q – udźwig maszyny [t],
T_c – czas trwania cyklu [s/cykl].

W procesach ładunkowych, podobnie jak w procesach przewozowych, występują trzy zasadnicze technologie wykonywania prac ładunkowych:

Technologie zunifikowane, polegające na zastosowaniu stypizowanych maszyn i urządzeń ładunkowych w całym łańcuchu transportowym, dzięki znormalizowanej postaci

jednostek ładunkowych oraz używaniu środków przewozowych przystosowanych do tych jednostek.

Technologie specjalizowane polegające na stosowaniu środków przewozowych oraz innych urządzeń technicznych pozwalających na samozaładunek oraz samowyładunek materiałów przewożonych w stanie naturalnym.

Technologia uniwersalne polegające na stosowaniu uniwersalnych maszyn i urządzeń ładunkowych przy przemieszczaniu ładunków bez specjalnego ich przygotowania do transportu.

Podsumowując należy stwierdzić, że czynności ładunkowe w bardzo istotny sposób wpływają na wydajność przewozów i nakłady robocizny, a tym samym na koszty transportu. Rodzaj zastosowanej technologii przeładunku będzie uzależniony przede wszystkim od takich czynników jak: postać ładunku, podatność transportowa ładunku, rodzaj opakowania, dostępność maszyn i urządzeń przeładunkowych oraz rodzaj zastosowanych środków transportowych.

Logistyka dostaw

Procesy transportowe odgrywają bardzo ważną rolę w systemach logistycznych. Wynika to z istoty logistyki, której podstawowym zadaniem jest racjonalizacja przepływu dóbr oraz usług w przestrzeni i czasie, a więc zadanie ściśle uzależnione od sprawności przebiegu procesu transportowego. Rola ta jest zróżnicowana w zależności od stopnia złożoności procesu logistycznego oraz poziomu obsługi dostaw, niemniej w każdym przypadku istotna, o czym świadczy wysoki średni udział kosztów przemieszczania, stanowiący około 40% kosztów logistycznych [Mindur 2004]. Powoduje to duże zainteresowanie wielu autorów [Tabor, Kuboń 2004; Kuboń 2006; Wajszczuk 2006] rozwiązaniami organizacyjno-technicznymi, które pozwalają na skracanie czasu trwania czynności w poszczególnych ogniwach, jak i w całym łańcuchu transportowym. Szczególny nacisk kładzie się na przystosowalność technologii transportowych do techniki stosowanej we wszystkich ogniwach procesu logistycznego.

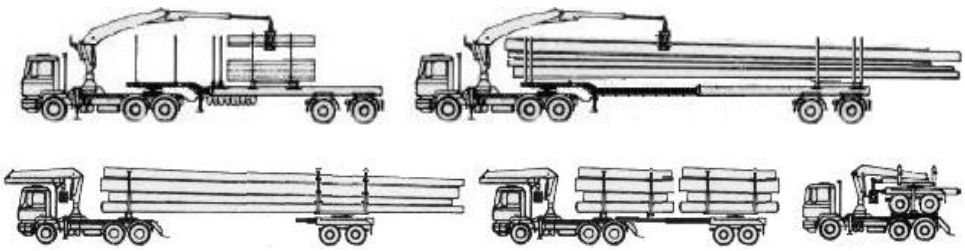
O tym jaką zastosujemy technikę i technologię przewozu biomasy decyduje w dużym stopniu postać ładunku, technologia pozyskania, odległość transportu, sposób magazynowania oraz dostępność do infrastruktury logistycznej.

Transport pełni jedną z najistotniejszych funkcji w działalności pojedynczych przedsiębiorstw jak również przedsiębiorstw współpracujących w sieci dostaw. To on zapewnia dostarczanie surowców (biomasy) od dostawców do producenta oraz gotowych produktów (pelety, brykiety, olej) do magazynów pośrednich lub bezpośrednio do klientów. Do przewozów wykorzystywane są wszystkie rodzaje transportu, w tym również transport kombinowany – intermodalny.

W krajach uprzemysłowionych i rozwiniętych biomasa dostarcza tylko około 4-18% energii. Jako surowiec naturalny nie jest skoncentrowana w jednym miejscu i tym samym jej użycie w konkretnie zlokalizowanych centrach przetwórczych wymaga transportu, który znacznie podnosi koszty i tym samym zmniejsza ekonomiczną efektywność całego procesu. Jak podaje Piotrowski i in. [2004] rozwiązaniem tego problemu może być lokalizacja pośrednich zakładów przetwórczych biomasy i stacji bioenergetycznych możliwie blisko najbardziej skoncentrowanych obszarów (upraw energetycznych, tartaków, producentów).

Analiza ekonomiczna wykazuje, iż zrębki drzewne mogą być transportowane samochodem do 250 km zanim energia transportu zrówna się wielkością z wydzieloną energią (kryterium opłacalności). Odpowiadający dystans dla zestawów ciągnikowych wynosi 100 km, transportu kolejowego - 500 km a transportu promowego - 1000 km. Ogólnie należy dążyć do skracania odległości transportowych a tym samym minimalizowania kosztów transportu. Przykładowo w Szwecji średnia odległość transportu biomasy do zakładu przetwórczego dużej skali (produkcja elektryczności lub metanolu o możliwości przerobu 300 tys. ton suchej biomasy rocznie) wynosi około 30 km. Biorąc pod uwagę tempo zużytkowania zasobów biomasy i szacunkowe prognozy na najbliższe lata, zakładające wzrost potencjału biomasy do poziomu 220-1015 J na rok - średnia opłacalna droga transportu wynosić będzie około 42 km. Koszt transportu biomasy na odległość 30-42 km będzie równoważny około 20- 25% kosztów samej biomasy, a całkowita efektywność produkcji i transportu biomasy zwiększy się do 95-97%.

Drewno jako podstawowe źródło biomasy występuje jako: odpady leśne, opał drzewny, odpady i produkty uboczne przemysłu leśnego, uprawy roślin energetycznych oraz odpady drzewne powstające w miastach. W zależności od stopnia przetworzenia i odległości transportu do ich przewozu wykorzystuje się specjalistyczne zestawy transportowe (rys. 56) przeznaczone do przewozu drewna dłużycowego (przyczepy lub naczepy dłużycowe) lub kawałkowego (przyczepy lub naczepy skrzyniowe lub platformowe), a do odpadów leśnych, upraw niektórych roślin energetycznych oraz odpadów drzewnych zestawy do przewozów ładunków objętościowych (wywrotki – rys. 53a, kontenery otwarte – rys. 53b, nadwozia wymienne - rys. 55a).

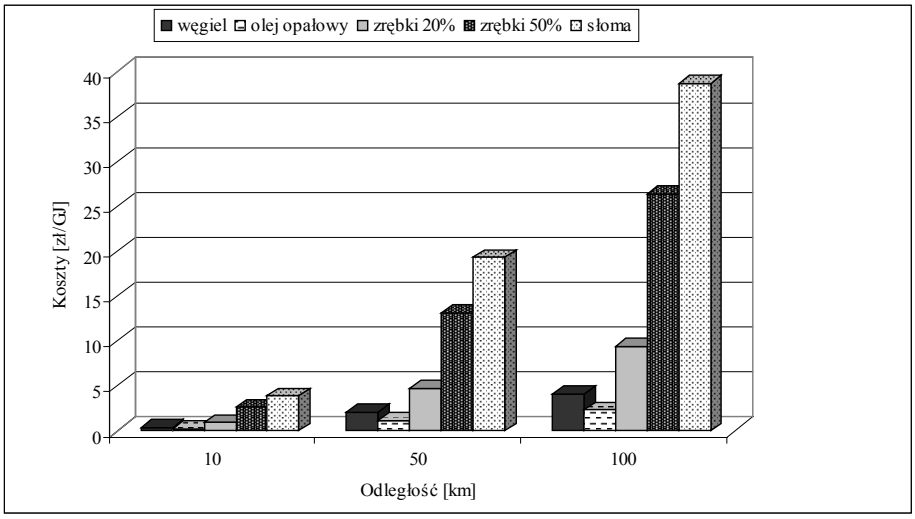


Rys. 56. Zestawy specjalistyczne do przewozu drewna (on-line 2010)

Ze względu na dużą objętość biomasy występującej w formie odpadów leśnych lub drzewnych, konieczne staje się jej wstępne rozdrobnienie do postaci zrębków a następnie jej przewóz. Transport drogowy zrębków drzewnych może odbywać się samochodami ciężarowymi z przyczepami, które w kontenerach lub na przyczepie, mogą przewieźć jednorazowo około 80 m^3 zrębków. Kontenery są wypełnione po zakończeniu produkowania zrębków drzewnych i przewożone do miejsca składowania. Do załadunku pojemników w miejscach składowania, wykorzystuje się ładowarki czołowe.

Biorąc pod uwagę opłacalność produkcji biomasy z wierzby energetycznej należy również pamiętać o innym istotnym czynniku wchodzącym w skład całkowitych kosztów produkcji – tj. transport gotowego wyrobu. Koszty transportu jednostki energii biomasy tj. zrębków wierzby energetycznej są znacznie wyższe niż koszty transportu węgla kamiennego i oleju opałowego rys. 57). Skutkiem tego jest konieczność operowania większymi ob-

jętościowo ilościami zrębków, aby dostarczyć w paliwie taką samą ilość energii jak przy paliwach tradycyjnych.

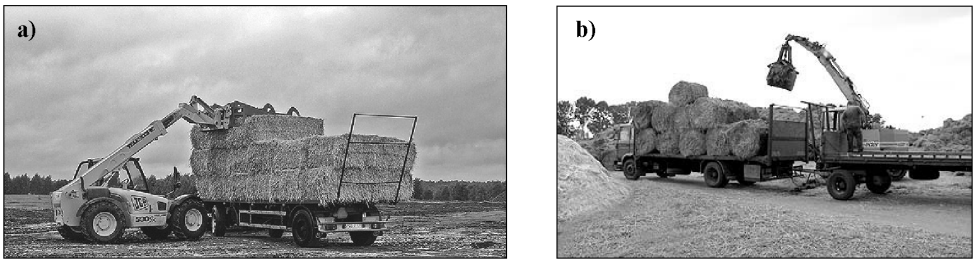


Rys. 57. Koszty przewozu własnym środkiem transportu jednostki energii (PLN/GJ) przy założonej odległości. [Juliszewski i in. 2004]

Z przedstawionego wykresu wynika, iż koszty transportu jednostki energii biomasy tj. zrębków wierzby energetycznej i słomy są znacznie wyższe niż koszty transportu węgla kamiennego i oleju opałowego. Przykładowo koszt transportu jednostki energii zawartej w słomie prasowanej jest 9,3 razy większy niż koszty transportu węgla kamiennego. W celu właściwej organizacji przewozu biomasy, szczególnie na duże odległości od miejsca jej pozyskiwania, niezbędne są specjalne środki transportowe, przystosowane do przewozu wielkich objętości, a także konieczność posiadania odpowiedniego sprzętu do ich obsługi. Badania i przeprowadzone analizy dowiodły, że transport nieprzetworzonej biomasy na duże odległości z wykorzystaniem tradycyjnych środków transportowych jest inwestycją bardzo kosztowną i czasochłonną [Juliszewski i in. 2004]. Przykładowo koszty transportu 1 tony biomasy przetworzonej (zrębki o wilgotności 38%) samochodem ciężarowym o ładowności 10 t, na odległość 40 km wg badań Gradziuka i Kościka [2007] wynosiły 32 PLN, co stanowiło 11% w ogólnej strukturze kosztów pozyskania zrębków drzewnych.

