

POLSKIE TOWARZYSTWO INŻYNIERII ROLNICZEJ
WYDZIAŁ INŻYNIERII PRODUKCJI I ENERGETYKI
UNIwersytet Rolniczy w Krakowie

Jerzy Langman

**WYBRANE ZAGADNIENIA
DIAGNOSTYKI TECHNICZNEJ
W INŻYNIERII ROLNICZEJ**
(monografia)

Recenzenci:

Prof. dr hab. Kazimierz Dreszer – UP Lublin

Prof. dr hab. Jerzy Napiórkowski – UWM Olsztyn

Pracę wykonano w Katedrze Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki
Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie

© Copyright by Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, listopad 2012
ISBN 978-83-935020-0-4

Opracowanie redakcyjne
Dr hab. inż. Maciej Kuboń

Druk i oprawa:
DRUKROL S. C., Kraków, ul. Ujastek 9
tel./fax (12) 412 46 50
<http://www.drukrol.pl>; e-mail: drukarnia.drukrol.pl
ark. wyd. 8,5; ark. druk. 7,5
nakład: 150 egz.

*Żonie
i Tym Wszystkim,
którzy mnie motywowali*

Spis treści

1. MASZYNA ROLNICZA JAKO OBIEKT DIAGNOSTYCZNY	7
1.1. Przykładowe rozwiązania komputerów pokładowych	11
1.2. Diagnostyka pokładowa opryskiwaczy	16
1.3. Rozsiewacze nawozów mineralnych	19
1.4. Charakterystyka przykładowych komputerów pokładowych	21
1.5. Przykładowe rozwiązania przesyłania informacji w komputerach pokładowych	24
2. STANDARD ISO 11783 –ISOBUS	28
2.1. Okablowanie magistrali CAN	30
2.2. Monitor – funkcje i obrazowanie	32
2.3. OBD II w ciągnikach rolniczych	34
3. KONCEPCJA SYSTEMU DIAGNOSTYCZNEGO OPRACOWANEGO NA POTRZEBY EKSPLOATACJI MASZYN ROLNICZYCH	36
4. KONCEPCJA SYSTEMU OPERACYJNEGO KOMPUTERA POKŁADOWEGO AGREGATU ROLNICZEGO	39
5. MODELE FUNKCJONALNE DLA POTRZEB DIAGNOSTYKI	42
5.1. Budowa modeli funkcjonalnych	42
5.2. Przykładowe modele funkcjonalne sprzętu rolniczego	43
5.2.1. Model funkcjonalny opryskiwacza	43
5.2.2. Model funkcjonalny siewnika punktowego Monosem	48
5.2.3. Model funkcjonalny ciągnika rolniczego	50
6. PROCES DIAGNOSTYCZNY OPRYSKIWACZA POŁOWEGO	54
6.1. Określenie minimalnej ilości testów diagnostycznych do kontroli stanu opryskiwacza	54
6.2. Diagnostyka rozpylaczy płaskostrumieniowych	57
6.2.1. Stanowiskowa diagnostyka rozpylaczy płaskostrumieniowych	57
6.2.2. Czujnik do ciągłego nadzoru funkcjonowania rozpylacza	61
7. WYBRANE PRZYKŁADY DIAGNOSTYKI UKŁADÓW HYDRAULICZNYCH	64
7.1. Diagnostyka układu hydraulicznego sterowanego elektrycznie	64
7.2. Diagnostyka zębatach pomp hydraulicznych	68
8. DIAGNOSTYKA WYBRANYCH OBIEKTÓW TECHNICZNYCH	71
8.1. Bezhamulcowe określanie mocy małych silników spalinowych	71
8.2. Propozycja warsztatowego przyrządu do określania zawartości paliwa w oleju silnikowym	78
8.3. Przykład diagnostyki on-line	81
8.3.1. Moduł Peltiera	81
8.3.2. Diagnostyka on-line modułu Peltiera	82

9. ZASTOSOWANIE SZTUCZNYCH SIECI NEURONOWYCH W DIAGNOSTYCE I ELIMINACJI ZAKŁÓCEŃ W PROCESACH POMIAROWYCH	86
9.1. Diagnostyka objawowa siewnika pneumatycznego	90
9.2. Diagnostyka skrzyń przekładniowych maszyn rolniczych	95
9.3. Sterowanie zespołami ciągnika z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych	97
9.4. Eliminacja zakłóceń pomiarowych z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych	101
9.5. Diagnostyka procesów przetwórczych	106
9.5.1. Sztuczna inteligencja w procesie diagnostycznym	106
9.5.2. Podstawowe schematy diagnostyki procesów	107
10. BIBLIOGRAFIA	110
STRESZCZENIE	114
SUMMARY	115

1. MASZYNA ROLNICZA JAKO OBIEKT DIAGNOSTYCZNY

Diagnostyka jako dyscyplina naukowa zajmuje się określaniem stanu obiektu metodami bezinwazyjnymi lub dopuszczającymi niewielką ingerencją w jego strukturę, jednak bez naruszania zasadniczego funkcjonowania wzajemnych połączeń. Służy ona również do prognozowania, jak i genezy stanu obiektu w przyszłości.

Obiekty będące przedmiotem zainteresowań diagnostyki technicznej podczas swojego życia generują szereg mierzalnych sygnałów, które można wykorzystać jako sygnały diagnostyczne. Proces diagnostyki technicznej składa się w zasadzie z tych samych funkcji składowych, jakimi są: pomiary wartości sygnałów diagnostycznych, ich interpretacja diagnostyczna (wnioskowanie diagnostyczne) oraz opracowanie ostatecznej diagnozy. Wiele z metod pomiarowych sygnałów diagnostycznych wykorzystywanych w procesie diagnozowania oparte jest o zasady i prawa fizyczne.

Intensywny rozwój techniki rolniczej, szczególnie związany z wprowadzaniem do eksploatacji częściowo zautomatyzowanych maszyn rolniczych, wymaga zastosowania nowych metod oceny ich stanu w procesie eksploatacji.

Do podstawowych czynników wpływających na zmianę stanu zdatności samobieźnych maszyn i ciągników rolniczych można zaliczyć rozwój procesów zużyciowych, losowość w zmianie obciążeń, duże zapylenie oraz zmienne warunki terenowe.

Potrzeba oceny stanu technicznego wynika ze złożoności konstrukcyjnej i funkcjonalnej środków technicznych stosowanych w rolnictwie, zapewnienia ich pełnej dyspozycyjności w bardzo krótkich i ściśle określonych okresach ich użytkowania. Konieczność wprowadzania nowych doskonalszych metod diagnozowania wynika z postępu technicznego dotyczącego zmian konstrukcyjnych w mechanizmach, zespołach roboczych i napędowych oraz stosowania w coraz to szerszym zakresie automatyki. Z drugiej strony rosną wymagania użytkowników maszyn rolniczych, które mają być eksploatowane w systemie tzw. rolnictwa precyzyjnego. Stwarza to konieczność użytkowania tylko technicznie sprawnych maszyn i ciągłego monitorowania jakości ich pracy, aby poszczególne operacje technologiczne związane z uprawami były wykonywane zgodnie z ustalonym wcześniej harmonogramem. Wymaga to całkowicie odmiennego podejścia do zagadnienia eksploatacji maszyn rolniczych, które przestają być wyodrębnionym, samodzielnym obiektem eksploatacji. W rolnictwie precyzyjnym maszyny rolnicze są elementem systemu, którego części składowe są ze sobą ściśle powiązane pod względem funkcjonalnym oraz występuje pomiędzy nimi ciągła wymiana różnorodnych informacji niezbędnych do prawidłowego i precyzyjnego realizowania procesu technologicznego, jakim jest uprawa polowa. Ciągła wymiana informacji ma na celu między innymi dokumentowanie przebiegu wszystkich operacji procesu technologicznego, co obecnie jest wykonywane fragmentarycznie, lub w skrajnych przypadkach, nie jest wykonywane.

Dotychczas w zapleczu technicznym rolnictwa prowadzona była ocena stanu technicznego maszyn i ciągników rolniczych w dwóch aspektach [Otmianowski 1986]:

- związana z dopuszczeniem ciągników i maszyn samobieżnych do ruchu po drogach publicznych, tzw. diagnostyka bezpieczeństwa;
- związana z określeniem zakresu napraw po okresie intensywnego użytkowania (okresie kampanijnym), tzw. diagnostyka naprawcza.

Badania diagnostyczne przednaprawcze miały na celu ocenę stanu oraz lokalizację uszkodzeń.