W przypadku przewozu słomy i innych pozostałości po zbiorach lub też odpadów i produktów ubocznych przemysłu przetwórczego konieczne staje się zagęszczanie lub zjednostkowanie materiału przed transportem celem lepszego wykorzystania objętości środków transportowych, a tym samym obniżenia kosztów transportu. Luźna słoma ma niewielką gęstość, wynoszącą zwykle 20-40 kg/m^3 przez co wykorzystanie środków transportowych jest znikome. Przy zbiorze słomy stosując prasy niskiego stopnia zgniotu można zagęścić słomę do 80 kg/m^3, a w prasach wysokiego stopnia zgniotu do 180 kg/m^3. Do

załadunku i rozładunku bel można wykorzystać ładowacze czołowe lub chwytakowe (rys. 58) a do przewozu oprócz przyczep również wózki samozaładowcze (rys. 59).



Rys. 58. Załadunek słomy: a) ładowaczem czołowym; b) ładowaczem chwytakowym (on-line 2010)



Rys. 59. Transport słomy: a) za pomocą przyczep; b) wózkiem samozaładowczym (on-line 2010)

Przy organizacji transportu słomy należy uwzględnić: odległość do miejsca składowania, stan dróg dojazdowych oraz konieczność przejazdu przez miejscowości. Zgodnie z obowiązującym stanem prawnym (Prawo o ruchu drogowym), maksymalne wymiary pojazdów drogowych ograniczone są wymiarami: wysokość – 4,0 m, szerokość – 2,5 m i długość – 22,0 m dla ciągników z dwoma przyczepami i 18,75 m dla pojazdów samochodowych z przyczepami. Powyższe ograniczenia powodują, że maksymalna pojemność ładunkowa zestawów transportowych wynosić będzie około:

– 90 m^3 dla pojazdu z naczepą o długości 12 m,
– 110 m^3 dla samochodu z przyczepą,
– 110 m^3 dla ciągnika rolniczego z dwoma przyczepami.

Są to ładowności teoretyczne, a ich rzeczywiste wykorzystanie jest zależne od formy bel i związanej z tym możliwości wypełnienie przestrzeni ładunkowej. Najlepsze wykorzystanie środków transportu zapewniają wielkogabarytowe bele prostokątne. Ich wymiary z reguły stanowią pochodną szerokości skrzyń ładunkowych samochodów ciężarowych tj. 2,4 m. Prostopadłościenny kształt zapewnia równy i stabilny załadunek pojazdu, oraz w miarę pełne wykorzystanie przestrzeni ładunkowej. Podobnie przedstawia się sytuacja w przypadku transportu bel okrągłych. Również dla różnych średnic bel różny będzie stopień wykorzystania przestrzeni ładunkowej. Ładowność użytkowanych platform wynosi

zwykle 30-40 prostokątnych bel słomy w wymiarach (0,7-0,9)x1,2x2,4 m lub 45-60 prostokątnych bel słomy w wymiarach (0,8-0,9)x0,8x2,4 m i łącznej wadze 8÷10 ton. W przypadku bel okrągłych o szerokości 1,2 m i średnicy 1,2 lub 1,5 m ładowność wynosi 24-40 szt. i łącznej wadze 5-9 ton. W tabeli 40 przedstawiono przykłady wykorzystania środków transportowych w zależności od rodzaju ładowanych bel słomy, przy założonym stopnia zagęszczenia wynoszącym 120 kg/m^3.

Tabela 40. Masa ładunku w tonach w zależności od formy ładowanej słomy i siana (przy gęstości bel 120 kg/m^3)

Wyszczególnienie	Bele prostokątne o wysokości			Bele okrągłe o średnicy		
Rodzaj pojazdu/ wysokość, średnica bel	0,7 m	0,8 m	0,9 m	1,2 m	1,5 m	1,8 m
Samochód z naczepą 12m	9,6	11,2	9,3	6,4	8,0	8,8
Samochód ciężarowy z przyczepą	12,5	14,6	12,1	7,7	9,0	10,4
Ciągnik rolniczy z przyczepą	7,7	9,0	7,4	5,1	6,0	7,4
Ciągnik rolniczy z dwoma przyczepami	9,6	11,2	9,3	6,4	8,0	8,8

Źródło: Gradziuk, Kościk [2007]

Z danych zawartych w powyższej tabeli wynika, że różnice w wielkości rzeczywistego ładunku dla tych samych pojazdów sięgają nawet 15÷25%. Z tego też powodu istotny jest dobór optymalnych środków transportu do przewozów określonego rodzaju bel słomy i siana. Powyższe uwarunkowania w bardzo istotny sposób wpływają również na jednostkowe koszty transportu słomy. Dla przyjętych wyżej ładowności i odległości transportu podzielonej na siedem stref, koszt przewozu jednej tony słomy zawiera się w granicach od około 7,50 PLN/t do 40,10 PLN/t dla wielkogabarytowych bel prostokątnych i od 9,85 PLN/t do 56,30 PLN/t dla bel okrągłych. Koszty transportu dla poszczególnych stref zestawiono w tabelach 41 i 42 przy założeniu że: stawka za 1 km pojazdu samochodowego wynosi 2,00 PLN, pojazdu samochodowego z przyczepą – 2,50 PLN, godzina pracy ciągnika z przyczepą – 30,00 PLN/h, a z dwoma przyczepami – 35,00 PLN/h, czas załadunku pojazdu samochodowego lub przyczepy ciągnikowej 30 minut, a rozładunek pojazdu 15 minut.

Tabela 41. Średni koszt transportu słomy prasowanej w wielkogabarytowych belach prostokątnych

Rodzaj pojazdu	Samochód z naczepą 12m	Samochód ciężarowy z przyczepą	Ciągnik rolniczy z przyczepą	Ciągnik rolniczy z 2 przyczepami
Odległość [km]	Koszt transport słomy [PLN/t]			
10	7,52	7,24	8,47	7,90
20	10,53	10,13	14,74	12,42
30	13,54	13,02	19,75	16,43
40	16,55	15,92	24,77	20,44
60	24,08	23,15	34,80	28,47
80	32,10	30,87	X	X
100	40,13	38,59	X	X

Źródło: Gradziuk, Kościk [2007]

Tabela 42. Średni koszt transportu słomy prasowanej w belach zwijanych

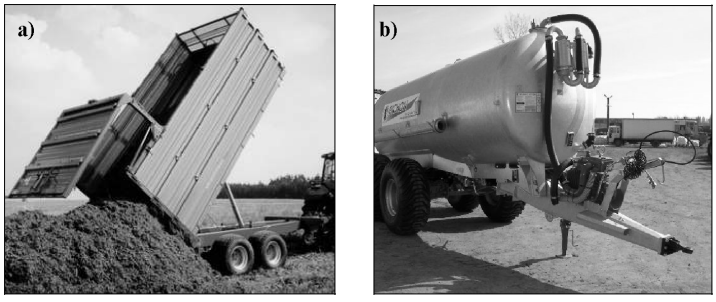
Rodzaj pojazdu	Samochód z naczepą 12m	Samochód ciężarowy z przyczepą	Ciągnik rolniczy z przyczepą	Ciągnik rolniczy z 2 przyczepami
Odległość [km]	Koszt transport słomy [PLN/t]			
10	9,85	10,56	11,19	10,34
20	13,79	14,78	14,50	13,40
30	17,72	19,00	18,64	17,23
40	21,66	23,23	22,78	21,06
60	31,51	33,78	31,07	28,72
80	42,01	45,05	X	X
100	52,50	56,31	X	X

Źródło: Gradziuk, Kościk [2007]

Duży wpływ na poziom łącznych kosztów transportu słomy ma dokładne synchronizowanie poszczególnych ogniw logistycznych. Z tego też względu wskazane jest powierzanie ich jednemu podmiotowi. Przy przewozie dużych partii, szczególnie na większe odległości, zaleca się wykorzystywać samochody ciężarowe z przyczepami, zabierające jednorazowo do 12 ton słomy. Wpływ na czas transportu wywiera nie tylko masa ładunku lecz także szybkość transportu i odległość. Organizując przewóz słomy należy zbilansować liczbę środków transportu jak i sprzętu załadowczego i rozładowczego w taki sposób, aby umożliwić płynny ruch pojazdów oraz optymalne wykorzystanie ładowacza przy pryzmie (bez przestojów).

Odpady przemysłu przetwórczego (łuski, pestki, wytłoki) można przewozić w dużych worach zwanych big-bagami o ładowności 0,5–2 ton lub też specjalnych kontenerach. Czynności ładunkowe realizowane są z wykorzystaniem własnych urządzeń ładunkowych (HDS) lub ładowaczy chwytakowych.

Trzeci rodzaj biomasy to pozostałe odpady organiczne w postaci: odchodów zwierzęcych, odpadów ściekowych oraz składowisk odpadów organicznych. Czynności ładunkowe realizowane są w przypadku odpadów stałych ładowaczami czołowymi lub chwytakowymi a przewóz przyczepami lub naczepami samowyładowczymi (rys. 60a). Natomiast w przypadku odpadów płynnych do załadunku i rozładunku wykorzystuje się różnego rodzaju pompy najczęściej nabudowane na pojazdach lub stacjonarne a do przewozu specjalistyczne wozy asenizacyjne (rys. 60b).



Rys. 60. Transport odpadów organicznych a) przyczepa do przewozu odpadów stałych; b) naczepa asenizacyjna do przewozu odpadów płynnych

Procesom logistycznym przebiegającym zarówno wewnątrz jak i na zewnątrz przedsiębiorstw, nieustannie towarzyszy tworzenie zapasów. Głównym powodem tworzenia zapasów jest konieczność wyrównywania różnych intensywności strumieni przepływów, zapewnienie ciągłości procesów produkcyjnych, ciągłości sprzedaży, zabezpieczeniem przed zmianami cen, jak również utrzymaniem odpowiedniej jakości wytworzonych gotowych wyrobów [Kowalski, Tabor 2003; Kuboń 2008]. Niedostateczne zapasy mogą natomiast powodować przerwy w produkcji oraz naruszać umowy kooperacyjne z innymi przedsiębiorstwami. W pozarolniczych jednostkach gospodarczych koszty utrzymania zapasów są zróżnicowane, ale na ogół stanowią 15-47,5% [Heizer, Render 1993] lub 20-40% [Kisperska-Moroń 1998] wartości zapasów w ciągu roku. Zbyt duże zapasy natomiast zamrażają kapitał oraz zwiększają koszty magazynowania. Dlatego też wielkość zapasów musi być gospodarczo uzasadniona [Dębski 1996; Pietraszewski 1995; Skowronek, Sariusz Wolski 2003]. Utrzymanie zapasów różnego rodzaju biomasy na określonym poziomie ilościowym i jakościowym wymusza na producentach jak również odbiorcach posiadanie bazy magazynowej. Wielkość i rodzaj tej bazy powinna wynikać z rodzaju przechowywanej biomasy oraz organizacji transportu w ramach procesu zaopatrzenie i dystrybucji.

Podstawowe decyzje logistyczne w zakresie magazynowania biomasy zarówno przetworzonej jak i nieprzetworzonej dotyczą takich zagadnień jak: miejsce magazynowania, magazyny własne czy obce, liczba i wielkość magazynów własnych oraz wielkość gromadzonych zapasów.

Jak podaje Juliszewski [2009] biomasa wykorzystywana do celów grzewczych jak również na cele produkcyjne (produkcja brykietu, pelet) powinna być gromadzona jak najbliżej miejsca spalania lub przetwarzania, w ilości zabezpieczającej ciągłość procesów produkcyjnych lub na okres kolejnych dostaw. Mniejszą gęstość usypowa biomasy w stosunku do paliw konwencjonalnych powoduje większe zapotrzebowanie na pomieszczenia magazynowe niż dla węgla czy oleju opałowego.

Niezwykle istotną sprawą dla zabezpieczenia trwałości przechowalniczej biomasy jest, aby jej wilgotność nie przekroczyła tzw. wilgotności krytycznej tj. wilgotności przyspieszającej procesy biochemiczne. Intensywne oddychanie i brak wentylacji powoduje przy składowaniu w stogach lub pryzmach znaczny wzrost temperatury oraz doprowadza do samozagrzewania, zaparzania, gnicia, a nawet samozapłonu ładunku. W ślad za procesem samozagrzewania może nastąpić samozapłon ładunku. Stwierdzenie rozpoczynającego się tego procesu (podwyższenie temperatury i wilgotności biomasy) jest sygnałem do zastosowania środków przeciwdziałających dalszemu rozwojowi tego procesu, polegających na ochłodzeniu biomasy lub podsuszeniu. Najbardziej skutecznym sposobem jest aktywne wentylowanie lub też okresowe „przekładanie" pryzmy, co zarazem generuje dodatkowe koszty przechowywania.

Drewno kawałkowe, wałki, „metry" magazynowane jest najczęściej na składach otwartych ułożone w stosy. Drewno przeznaczone do rozdrobnienia, czyli drewno odpadowe, gałęziówka i czuby powinny być przechowywane do czasu transportu w całości w stertach, a zrębkowanie powinno następować bezpośrednio przed transportem (max. 1-2 dni). Wielkość stert nie powinna być mniejsza niż ładowność środka transportu. Składowanie drewna niezrębkowanego pozwala na jego naturalne wysychanie i eliminuje trudności wynikające ze składowania zrębków. Zrębki drzewne powinny być składowane w pomieszczeniach krytych, zamkniętych. Mogą to być: wiaty, magazyny lub silosy zlokalizowane w pobliżu miejsc pozyskania surowca lub na terenie kotłowni [Gradziuk, Kościk 2007].

Według Sztybera składy biomasy można podzielić na dwie grupy: bazowe i buforowe. Składy bazowe przeznaczone są do stosunkowo długiego okresu przechowywania biomasy o dużej objętości. Lokalizacja tych składów jest zwykle w dużej odległości od odbiorcy – ciepłowni lub lokalnych kotłowni. Składy buforowe wykonuje się w celu zabezpieczenia ciągłości procesów produkcyjnych (energia, brykiety) na okres 3–7 dni i zapobieżenia nierównomierności podaży biomasy ze składów bazowych lub innych składnic, na których się składuje się surowiec. Składy zrębków drzewnych mogą być odkryte i zakryte. Odkryte składy zrębków stosuje się zwykle przy długoterminowym przechowywaniu zrębków odpowiadających składom bazowym. Z uwagi na właściwości zrębków – ich gęstości, porowatości, sypkości oraz higroskopijności i nasiąkliwości drewna, przechowywanie zrębków drzewnych opałowych w stosach na wolnym powietrzu zaleca się tylko w rejonach o ciepłym klimacie, w warunkach zapewniających przewietrzanie stosów [Sztyber 2005a]. W innych rejonach, mając na względzie ochronę zrębków przed niekorzystnymi warunkami atmosferycznymi i ich deprecjacją (zmniejszaniem się gęstości i wartości opałowej zrębków), celowe jest przechowywanie zrębków w składach zakrytych – w pomieszczeniach zadaszonych lub w specjalnych zasobnikach [Sztyber 2005b]. Przy tym należy umożliwić wysychanie zrębków podczas przechowywania w celu poprawy ich własności opałowych, a niekiedy wręcz umożliwienia ich spalania. Pojemność buforowego zasobnika zrębków kotłowni zależy od jej mocy, sprawności cieplnej, gęstości usypowej i ciepła spalania zrębków. Zwykle oblicza się ją z 3–7 dobowego zużycia paliwa przy pracy kotłowni na nominalnej mocy. Według zaleceń fińskich oraz Gołovkova [1987], zależność pojemności składu buforowego zrębków od mocy kotłowni przedstawiono w tabeli 43.

Tabela 43. Pojemności składu buforowego od mocy kotłowni

Moc kotłowni [MW]	2	3	4	5	6	8
Pojemność składu buforowego [m^3]	350	500	650	800	950	1250

Źródło: Gołovkov [1987]

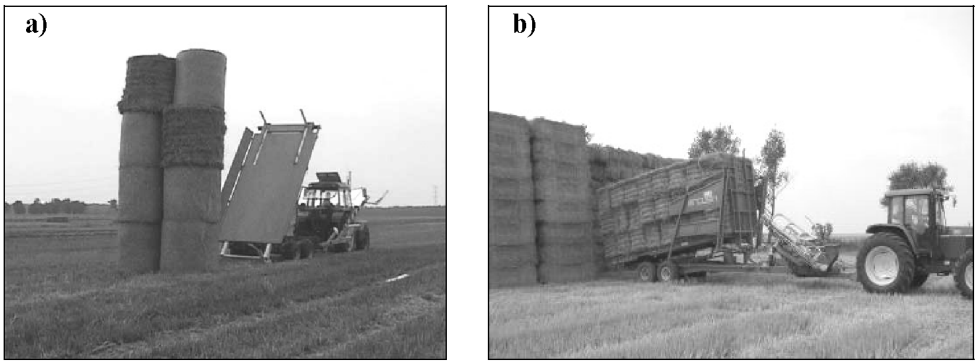
Zrębki krótko przechowywane powinny być składowane na wyrównanej, utwardzonej powierzchni. Dodatkowo, droga w pobliżu pryzmy powinna być sucha, by składowane zrębki nie były opryskane wodą przez przejeżdżające pojazdy. Zrębki świeżo zebrane składowane w naturalnych warunkach w pryzmie nie wysychają efektywnie, chłoną wodę z opadów atmosferycznych. Przechowywanie ich dłuższy czas w tych warunkach prowadzi do strat substancji organicznej, wzrostu temperatury wewnątrz pryzmy i w konsekwencji do rozwoju niepożądanych grzybów. W przypadku zrębków przechowywanych w dłuższym przedziale czasowym konieczne jest zmniejszenie ich wilgotności, dlatego muszą one być przechowywane w magazynach półzamkniętych (wiaty) lub zamkniętych. Badania wykazały, że przechowywanie zrębków pod dachem przez okres 4–6 miesięcy może zredukować ich wilgotność z około 45% do 30% [Sztyber 2005a]. Lepszym sposobem ich przechowywania byłoby zastosowanie wymuszonego przepływu powietrza atmosferycznego przez masę składowanych zrębków (aktywne wietrzenie, analogicznie jak przy konserwacji mokrego ziarna zbóż). Według doświadczeń skandynawskich [Furuseth, Gislerud 1980] przy stosach wysokości do 3 m i objętości 35–70 m^3, do przewietrzania stosu wystarcza wentylator z silnikiem o mocy 5 kW i system podpodłogowych kanałów rozdziela-

jących powietrze na równoległe strumienie odległe, co 0,6 m. Pozwalało to na przykład, by początkowa wilgotność zrębków równa 31,7%, przy nadmuchiwaniu powietrza o średniej temperaturze 19°C, po siedmiu dniach spadła do 17,5%, a po 14 dniach – do 12,7%. Zaznaczyć należy, że w tym przypadku przed zrębkowaniem drewno było sezonowane na wolnym powietrzu przez 3 miesiące. Zastosowanie słabych wentylatorów na przykład z silnikami o mocy 0,5 kW, nadmuchujących do wnętrza silosu zimne powietrze nie powodowało poprawy warunków przechowywania. Przy sztucznym suszeniu zrębków za pomocą ciepłego powietrza wysychanie zrębków zachodzi znacznie szybciej. Na przykład przy nadmuchiwaniu do silosu powietrza o temperaturze 43°C z prędkością 0,1 m/s wilgotność zrębków z 55% w ciągu 9-10 godzin spadła do 10%. Dobór mocy silnika dmuchawy powietrza zależy od wymiarów i struktury zrębków, prędkości powietrza i oporu jego przepływu. Dobór mocy nie jest łatwy, a jednym z zalecanych rozwiązań jest zastosowanie suszarni do ziarna.

Słoma**,** ze względu na dużą objętość w stosunku do wartości energetycznej powinna być składowana w pobliżu miejsca zbioru, natychmiast po sprasowaniu, aby zabezpieczyć ją przed wchłanianiem wilgoci z powietrza i zamakaniem. Jedynie składowanie w stanie suchym pozwala uzyskać surowiec o dobrej jakości. W praktyce sprasowane bele słomy powinny być zebrane z pola w dniu prasowania i ułożone w stertach lub pryzmach, przykrytych od góry strzechą z luźnej słomy lub plandeką. Słoma może być również składowana w tradycyjnych stodołach lub wiatach. Istotne jest, aby miejsce składowania miało suche przepuszczalne lub odwadniane podłoże i by możliwy był do niego dojazd przez cały rok, bez względu na warunki atmosferyczne. Ze względu na trwałe zawilgocenie wierzchniej warstwy słomy, 10% składowanej w pryzmach słomy nie nadaje się do wykorzystania jako paliwo. Składowanie słomy pod wiatami bez ścian, również powoduje częściowe pogorszenie jakości słomy. Zawartość wilgoci w zewnętrznych warstwach słomy o grubości do 0,5 m może wzrastać do 25-30%. Jeżeli ciepłownie lub elektrociepłownie dysponuje stosunkowo dużym magazynem przejściowym umożliwiającym przetrzymanie dostarczonej słomy, możliwe jest częściowe podsuszenie zewnętrznych części bel. Praktycznie nie do usunięcia są lokalne zawilgocenia wewnątrz bel powstające przy nieszczelnym przykryciu stert.

Bele okrągłe są zbierane z pola ładowaczami czołowymi lub coraz częściej specjalizowanymi przyczepami samozbierającymi, umożliwiającymi także stertowanie słomy do wysokości czterech bel (rys. 61b). Metoda pionowego składowania bel okrągłych wymaga bardzo starannego zabezpieczenia szczytu pryzmy przed wilgocią, pozwala natomiast na efektywniejsze wykorzystanie powierzchni składowych.

Wielkogabarytowe bele prostokątne zbierane są z pola najczęściej przy pomocy przyczepy z ciągnikiem i ładowarki. Coraz częściej producenci pras oferują przystawki sztablujące do współpracy z prasami, pozwalające w trakcie prasowania na układanie w pryzmy po trzy do czterech bel. Stosuje się także przyczepy samozbierające (rys. 61a) umożliwiające pełną automatyzację procesu, przez co znacznie skrócony jest czasu zbioru i tworzenia pryzm wielkogabarytowych bel prostokątnych.