Stosowane przyrządy i metody oceny wynikały przeważnie z adaptacji metod z innych gałęzi przemysłu (najczęściej motoryzacyjnego), a nie z analizy niezawodnościowo - funkcjonalnej maszyn rolniczych. Zmiany, które zaszły w ostatnich latach, spowodowały likwidację, bądź zmianę profilu wielu zakładów naprawczych, a co za tym idzie ograniczyło lub w skrajnych przypadkach wyeliminowało to dostęp użytkownika sprzętu rolniczego do zaplecza technicznego.

W rocznym cyklu eksploatacyjnym maszyn rolniczych można wyróżnić trzy zasadnicze fazy procesu obsługi diagnostycznej [Michalski 1994]:

1. ocenę zdatności funkcjonalnej Z_f maszyny przed rozpoczęciem sezonu kampanijnego – diagnostykę użytkową
2. ocenę zdatności zadaniowej Z_z podczas użytkowania kampanijnego – diagnostykę funkcjonalną
3. ocenę stanu technicznego maszyny S_t po zakończeniu kampanii, celem określenia zakresu napraw i obsług w czasie postoju i przechowywania – diagnostykę obsługową.

Zadaniem diagnostyki użytkowej jest kontrola funkcjonowania poszczególnych zespołów maszyny przed rozpoczęciem użytkowania kampanijnego. Odbywa się ona podczas pracy maszyny bez obciążeń, które występują normalnie podczas jej użytkowania. Wynikiem tego rodzaju diagnostyki jest decyzja o przeprowadzeniu regulacji bądź napraw uszkodzeń powstałych w okresie przechowywania maszyny, albo dopuszczenie jej do użytkowania.

Diagnostyka funkcjonalna jest procesem monitorowania głównych parametrów określających jakość funkcjonowania zespołów, których zmiana poza zakres określony tolerancją ma bezpośredni wpływ na powstawanie uszkodzeń w obrębie zespołu (ciśnienie oleju w silniku, temperatura silnika, ciśnienie w układzie hydrauliki itp.). Przeprowadzana jest ona w warunkach rzeczywistych obciążeń podczas pracy maszyny.

Diagnostyka obsługowa, którą w zasadzie powinno się nazywać diagnostyka obsługowo-przednaprawczą, przeprowadzana po zakończeniu kampanijnego okresu użytkowania za główne zadanie ma określenie stanu technicznego poszczególnych zespołów maszyny. Określony w ten sposób stan techniczny jest podstawą do ustalenia zakresu koniecznych napraw, które muszą być wykonane przed rozpoczęciem nowego sezonu użytkowania maszyny.

W latach 90-tych wraz z rozwojem mikroelektroniki zaobserwowano coraz częstsze wprowadzanie do samobieżnych maszyn i ciągników rolniczych komputerów pokładowych. Komputery te przejmowały rolę zespolonych wskaźników jakości pracy wybranych węzłów konstrukcyjnych maszyny. Większość rozwiązań komputerów pokładowych nie zawierała wbudowanych mechanizmów wnioskowania diagnostycznego [Jasiński 1995]. Rozszerzenie funkcji komputera pokładowego o moduły diagnostyczne wymagało opraco-

wania bardzo wydajnego, a równocześnie prostego w aplikacji systemu diagnostycznego. Rozbudowa taka pozwoliła na ciągłą realizację diagnostyki funkcjonalnej podczas pracy maszyny, oraz znacznie uprościła proces diagnostyki użytkowej i diagnostyki obsługowej.

Współczesne maszyny oraz pojazdy rolnicze wyposażone są w podstawową diagnostykę w trybie on-line. Konieczne jest podjęcie dalszy prac w celu opracowania pełnej diagnostyki agregatu rolniczego.