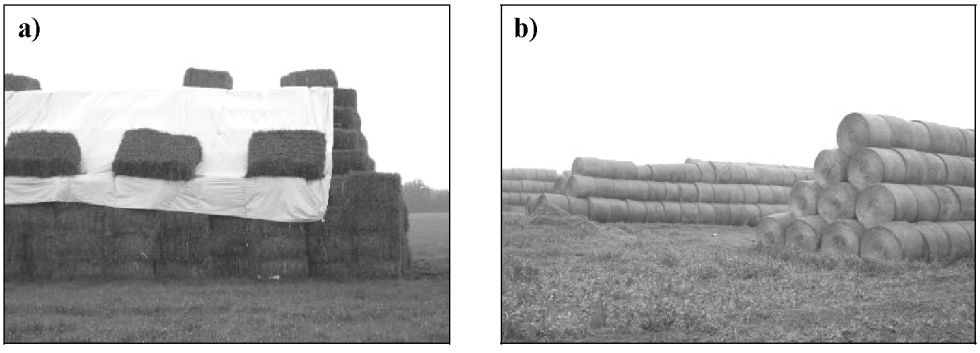


Rys. 61. Tworzenie pryzm: a) z bel prostopadłościennych; b) z bel cylindrycznych (on-lin) 2010

Wybór miejsca na budowę pryzmy musi uwzględniać również wymagania bezpieczeństwa przeciwpożarowego. Z tego względu wielkość pojedynczej pryzmy powinna być ograniczona do maksymalnie 200-300 ton, zaś odległości pomiędzy poszczególnymi pryzmami nie mogą być mniejsze niż 30 m. Odległości minimalne od innych obiektów wynoszą:

– od dróg publicznych i torów kolejowych – 30 m,
– od urządzeń i linii elektrycznych wysokiego napięcia – 30 m,
– od lasów i terenów zadrzewionych – 100 m,
– od budynków z materiałów palnych – 30 m,
– od budynków z materiałów niepalnych i pokryciu trudnozapalnym – 20 m,
– od innych pryzm stanowiących odrębną strefę pożarową – 30 m.

W praktyce każdą stertę należy traktować jako odrębna strefę pożarową i stosować zabezpieczenia w postaci pasa o szerokości 2 m w odległości 3 m od sterty.



Rys. 62. Składowanie bel: a) prostopadłościennych; b) cylindrycznych (on-line) 2010

Składowanie materiału czynnego biologicznie w hałdach (rys. 63) o dużej objętości i dużej wysokości wprowadza duże ryzyko samozapłonu. W przypadku konieczności składowania biomasy w hałdach o wysokości powyżej 4 m (elektrownie, elektrociepłownie), należy prowadzić okresową kontrolę temperatury biomasy wewnątrz hałdy (rys. 63). Generalnie, należy unikać długotrwałego składowania biomasy na otwartym terenie, a w razie takiej konieczności okresowo „przekładać" pryzmę.



Rys. 63. Składowanie biomasy w hałdach (on-line) 2010

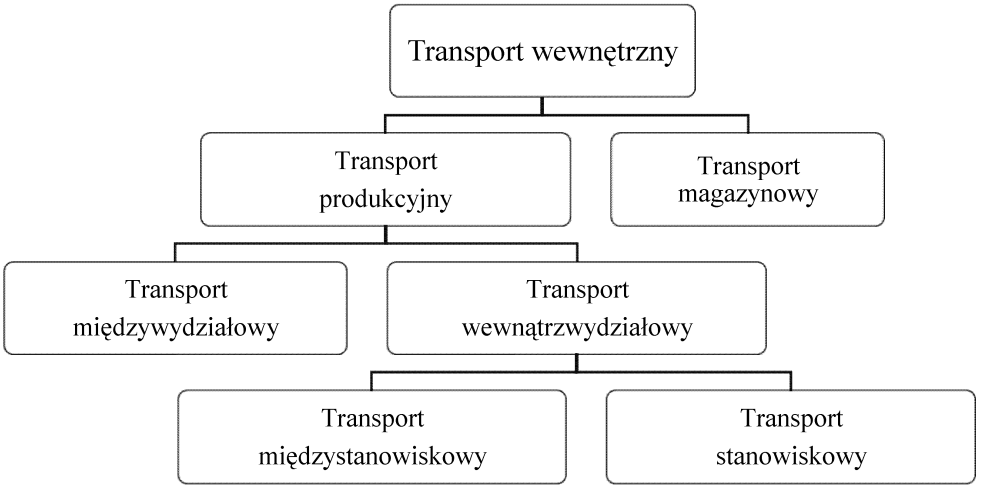
Organizacja transportu wewnętrznego

Transport wewnętrzny jest bardzo ważnym elementem procesu produkcyjnego, który w zasadniczym stopniu wpływa na możliwości produkcyjne, wyniki techniczno-ekonomiczne przedsiębiorstw przetwarzających biomasę. Bez właściwej organizacji i właściwego funkcjonowania transportu wewnętrznego niemożliwym jest osiągnięcie prawidłowej realizacji zadań produkcyjnych przedsiębiorstwa. Prawidłowo zorganizowany transport wewnętrzny powinien spełniać następujące funkcje:

- mechanizować możliwie dużą ilość prac transportowych,
- zapewniać ciągłość pracy linii technologicznych (np. produkcji pelt, brykietów), w szczególności poprzez zapewnienie wysokiej niezawodności pracy środków,
- zapewniać rytmiczną, zgodną z zapotrzebowaniem dostawę surowców do produkcji, opakowań i materiałów pomocniczych,
- minimalizować niekorzystny wpływ procesów transportowych na jakość i stan ładunków.

Transport wewnętrzny obejmuje wszystkie operacje transportowe wykonywane w obrębie zakładu produkcyjnego, od chwili przyjęcia surowców, poprzez operacje transportu produkcyjnego, do momentu wysłania gotowych produktów do klienta. Podział transportu wewnętrznego przedstawia rys. 64.

Transport produkcyjny obejmuje operacje transportowe obsługujące procesy produkcyjne i jest ściśle powiązany z procesem wytwarzania. Obejmuje on również transport na terenie zakładu produkcyjnego. Transport międzywydziałowy obejmuje operacje między poszczególnymi wydziałami oraz magazynami i polami składowymi lub odkładniczymi. Transport wewnątrzwydziałowy obejmuje wyłącznie operacje transportowe wewnątrz hal produkcyjnych. Obsługuje on również transport technologiczny. Natomiast transport magazynowy obejmuje wszystkie operacje transportowe związane z przyjęciem i wydaniem dóbr oraz ich składowaniem w magazynach i na składach. Do transportu magazynowego zaliczamy również transport w strefie sortowania, kompletacji i konfekcjonowania.

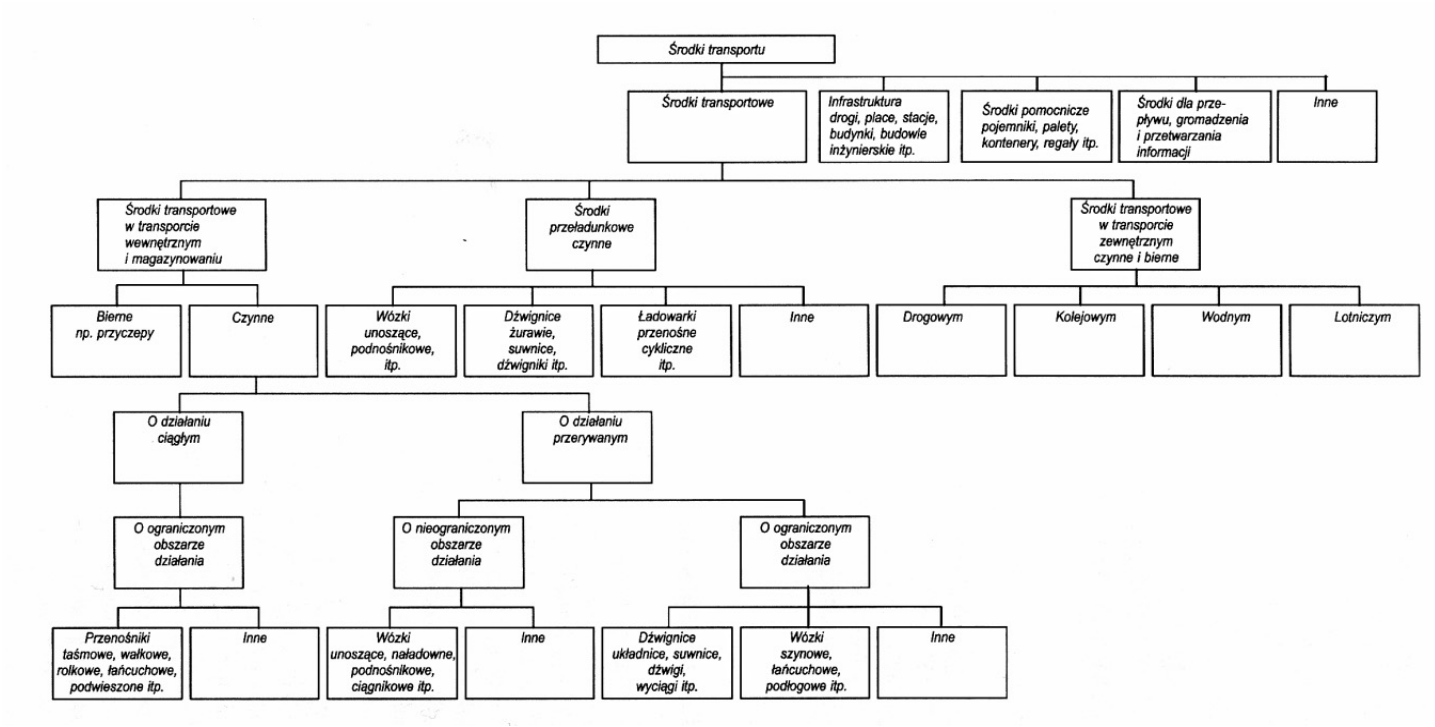


Rys. 64. Podział transportu wewnętrznego [Grzybowska 2009]

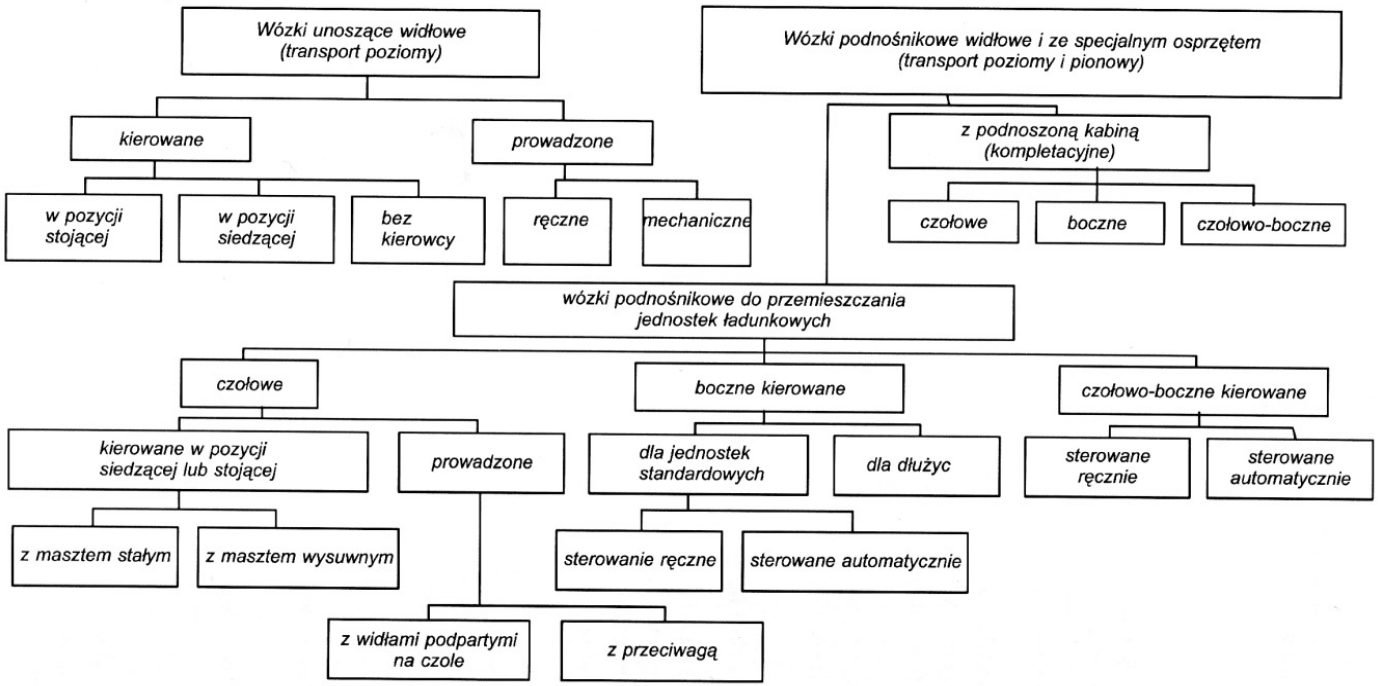
Transport wewnętrzny musi być dostosowany do przemieszczania jednostek ładunkowych oraz innych materiałów (np. sypkich, kawałkowych, płynnych). Podstawowy podział transportu wewnętrznego wynika ze sposobu oraz obszaru działania środka transportowego, który został przedstawiony na rys. 65.

Ze względu na sposób działania środki dzielą się na: środki transportu o działaniu ciągłym (przenośniki) oraz środki transportu o działaniu przerywanym (wózki, suwnice). Natomiast ze względu na obszar działania środki dzielą się na: środki transportowe o nieograniczonym sposobie działania (wózki jezdniowe), środki transportowe o ograniczonym sposobie działania (suwnice, dźwigi, układnice, wózki szynowe). Trzeci podział wynika ze zdolności realizowania pełnego cyklu transportowego, tzn. czy dany ładunek zdolny jest realizować pełny cykl transportowy (rys. 66), czy tylko niektóre jego elementy. Podział ten ma duże znaczenie z uwagi na uniwersalność i elastyczność układu transportowego.

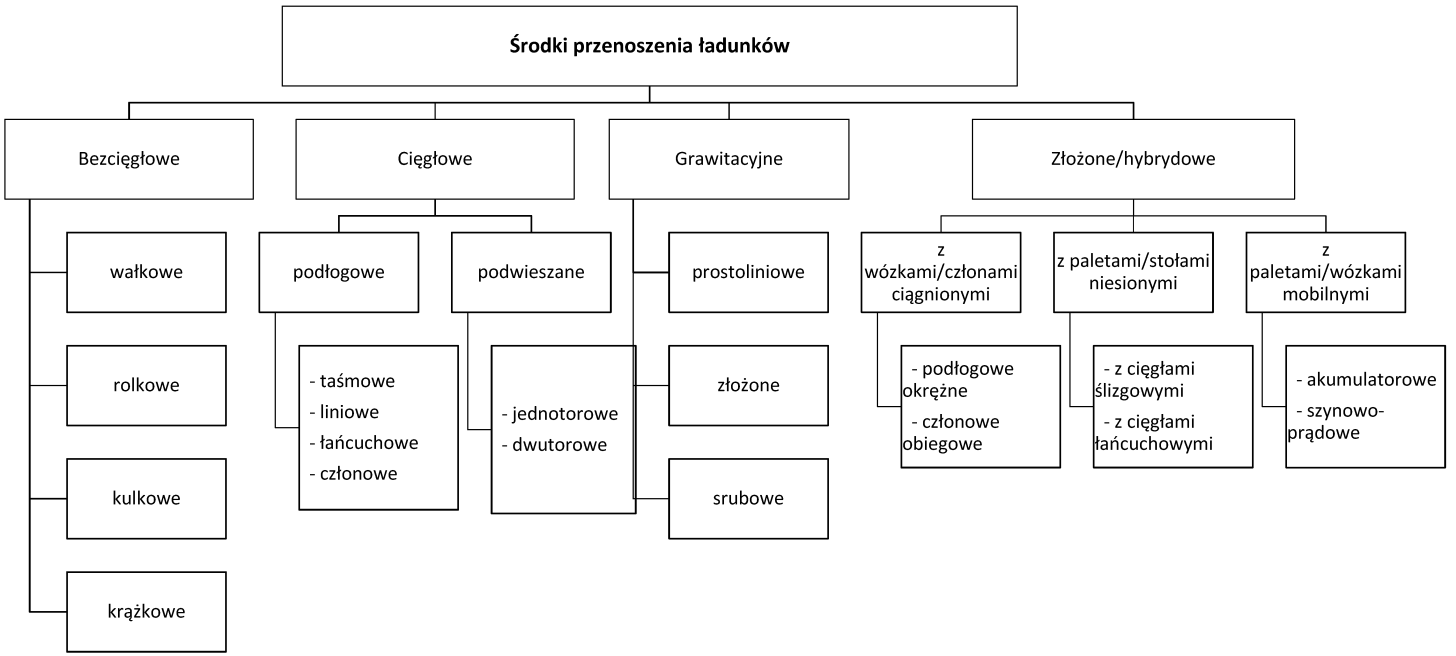
Organizacja i wybór odpowiedniego systemu transportu wewnętrznego zależą od indywidualnych potrzeb przedsiębiorstwa, jego warunków produkcyjnych oraz założeń ekonomicznych. W zależności od rozmieszczenia punktów nadania i odbioru wyróżniamy kilka systemów transportu wewnętrznego: wahadłowy, promieniowy i obwodowy. ***System wahadłowy*** ma miejsce w transporcie między dwoma punktami, gdzie regułą jest przewóz ładunków tylko w jedną stronę. Z kolei ***system promieniowy*** wiąże jeden punkt wysyłki (lub odbioru) z kilkoma punktami odbioru (lub wysyłki) – podobnie jak w systemie wahadłowym – charakteryzuje go zwykle jeden pusty przebieg. ***System obwodowy*** stosowany jest do utrzymania więzi transportowej między kilkoma punktami, a ruch środka jest zaplanowany według ustalonej trasy. Występują trzy przypadki organizacji: system obwodowy przewozu z malejącym potokiem, z rosnącym potokiem oraz o jednostajnym obciążeniu ładunkiem.



Rys. 65. Klasyfikacja środków transportu [Fiałkowski 2003]



Rys. 66. Uproszczona klasyfikacja wózków unoszących i podnośnikowych pod względem funkcjonalnym [Fiałkowski 2003]



Rys. 67. Mechaniczne środki przenoszenia surowców i jednostek ładunkowych. Źródło: [Korzeń 1998]

Przepływ strumienia materiałów jest obok przepływu strumienia informacji podstawowym czynnikiem integrującym elementy systemów bliskiego i magazynowania. Współczesne układy przenośnikowe (rys. 67) przystosowane do realizacji procesów transportu bliskiego surowców do produkcji lub jednostek ładunkowych (palety, pakiety, pojemniki worki itp.), winny umożliwiać przede wszystkim elastyczne i bezkolizyjne, fizyczne powiązania z wszystkimi podsystemami budującymi przestrzenną infrastrukturę logistyczną. Aby sprostać tym wymaganiom, nowoczesne przenośniki powinny spełniać następujące zasady:

– modułowość i segmentacja,
– prosta montowalność oraz minimalne potrzeby serwisowe,
– zdolność do automatycznego starowania,
– przystosowanie do wymogów ekologii i zasad bezpieczeństwa pracy.

Wybierając i projektując system transportu wewnętrznego w przedsiębiorstwie należy przede wszystkim analizować go pod kątem niezawodności i ekonomiczności. Ekonomiczność w transporcie polega na uzyskaniu najniższych kosztów przy jednoczesnym sprawnym i niezawodnym systemie transportu. Powinno się dążyć do tego, by w przedsiębiorstwie była jak najmniejsza różnorodność środków transportu. Sprzyja to bowiem właściwemu wykorzystaniu systemu transportu wewnętrznego. Opracowane zasady organizacji transportu wewnętrznego w przedsiębiorstwie [Popko i in. 1985; Fiałkowski 2003; Grzybowska 2009] mają na celu przede wszystkim: zapewnienie optymalnej wydajności pracy i minimalizację kosztów działalności tego systemu oraz optymalizację systemu produkcyjnego. Prawidłowa organizacja systemu transportu wewnętrznego powinna być podporządkowana 8 podstawowym zasadom:

Zasada jednokierunkowego przepływu materiałów

Jeśli jest to możliwe przepływ powinien być bez nawrotów i przecięć (skrzyżowań). Zalecane jest, aby strumień materiałów przepływał wzdłuż linii prostej w kształcie liter: I, L lub w kształcie liter S, U, Z.

Zasada eliminacji operacji transportowych

Projektując system transportu wewnętrznego lub analizując jego obecny stan, należy zastanowić się nad wyeliminowaniem niepotrzebnych czynności transportowych. Dąży się więc do tego, by operacje transportowe łączyć z operacją technologiczną.

Zasada najkrótszego przebiegu ładunków

Należy dążyć do zmniejszenia odległości między miejscami przeładunku. Ma to na celu skrócenie dróg transportowych i lepsze wykorzystanie powierzchni produkcyjnej. Krótsza trasa transportowa to krótszy czas poświęcany na jej przebycie, a więc i mniejsze koszty.

Zasada ciągłości przepływu materiałów lub eliminacji operacji przeładunkowych

Należy dążyć do utrzymania stałego ruchu ładunków, poprzez zastosowanie przenośników taśmowych lub innych urządzeń transportu ciągłego.

Zasada wykorzystania siły ciążenia

W systemach transportu wewnętrznego należy wykorzystywać prawa fizyki (prawo powszechnego ciążenia), gdzie strumień towarów i materiałów może przemieszczać się pod wpływem siły ciążenia. Siłę ciążenia można wykorzystać tam, gdzie nie wpływa to negatywnie na jakość końcowego wyrobu.

Zasada wykorzystania przestrzeni budynków

Należy dążyć do tego, by zwiększyć powierzchnie produkcyjną oraz wydajność produkcji, wykorzystując całą przestrzeń budynku.

Zasada właściwej konserwacji i remontów

W celu obniżenia wysokich kosztów utrzymania i eksploatacji systemu transportu wewnętrznego należy już na początku projektowania lub wyboru systemu zastanowić się nad wyposażeniem, jego konserwacją i kosztami utrzymania. Zasada ta dotyczy zarówno środków transportu, jak i dróg transportowych.

Zasada bezpieczeństwa pracy pracowników

Wszędzie tam, gdzie operacje transportowe stanowią zagrożenie dla pracownika, należy stosuje się systemy transportu wewnętrznego mechaniczne lub automatyczne.

Zaprojektowany system transportu wewnętrznego - zgodny z tymi zaleceniami - pozwoli na uzyskanie wysokiego stopnia wykorzystania środków transportu, optymalnego czasu pracy pracowników, niskich kosztów transportu wewnętrznego, niskiego poziom braków transportowych oraz optymalną organizację przepływu towarów w przedsiębiorstwie.