Rozbudowane komputery pokładowe spełniałyby rolę systemu nadzorującego prawidłową eksploatację maszyny lub agregatu rolniczego, np. przez uniemożliwienie jej użytkowania, gdy wystąpi nieprawidłowość w którymś z głównych bloków funkcjonalnych maszyny. Ma to na celu wyeliminowanie powstawania usterek mogących być przyczyną poważnych awarii w przypadku nieusunięcia ich w momencie wystąpienia. Wczesne wykrywanie usterek oraz ich usunięcie umożliwi prawidłowe wykonywanie zabiegów agrotechnicznych. Wprowadzenie systemu diagnostyki funkcjonalnej do komputerów pokładowych skróci czas usuwania uszkodzeń - maszyny będzie można naprawić w miejscu ich użytkowania bez konieczności transportu do zakładu serwisowego. Natomiast diagnostyka obsługowo-naprawcza realizowana będzie w warunkach stacjonarnych w warsztacie serwisowym. W tych procesach wykorzystywane będą informacje uzyskane zarówno z zamontowanego w maszynie komputera pokładowego (historia użytkowania poszczególnych zespołów funkcjonalnych), jak też informacje uzyskane w wyniku testów diagnostycznych z użyciem zewnętrznych przyrządów. Takie ujęcie problemu diagnostyki w technice rolniczej wymaga przebudowy istniejącego i użytkowanego systemu diagnozowania maszyn rolniczych. Wiązać się to musi z koniecznością opracowania nowych przyrządów diagnostycznych wyposażonych w systemy wnioskowania diagnostycznego wykorzystujące mechanizmy sztucznej inteligencji.

Wprowadzenie do przyrządów diagnostycznych nowych, dotychczas nie spotykanych w technice rolniczej, mechanizmów wnioskowania diagnostycznego wiąże się z przetwarzaniem dużej liczby informacji według ściśle określonych algorytmów w celu opracowania obiektywnej oceny diagnostycznej sprawdzanej maszyny rolniczej. Dlatego też zachodzi potrzeba opracowania wydajnych algorytmów wnioskowania diagnostycznego zarówno dla pokładowych, jak i zewnętrznych (serwisowych) systemów diagnostycznych z wykorzystaniem elementów sztucznej inteligencji.

Mając na uwadze powyższe rozważania, można określić obszar działań mający na celu opracowanie nowoczesnego systemu wnioskowania diagnostycznego. Zawierać on będzie następujące składowe:

- koncepcję systemu diagnostycznego maszyn rolniczych,
- określenie metodyki wnioskowania,
- określenie sposobów przetwarzania informacji różnych sygnałów diagnostycznych,
- opracowanie algorytmu systemu wnioskowania diagnostycznego dla komputerów pokładowych.

Rolą nauki w diagnostyce jest dostarczenie niezawodnych metod i środków diagnozy pozwalających na realizację postawionych zadań. Obiektywna ocena stanu technicznego diagnozowanego obiektu wynika z eksperymentu diagnostycznego. Diagnostyka od strony wykonawczej opiera się na pomiarach możliwych do zobrazowania symptomów stanu technicznego i wnioskowania na podstawie uzyskanego zbioru danych zgodnie z wiedzą o analizowanym obiekcie.

Szczególny charakter pracy w rolnictwie wynika z sezonowości, właściwości obrabianego materiału (gleba i rośliny), wymagań agrotechnicznych, jak również oddziaływań czynników związanych ze środowiskiem przyrodniczym. Sezonowość wykonywania zabiegów agrotechnicznych stwarza konieczność stosowania maszyn rolniczych w losowo zmiennych chwilach $t \in \langle t_0, t_k \rangle$ i wykorzystywania ich z maksymalną intensywnością podczas realizacji określonych zadań w losowo zmiennym przedziale czasu $\langle t_0, t_k \rangle$, co związane jest z wyznaczaniem kampanijności ich użytkowania. Kampanijność użytkowania agregatów i maszyn rolniczych decyduje o przebiegu ich eksploatacji w rozpatrywanym cyklu rocznym, w którym można wyróżnić następujące fazy:

- przechowywania,
- odnowy międzysezonowej,
- losowo zmiennego okresu użytkowania kampanijnego [Michalski i in. 1996].

Z kampanijności użytkowania wynikają szczególne wymagania stawiane procesowemu systemowi eksploatacji agregatów i maszyn rolniczych:

- realizacja zadań w krótkich terminach agrotechnicznych, w losowo zmiennych warunkach eksploatacji i losowo zmiennym przedziale czasu,
- uwzględnienie losowego charakteru przebiegu procesu eksploatacji,
- uwzględnienie krótkiego okresu intensywnej pracy maszyny w porównaniu z czasem jej postoju (przechowywania i obsługi),
- zaopatrzenie w części wymienne i materiały eksploatacyjne w losowo zmiennym przedziale czasu.