Metody doboru środków transportowych przy pozyskaniu biomasy

Organizacja pracy środków transportowych zaangażowanych przy zbiorze biomasy stwarza określone problemy natury technicznej i organizacyjnej. Jednym z podstawowych jest racjonalny dobór i wykorzystanie środków transportowych, to znaczy takie, które minimalizuje ich liczbę przy jednoczesnym zapewnieniu pełnej realizacji zadań przewozowych. Wybór najlepszego sposobu wykorzystania środka transportowego jest związany z dużą liczbą alternatywnych wariantów, co stwarza konieczność zastosowania odpowiednich metod poszukiwania optymalnych rozwiązań. Potrzeba odpowiedniego doboru środków transportowych do realizacji zadań przewozowych występuje w przypadku wprowadzenia nowych technologii zbioru biomasy jak również wyboru spośród posiadanych już środków transportowych tych, które w najwyższym stopniu spełniają wymagania danej technologii. W celu dokonania odpowiedniego doboru środka należy dokonać analizy możliwych wariantów w aspektach technicznych, technologicznych i ekonomicznych [Kuboń, Cupiał 2005]. Wybór kryterium optymalności zależy od celu badań oraz warunków zadania. W tabeli 44 przedstawiono wybrane kryteria optymalizacji transportu.

Tabela 44. Klasyfikacja kryteriów optymalizacji transportu

Grupa kryteriów	Kryterium	Zalecane warunki zastosowania
Czasowe	Minimum czasu trwania procesu transportowo-produkcyjnego	Przy ograniczonych terminach i terminowości przewozów (w tym, przy wykorzystaniu różnych rodzajów transportu)
	Maksimum wykorzystania efektywnego czasu pracy	Przy ograniczonych terminach i rezerwach w transporcie
Przebiegowe	Minimum ogólnego przebiegu	Przy opracowywaniu optymalnych schematów przewozu jednorodnych ładunków jednorodnym środkiem
	Minimum przebiegu bez ładunku lub maksymalnego wykorzystania przebiegu z ładunkiem	Przy ograniczonych terminach i rezerwach w transporcie i przy konieczności załadunku jazd powrotnych ładunkiem
	Minimum średniej odległości	Przy konieczności zapewnienia pracy transportowej i oszczędności materiałów eksploatacyjnych

Grupa kryteriów	Kryterium	Zalecane warunki zastosowania
Wydajności	Maksimum wydajności taboru	Przy ograniczonych terminach, dużych ilości przerabianego i przemieszczanego materiału
Zapotrzebowania na środki techniczne	Minimum zapotrzebowania na środki	Przy ograniczonych rezerwach w posiadanym taborze
Pracy	Minimum nakładów na wykonanie zadanej pracy	Przy ograniczonych rezerwach siły roboczej
	Maksimum wydajności pracy	Przy ograniczonych rezerwach siły roboczej i terminach robót
Nakładów	Minimum kosztów własnych wykonania przewozów	Przy ocenie ekonomicznej, przy wyborze racjonalnego typu taboru z posiadanego w gospodarstwie
	Minimum nakładów inwestycyjnych na środki techniczne	Jeżeli nie ma wątpliwości, że z punktu widzenia kosztów własnych zastosowanie danego wariantu jest równoważne z zastosowaniem innych

Źródło: [Mikucki 1988].

Każde z wymienionych kryteriów ma swoje wady i zalety. Dostępny na rynku szeroki wachlarz różnego rodzaju środków transportowych powoduje, że już nawet dla ustalonych technologii produkcji i warunków pracy szybko rośnie liczba dopuszczalnych wariantów wyposażenia w środki transportowe. Stąd też ocena tych wariantów, pod względem określonego kryterium optymalizującego wymaga zastosowania określonych metod. W praktyce wykorzystywane są cztery podstawowe metody doboru liczby środków transportowych [Kokoszka 1996]:

- ***dobór liczby środków przez porównanie wydajności*** maszyn polowych i środków transportowych (jest to metoda pracochłonna i zawodna, gdyż ocenę wydajności dla maszyn i środków transportowych przeprowadza się przed wykonaniem zadania),
- ***dobór ilości środków przez określenie składników czasu pracy*** środka związanych z maszynami pracującymi w polu i porównanie ich ze sobą (jest to metoda mniej pracochłonna od poprzedniej, polega na ustaleniu podstawowych składników czasu pracy środka transportowego. Metodą tą można wyliczyć liczbę potrzebnych środków w przypadku gdy: zestaw transportowy porusza się obok maszyny a materiał podawany jest na niego w sposób ciągły, przyczepa zagregatowana jest z maszyną zbierającą oraz w przypadku gdy przeładunek materiału odbywa się cyklicznie ze zbiornika maszyny na przyczepę),
- ***metody graficzne*** (wykresy, nomogramy) wykorzystujące składniki struktury czasu pracy zarówno maszyny jak i środka transportowego i dodatkowo pozwalające na zmiany w organizacji i wykorzystaniu środków (w praktyce ze względu na znaczną ilość parametrów oraz ich wysoką zmienność stosowanie nomogramów i wykresów jest bardzo ograniczone),
- metody programowania matematycznego pozwalające m. in. na określenie optymalnej struktury parku transportowego i potrzeb w zakresie taboru (np. zastosowanie programowania liniowego do optymalizacji struktury parku transportowego polega na określeniu zbioru zmiennych decyzyjnych, zbioru ograniczeń determinujących zbiór dopuszczalnych wartości, które mogą te zmienne przyjmować oraz kryterium optymalizującego umożliwiającego ocenę poszczególnych ciągów wartości zmiennych decyzyjnych) [Mikucki 1988].

Koszty procesów logistycznych

Koszty procesów logistyczne jako suma kosztów magazynowania biomasy, transportu i całego procesu zamówień stanowią podstawę rachunku w ekonomicznej ocenie efektywności działalności logistycznej przedsiębiorstw. Stąd sposób, zakres i metody ich kalkulowania stanowią ważne narzędzia w sterowaniu przepływem i magazynowaniem biomasy. Aby minimalizować wielkość ponoszonych kosztów logistyki należy precyzyjnie określić ich formułę, najlepiej w postaci funkcji analitycznej, która może być dokładnie badana i analizowana za pomocą metod rachunku ekonomicznego [Ficoń 2001].

Koszty logistyki wynikają ze zużycia zasobów (pracy ludzi, materiałów, budynków, maszyn) w operacjach logistycznych realizowanych w zakresie logistycznej obsługi przepływu materiałów, produkcji w toku, wyrobów gotowych oraz utrzymywanych zapasów. Koszty logistyki powstają również w konsekwencji wydatków finansowych na wszelkie opłaty, licencje, odsetki od kredytów na zakup materiałów jak również odsetki od zamrożonego kapitału w zapasach. Koszty logistyki stanowią również podstawowe miernik ilościowy sprawności i nowoczesności procesów logistycznych i dlatego tak ważna jest ich precyzyjna identyfikacja i szczegółowa analiza zgodna z aktualnymi potrzebami. Mają one duży wpływ na ogólny rezultat działalności gospodarczej przedsiębiorstwa oraz na kształtowanie końcowego wyniku finansowego decydującego o poziomie rentowności przedsiębiorstwa. Według Sarjusza-Wolskiego i Skowronka [2000] celem wyodrębnienia kosztów logistyki jest ustalenie:

- związku kosztów z podstawowymi rodzajami procesów logistycznych,
- struktury rodzajowej kosztów,
- zmienności poszczególnych grup kosztów w stosunku do wielkości przepływu materiałów lub utrzymania zapasów,
- miejsca powstawania kosztów,
- wykorzystania kosztów w poszczególnych decyzjach logistycznych.

Zasadnicza klasyfikacja kosztów logistyki dostaw, uwzględniająca kryterium składników procesów logistycznych, pozwala wyróżnić trzy grupy kosztów:

- koszty fizycznego przepływu materiałów,
- koszty zapasów,
- koszty procesów informacyjnych.

Koszty fizycznego przepływu obejmują koszty od pozyskania surowców (biomasy) i materiałów, poprzez logistyczną obsługę produkcji (produkcja pelet, brykietu), po dostarczenie odbiorcy produktów i obsługę klienta. Koszty te determinowane są rozmiarami infrastruktury technicznej przepływu, zaangażowaniem zasobów pracy w procesach przepływu, zużyciem materiałów (w tym paliwa i energii) w procesach transportowych i manipulacyjnych.

Koszty przepływu materiałowego najczęściej są ewidencjonowane w układzie rodzajowym jako suma:

- kosztów amortyzacji majątku trwałego zaangażowanego w procesie logistycznym,
- kosztów pracy obliczane jako iloczyn wielkości zatrudnienia w procesie logistycznym i przeciętnego wynagrodzenia wraz z narzutami,
- kosztów zużycia materiałów, paliw i energii, które są sumą zużycia poszczególnych czynników produkcji,
- innych kosztów przepływu materiałów (np. z tytułu podatku od nieruchomości),
- kosztów usług zewnętrznych (np. transportowych lub magazynowych).

Koszty zapasów są bardzo ważnym składnikiem kosztów, gdyż utrzymywane w różnych miejscach systemu logistycznego, oddziaływają na poziom usług, jaki przedsiębiorstwo może oferować klientom, a także zapewniające ciągłość procesu produkcyjnego. Z punktu widzenia ekonomiki przedsiębiorstwa zapasy, choć są niezbędne ze względów organizacyjno-technicznych, stanowią wielkie marnotrawstwo środków kapitałowych i zasobów materiałowych. Zapasy zakłócają intensywność przepływów fizycznych i zmniejszają prędkość cyklu rotacji. W tym sensie obniżają sprawność procesów logistycznych i jednocześnie generują konieczność ponoszenia określonych kosztów i nakładów. Na ogólne koszty zapasów składają się: koszty gromadzenia, utrzymania i wyczerpania zapasów.

Koszty procesów informacyjnych, obok kosztów przepływów fizycznych i kosztów zapasów, stanowią trzeci podstawowy składnik kosztów logistyki przedsiębiorstwa. Koszty procesów informacyjnych wynikają z konieczności obsługi coraz bardziej złożonych procedur gromadzenia i przetwarzania informacji gospodarczych oraz eksploatacji komputerowych systemów informatycznych wspomagających zarządzenie procesami gospodarczymi.

Największy udział w strukturze kosztów przepływów fizycznych mają koszty transportu biomasy, na które składają się zarówno koszty transportu wewnętrznego, zewnętrznego jak i koszty manipulacyjne procesów transportowych. Na wysokość tych kosztów wpływa wiele czynników, wśród których do najważniejszych należą: odległość transportu, podatność transportowa ładunku, rodzaj środka transportowego oraz stopień wykorzystania środka transportu (wykorzystanie ładowności, przebiegu). Potwierdzają to m.in. badania Sariusza-Wolskiego i Skowronka [2003] które dowodzą, że koszty przepływów fizycznych kształtują się na poziomie 40-50% kosztów ogólnych, koszty zapasów 30-40%, a koszty procesów informacyjnych 15-20%.

Wymienione rodzaje kosztów mogą być również grupowane według faz przepływu materiałów, tzn. fazy zaopatrzenia i gospodarki materiałowej, fazy produkcji i dystrybucji.

Koszty fazy zaopatrzenia i gospodarki to koszty związane z organizacją i realizacją dostaw biomasy oraz utrzymania zapasów surowców do produkcji. W kosztach tych zawarte są również koszty procesów informacyjnych.

Koszty fazy produkcji wynikają z zaopatrzenia materiałów procesów produkcji, obsługi przepływu materiałowego w procesie produkcji oraz przekazania produktów do magazynu wyrobów gotowych lub wprost do sprzedaży.

Koszty fazy dystrybucji, to koszty które powstały w wyniku przemieszczania wyrobów gotowych, półproduktów i części zamiennych do miejsc wytwarzania (fazy produkcji) do miejsc konsumpcji. Koszty te obrazują koszty przepływów przepływu, zapasów i procesów informacyjnych.

Oceny działania systemu logistycznego można dokonać według kryteriów ekonomicznych, czasowych i rzeczowych. W ramach określonej strategii logistycznej przedsiębiorstwa wykorzystuje się odpowiednie wskaźniki logistyczne do których należy:

- skrócenie czasu przepływu i realizacji zlecenia oraz czasów międzyoperacyjnych w obrębie wszystkich ogniw łańcucha logistycznego,
- redukcja zapasów magazynowych;
- osiągnięcie wyrównanego poziomu wykorzystania istniejących zdolności produkcyjnych i transportowych,

– zapewnienie wysokiego poziomu usług i stałej jakości w realizacji procesów logistycznych, niezbędnych dla sprawnego przemieszczania dóbr w ramach określonego łańcucha logistycznego,
– minimalizacja kosztów związanych z realizacją procesów logistycznych i przepływem materiałów.

W systemie wskaźników logistycznych należy zwracać szczególną uwagę na wskaźniki produktywności i potencjału produkcyjnego. Ocenę jakościową transportu stanowią elementy lub czynniki wpływające na obsługę dostaw, a za wskaźniki cząstkowe przyjmuje się koszty transportu, dysponowany czas pracy oraz możliwości przewozu ładunku. Natomiast w ocenie ilościowej o efektywności decydują takie wskaźniki jak wykonane kilometry, liczba wykonanych przewozów, rzeczywisty czas trwania przewozu oraz rzeczywisty ładunek [Nowicka-Skowron 2000].

Dla oceny podsystemu logistycznego „transport biomasy" można wykorzystać następujące mierniki i wskaźniki logistyczne [Twaróg 2002, 2005]:

a) **miernik/wskaźniki i produktywności i sprawności działania transportu oraz poziomu wykorzystania środków transportowych:**
   – czas transportu na l zlecenie transportowe,
   – stopień wykorzystania środków transportu (ładowności, przebieg, czasu pracy),
   – wydajność środków transportu,
   – liczbę kilometrów na l środek transportu,
   – liczbę obsłużonych odbiorców na trasę,
b) **mierniki/wskaźniki ekonomiczne**:
   – koszty transportu na l zlecenie transportowe,
   – przeciętne koszty transportu na l tony na odległość 1 km,
   – koszty jednostkowe tonokilometra,
   – udział kosztów transportu w kosztach realizacji zamówienia,
   – udział kosztów transportu w kosztach całkowitych łańcucha dostaw,
   – koszty transportu na jednostkę wartości przewożonych materiałów (wyrobów gotowych),
   – przeciętne koszty utrzymania środka transportu na jednostkę czasu.
c) **mierniki/wskaźniki jakości realizowanych operacji transportowych:**
   – dysponowany czas pracy,
   – terminowość przewozów,
   – niezawodność transportu,
   – liczba uszkodzeń podczas transportu,
   – elastyczność transportu.

Bibliografia

Coyle J., Bardi E., Langley C. 2001. Zarządzanie logistyczne. PWE. Warszawa.

Dębski S. 1996. Ekonomika i organizacja przedsiębiorstw. Cz. I i II. WSiP. Warszawa.

Fiałkowski J. 2003. Transport wewnętrzny w systemach logistycznych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa.

Ficoń K. 2001. Procesy logistyczne w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Impuls Plus Consulting. Gdynia.

Furuseth K.O., Gislerud O. 1980. Small–scale chip heating – preliminary experience. International Forestry Energy Meeting, Jönköping.
Gradziuk P., Kościk K. 2007. Analiza możliwości i kosztów pozyskania biomasy na cele energetyczne na potrzeby energetycznego wykorzystania w Gminie Cmolas. Maszynopis. Gołovkov S.T., Koperin J.F., Najdenov V.J. 1987. Energetičeskoe ispolzowanie drewesnych otchodov. Lesnaja promyšlennost'. Moskva.
Grzybowska K. 2009. Podstawy logistyki. Difin. Warszawa.
Heizer J., Render B. 1993. Production and Operations Management. Allyn and Bacon. Boston.
Jakubowski L. 2003. Technologia prac ładunkowych. Oficyna Politechniki Warszawskiej. Warszawa.
Juliszewski T., Kwaśniewski D. Kuboń M. 2004. Symulacja kosztów transportu tradycyjnych nośników energii i biomasy do celów grzewczych. Inżynieria Rolnicza. Nr 3(58). Kraków.
Juliszewski T. 2009. Ogrzewanie biomasą. PWRiL. Poznań.
Kisperska-Moroń D. 1998. Podstawy podejmowania decyzji logistycznych w przedsiębiorstwie. Akademia Ekonomiczna w Katowicach. Maszynopis.
Kokoszka S. 1996. Transport rolniczy. Przewodnik do ćwiczeń. Wydawnictwo AR Kraków. Kraków.
Korzeń Zb. 1998. Logistyczne systemy transportu bliskiego i magazynowania. Biblioteka Logistyka. Poznań.
Kokoszka S.; Kuboń M.; Sęk S. 2002. Wpływ mechanizacji prac ładunkowych na efektywność pracy środków transportowych. Inżynieria Rolnicza. Nr 6. Warszawa.
Kowalski St., Tabor S. 2003. Koszty logistyczne w wybranych gospodarstwach rolniczych. Inżynieria Rolnicza. Nr 10(52). Kraków.
Kuboń M. 2006. Koszty oraz formy obsługi transportowej gospodarstw rolniczych jako podstawowy element kosztów logistycznych. Inżynieria Rolnicza 13(88). Kraków.
Kuboń M. 2008. Potencjał magazynowy oraz jego wykorzystanie w przedsiębiorstwach rolniczych. Inżynieria Rolnicza. Nr 2(100). Kraków.
Kuboń M.; Cupiał M. 2005. Założenia wejściowe do programu optymalizującego dobór liczny środków transportowych dla gospodarstw rolniczych. Inżynieria Rolnicza 14(74). Kraków
Midur L. 2004. Współczesne technologie transportowe. Wydawnictw Politechnika Radomska. Radom.
Mikucki K. 1988. Kryteria optymalizacji transportu rolniczego. Mechanizacja Rolnictwa. Nr 7-8. Warszawa
Nowicka-Skowron M. 2000. Efektywność systemów logistycznych. PWE. Warszawa.
Pietraszewski M. 1995. Ekonomika i organizacja przedsiębiorstwa przemysłowego. Praca zbiorowa. Poznań.
Piotrowski K.; Wiltowski T, Mondał M. 2004. Transport biomasy. Czysta Energia. Nr 10. Warszawa.
Popko H. i in. 1985. Maszyny przemysłu spożywczego – transport wewnątrzzakładowy. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Lubelskiej. Lublin.
Skowronek Cz.; Sariusz-Wolski Z. 2000. Logistyka – poradnik praktyczny. CIM. Warszawa.
Skowronek Cz.; Sariusz-Wolski Z. 2003. Logistyka w przedsiębiorstwie. Wyd. III. PWE. Warszawa.
Sztyber J. 2005a. Wpływ właściwości zrębków drzewnych na ich transport i przechowywanie. Technika Rolnicza, Ogrodnicza, Leśna. Nr 4. Warszawa.
Sztyber J. 2005b. Przechowywanie zrębków drzewnych w stosach. Czysta Energia. Nr 41. Warszawa.
Tabor S., Kuboń M. 2004. Kierunek produkcji a koszty logistyki w wybranych gospodarstwach rolniczych. Inżynieria Rolnicza 4(59). Kraków.
Twaróg J. 2002. Wskaźnikowa ocena transportu w przedsiębiorstwie. Problemy Ekonomiki Transportu. Nr 3/4. Warszawa.
Twaróg J. 2005. Mierniki i wskaźniki logistyczne. Biblioteka Logistyka. Poznań.
Tymiński J. 1997. Wykorzystanie odnawianych źródeł energii w Polsce do roku 2030. IBMER. Warszawa.
Wajszczuk K. 2006. Analiza komparatywna kosztów logistyki w przedsiębiorstwie rolno-ogrodniczym. Roczniki Naukowe Seria A. Tom VIII. Zeszyt 1. Poznań.

Strony internetowe:

Palata EUR (on-line 2010). Dostęp [05-05-2010]. Dostępny w Internecie: http://www.e-paleta.pl/europaleta.gif
Załadunek drewna (on-line) 2010. Dostęp [05-05-2010]. Dostępny w Internecie: http://www.samochodyswiata.pl/viewtopic.php
Ładowacz czołowy (on-line) 2010. Dostęp [05-05-2010]. Dostępny w Internecie: http://www.kompostpal.com.pl/images/transport.jpg
Załadunek pelet (on-line). 2010. Dostęp [05-05-2010]. Dostępny w Internecie: http://www.paliwadrzewne.pl/index.php
Transport biomasy (on-line 2010). Dostęp [05-05-2010]. Dostępny w Internecie: www.skup-zlomu.atadres.com/biomasa201.jpg
Transport pelet (on-line) 2010. Dostęp [05-05-2010]. Dostępny w Internecie: http://www.paliwadrzewne.pl/index.php
Przewóz biomasy (on-line 2010). Dostęp [05-05-2010]. Dostępny w Internecie: www.skup-zlomu.atadres.com/biomasa201.jpg
Zestawy specjalistyczne do przewozu drewna (on-line 2010). Dostęp [17-04-2010]. Dostępny w internecie: http:// www.huttner.de/produkte/bilder/ko_kombi_link.jpg
Załadunek słomy (on-line 2010). Dostęp [10-02-2010]. Dostępny w internecie: http:// www.kompostpal.com.pl/images/transport.jpg
Transport słomy (on-line 2010). Dostęp [10-02-2010]. Dostępny w internecie: http://www.takspol.com.pl/images/prasy/bigis/000000.jpg; http://www.hydro-masz.pl/wp-content/ uploads/2009/03/wozek1-300x225.jpg
Transport odpadów organicznych stałych i płynnych (on-line) 2010. Dostęp [10-02-2010]. Dostępny w internecie: http://www.stalmark.eu/images/przyczepa.jpg; http://www.agratrans.pl/uploads/rys2.jpg
Tworzenie pryzm (on-line). 2010. Dostęp [05-05-2010]. Dostępny w Internecie: http://www.kpodr.pl/roslinna/inne/foto/sloma.jpg; http://www.brykietowanie.com/biomasa/sloma_stog_1.jpg
Składowanie bel (on-line). 2010. Dostęp [05-05-2010]. Dostępny w Internecie: http://www.apra.pl/agroenergetyka/files/image/numery/ 2009/3/sloma_2_1.jpg;

Informacje o autorach

1. dr inż. Leszek Bartkowicz
Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Leśny

Adiunkt w Katedrze Szczegółowej Hodowli Lasu. Specjalista z leśnictwa - hodowla lasu.
Zainteresowania i ważniejsze osiągnięcia naukowe dotyczą interakcje międzygatunkowych w drzewostanach wielopiętrowych oraz heterogenność przestrzenna starodrzewów. Badania z powyższego zakresu wykazały, iż zdolność gatunków drzew do tworzenia wielowarstwowego pułapu koron nie jest uwarunkowana ich wymaganiami świetlnymi. Wskazano również na możliwe mechanizmy trwałej koegzystencji gatunków o różnych wymaganiach ekologicznych bez udziału wielkopowierzchniowych zaburzeń warstwy drzew.
e-mail: l.bartkowicz@ur.krakow.pl

2. prof. dr hab. inż. Jarosław Frączek
Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki

Kierownik Katedry Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki. Specjalista z zakresu agrofizyki, cyfrowej obróbki obrazu, produkcji i oceny jakości biopaliw stałych.
Kierownik Studiów Podyplomowych „Wykorzystanie biomasy na cele energetyczne". Wieloletni przewodniczący krakowskiego Oddziału Polskiego Towarzystwa Agrofizycznego. Organizator cyklicznych konferencji „Agrofizyczne badania materiałów roślinnych". Autor wielu publikacji w uznanych czaspismach naukowych (w tym z listy filadelfijskiej), dotyczacych tarcia materiałów roślinnych oraz fizycznych właściwości roślinnych materiałów sypkich. Kierownik projektu badawczego dotyczącego minimalizacji nakładów energetycznych w czasie produkcji pelet i brykietów.
e-mail: Jaroslaw.Fraczek@ur.krakow.pl

3. prof. dr hab. inż. Tadeusz Juliszewski
Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki

Dyrektor Instytutu Eksploatacji Maszyn, Ergonomii i Procesów Produkcyjnych. Specjalista z zakresu ergonomii i produkcji surowców żywnościowych i nieżywnościowych.
Dziekan Wydziału Inżynierii Produkcji i Energetyki (wcześniej Prodziekan). W latach 1999-2001 Prezydent Międzynarodowej Organizacji ds. Naukowej Organizacji Pracy w Rolnictwie (*CIOSTA – Commission Internationale Organisation Scientifique du Travail en Agriculture*). W latach 2002-2006 Przewodniczący V Sekcji CIGR (*Commission Internationale du Génie Rural)* tj. Sekcji Zarządzania, Ergonomii i Inżynierii Systemów (*Management, ergonomics and system engineering*). Członek Zarządu Komitetu Ergonomii przy Prezydium Polskiej Akademii Nauk. Autor książek :„Ogrzewanie biomasą" i „Biopaliwo rzepakowe".
Współinicjator kształcenia *e-learningowego* w Uczelni.
e-mail: Tadusz.Juliszewski@ur.krakow.pl

4. **dr inż. Jan Karczmarski**
Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Leśny

Adiunkt w Katedrze Szczegółowej Hodowli Lasu. Specjalista z leśnictwa – hodowla lasu.

Zainteresowania i ważniejsze osiągnięcia naukowe dotyczą naturalnego kierunku hodowli lasu, budowy i struktury górnoreglowych drzewostanów świerkowych, wzrostu i przyrostu drzewostanów pod wpływem imisji przemysłowych. Autor 28 publikacji o charakterze naukowym i popularno-naukowym.

e-mail: j.karczmarski@ar.krakow.pl, karczmarski@wp.pl

5. **dr inż. Magdalena Kacprzyk**
Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Leśny

Pracownik Katedry Ochrony Lasu i Klimatologii Leśnej. Specjalistka z zakresu ochrony lasu

Prowadzi badania naukowe dotyczące ochrony lasów górskich, biologii i ekologia korników (*Scolytinae*) oraz profilaktyki dyspozycyjnej w ochronie lasu.

e-mail: m.kacprzyk@ur.krakow.pl

6. **dr inż. Zbigniew Kołodziej**
Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Leśny

Adiunkt w Katedrze Szczegółowej Hodowli Lasu. Specjalizacja z leśnictwa - hodowla lasu.

zainteresowania i ważniejsze osiągnięcia naukowe oraz zawodowe: fotografia, ornitologia, ochrona przyrody i sieć Natura 2000

e-mail: rlkolodz@cyf-kr.edu.pl

7. **dr hab. inż. Barbara Krzysztofik, prof. UR**
Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki

Profesor w Instytucie Eksploatacji Maszyn, Ergonomii i Procesów Produkcyjnych. Specjalistka w dziedzinie inżynierii rolniczej w zakresie inżynierii przetwórstwa rolno-spożywczego oraz agrofizyki.

Zainteresowania i ważniejsze osiągnięcia naukowe dotyczą oceny właściwości, przechowalnictwa i logistyki surowców pochodzenia rolniczego; przetwórstwa rolno-spożywczego pod kątem nakładów surowcowych i energetycznych; bezpieczeństwa żywności na etapie produkcji oraz funkcjonowania systemu HACCP.

e-mail: Barbara.Krzysztofik@ur.krakow.pl

8. dr inż. Maciej Kuboń,

Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki

Adiunkt w Instytucie Inżynierii Rolniczej i Informatyki. Specjalista w zakresie logistyki i transportu rolniczego.

Sekretarz Redakcji czasopisma „Inżynieria Rolnicza", członek Zarządu Głównego i skarbnik Polskiego Towarzystwa Inżynierii Rolniczej, członek SITR.

Zainteresowania i ważniejsze osiągnięcia naukowe dotyczą aktualnego stanu i możliwości rozwoju usług transportowych na terenach wiejskich, problemów organizacji i ekonomiki transportu, zastosowania nowoczesnych technik i technologii transportu, logistyki, controlingu logistycznego oraz metodologii badań naukowych. Autor i współautor 74 publikacje o zasięgu krajowym i międzynarodowym.

e-mail: Maciej.Kubon@ur.krakow.pl

9. dr inż. Dariusz Kwaśniewski,

Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki

Adiunkt w Instytucie Inżynierii Rolniczej i Informatyki. Specjalista w zakresie organizacji i ekonomiki w inżynierii rolniczej

Zainteresowania i ważniejsze osiągnięcia naukowe dotyczą pozyskiwania biomasy do celów grzewczych, wykorzystania odnawialnych źródeł energii (biomasy) w rolnictwie oraz technologicznej i ekologicznej modernizacja gospodarstw rolniczych. Autor i współautor 55 publikacji naukowych.

e-mail: Dariusz.Kwasniewski@ur.krakow.pl

10. dr inż. Krzysztof Mudryk

Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki

Adiunkt w Katedrze Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki. Specjalista z zakresu inżynierii rolniczej – agrofizyki.

Sekretarz studiów podyplomowych „Wykorzystanie biomasy na cele energetyczne", opiekun Koła Naukowego Techniki Rolniczej sekcja Agrofizyka, skarbnik Polskiego Towarzystwa Agrofizycznego oddział Kraków.

Prowadzi badania dotyczące właściwości fizycznych biomasy z roślin energetycznych oraz analizy procesów przetwarzania biomasy na paliwa kompaktowane ze szczególnym uwzględnieniem energochłonności poszczególnych etapów technologii. Udział w projektach badawczych dt. optymalizacji nakładów energetycznych w produkcji biopaliw stałych.

email: Krzysztof.Mudryk@ur.krakow.pl

11. dr inż. Maciej Pach

Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Leśny

Adiunkt w Katedrze Szczegółowej Hodowli Lasu. Specjalista z leśnictwa – hodowla lasu.

Zainteresowania i ważniejsze osiągnięcia naukowe dotyczą naturalnego kierunku hodowli lasu, oddziaływaniań między- i wewnątrz-gatunkowych drzew leśnych w drzewostanach jedno- i wielogatunkowych, wzrostu i produkcyjności górskich drzewostanów mieszanych, budowy i struktury lasów o charakterze pierwotnym, plantacji drzew i krzewów szybkorosnących.

e-mail: rlpach@cyf-kr.edu.pl

12. dr inż. Norbert Pedryc

Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki

Adiunkt w Katedrze Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki. Specjalista z zakresu diagnostyki technicznej, mechatroniki.

Zainteresowania naukowe dotyczą diagnostyki maszyn leśnych oraz sieci informatycznych w maszynach leśnych

e-mail: Norbert.Pedryc@ur.krakow.pl

13. dr hab. inż. Jerzy Skrzyszewski

Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Leśny

Pracownik Katedry Szczegółowej Hodowli Lasu. Specjalista z leśnictwa – hodowla lasu.

Główne zainteresowania naukowe dotyczą wykorzystania cech jakościowych drzew do oceny żywotności i wartości hodowlanej drzewostanów; określenia zależności pomiędzy cechami biometrycznymi, a wzrostem i rozwojem drzew; optymalizacji zabiegów hodowlanych pod kątem produkcyjności, jakości produkowanego surowca oraz odporności drzewostanu na szkody abiotyczne; dynamiki rozwoju systemów korzeniowych drzew leśnych w okresie młodocianym oraz jej wpływu na wzrost i żywotność w wieku dojrzałym.

Opracował wdrożone w praktyce zasady przebudowy drzewostanów nasiennych świerka pod kątem etapów przebudowy i zachowania populacji selekcyjnych oraz był współautorem zasad przebudowy drzewostanów świerkowych w Beskidzie Śląskim i Żywieckim.

e-mail: rlskrzys@cyf-kr.edu.pl

14. dr inż. Anna Szeląg-Sikora

Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki

Adiunkt w Instytucie Inżynierii Rolniczej i Informatyki. Specjalistka z zakresu organizacji i ekonomika mechanizacji w inżynierii rolniczej.

Sekretarz Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej, Pełnomocnik Dziekana ds. Promocji. W badaniach zajmuje się problematyką związaną z subwencjonowaniem rolnictwa w ramach funduszy unijnych, modernizacją zaplecza technicznego gospodarstw, grupami producenckimi oraz rolniczą produkcją ekologiczną.

e-mail: Anna.Szelag-Sikora@ur.krakow.pl

15. dr inż. Marek Wróbel

Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki

Adiunkt w Katedrze Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki. Specjalista z zakresu inżynierii rolniczej – agrofizyki oraz projektowanie terenów zieleni.

Zainteresowania i ważniejsze osiągnięcia naukowe dotyczą zagadnień związanych z przetwarzaniem biomasy na cele energetyczne, wykorzystanie komputerowej analizy obrazu w badaniach agrofizycznych oraz z optymalizacją procesów produkcji biopaliw kom paktowanych.

e-mail: Marek.Wrobel@ur.krakow.pl

16. prof. dr hab. Wojciech Ząbecki

Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Leśny

Kierownik Katedry Ochrony Lasu i Klimatologii Leśnej. Specjalista z zakresu ochrona lasu

Jego główne zainteresowania naukowe koncentrują się wokół powiązań między szkodliwymi czynnikami abiotycznymi i antropogenicznymi w lasach, a owadami kambio- i ksylofagicznymi oraz ekologicznymi uwarunkowaniami kształtowania się zgrupowań owadów nadrzewnych. Zorganizował i jest kierownikiem studiów podyplomowe „Plantacyjna uprawa drzew i krzewów szybkorosnących". Oprócz wykładów na macierzystym Wydziale Leśnym prowadzi działalność edukacyjną dla potrzeb administracji leśnej, poprzez szkolenia dla pracowników Lasów Państwowych z zakresu aktualnych metod ochrony drzewostanów przed szkodami ze strony czynników biotycznych i abiotycznych. Ponadto prowadził wykłady w kilku ośrodkach akademickich z zakresu „Wyceny drzew i drzewostanów". Był zatrudniony jako ekspert w certyfikacji gospodarki leśnej.

e-mail: rlzabeck@cyf-kr.edu. pl