Z kolei oczekiwania wobec agregatów i maszyn rolniczych dotyczą:

- zapewnienia zdolności do realizacji zadań w losowo zmiennych terminach agrotechnicznych,
- poprawności funkcjonowania w losowo zmiennych warunkach eksploatacji,
- nieszkodzalności w losowo zmiennych przedziałach czasu ciągłej pracy,
- osiągania gotowości technicznej w losowej chwili $t \in \langle t_0, t_k \rangle$ i utrzymania jej na możliwie stałym poziomie w losowo zmiennym przedziale kampanijnego użytkowania [Michalski i in. 1996].

Efektywność użytkowania agregatów i maszyn rolniczych jest ściśle powiązana z jakością realizacji procesów roboczych. Procesy te powiązane są sprzężeniem zwrotnym systemu sterująco-diagnostycznego, co rozumiane jest jako stopień spełnienia wymagań i oczekiwań użytkownika sprzętu rolniczego. Równocześnie trzeba mieć na uwadze fakt iż eksploatacja sprzętu rolniczego ma być przyjazna dla użytkownika. Można to osiągnąć między innymi przez elektronizację agregatów i maszyn rolniczych [Jasiński 1997], a szczególnie wyposażając je w komputery pokładowe, spełniające rolę „inteligentnego” układu kontrolno -pomiarowego, wspomagającego operatora sprzętu w podejmowaniu decyzji. Wiąże się to z nowymi metodami projektowania sprzętu rolniczego, polegającymi na optymalnym ze względu na koszty, działanie i eksploatację połączeniu rozwiązań mechanicznych, elektronicznych i oprogramowania. Ta nowa metoda podejścia do projektowania stanowi przedmiot badań nowej dziedziny nauki i techniki, zwanej mechatroniką.

W budowie systemów mechatronicznych można wyróżnić następujące podsystemy:

- sensoryczny,
- sterujący,

- wykonawczy,
- komunikacyjny.

Pomiędzy trzema pierwszymi podsystemami musi istnieć ciągły przepływ informacji realizowany za pomocą podsystemu komunikacyjnego. Układ mechatroniczny stosowany w agregatach i maszynach rolniczych powinien posiadać zdolność do ciągłych pomiarów warunków eksploatacyjnych oraz zdolność do przetwarzania sygnałów o warunkach eksploatacyjnych na sygnały sterujące. Bardzo ważna jest zdolność do reagowania na sygnały o niestandardowych, nie zaprogramowanych sytuacjach eksploatacyjnych oraz o zaistniałych awariach [Mikucki 1993].

Dynamicznie rozwijająca się w latach 90-tych technika pomiarowa pozwoliła na ciągłą kontrolę i gromadzenie licznych cech sygnałów związanych z eksploatacją agregatów i maszyn rolniczych. Sygnały te najczęściej doprowadzane były do prostych układów zabezpieczających i ostrzegających, które wykrywały przekroczenie przez obserwowane parametry zadanych wielkości progowych. Jednocześnie prowadzone były prace nad wdrożeniem układów umożliwiających analizę rejestrowanych sygnałów w celu estymacji ich cech, mogących być symptomami aktualnego stanu technicznego badanego obiektu [Cholewa 1992, 1993; Michalski i in. 1997]. Cechą szczególną systemów diagnostycznych agregatów i maszyn rolniczych jest to, że dotyczą one urządzeń o różnym stopniu złożoności i o odmiennych rozwiązaniach konstrukcyjnych. Pociąga to za sobą konieczność różnicowania baz danych i specjalizowania zbiorów reguł stosowanych w procesie wnioskowania diagnostycznego.

W celu uzyskania prawidłowej i jednoznacznej interpretacji stanu maszyny, procedury diagnostyczne muszą posiadać informacje wejściowe z nowoczesnych i niezawodnych urządzeń pomiarowych. Duża ilość oraz różnorodność tych sygnałów sprawia, iż monitorowanie w czasie rzeczywistym wymaga opracowania bardzo dokładnych i szybkich metod wnioskowania diagnostycznego. W klasycznych metodach diagnozowania we wnioskowaniu diagnostycznym wykorzystuje się odwzorowanie stanu monitorowanego obiektu na mierzone wielkości. Metody diagnostyki symptomowej i próby budowy ilościowych modeli symptomowych czasami zawodzą, nawet wtedy, gdy model symptomowy cechuje się niejawnością. Pomocne w takim wypadku będą metody wykorzystujące elementy sztucznej inteligencji, takie jak systemy ekspertowe, logika rozmyta i sztuczne sieci neuronowe [Józefik 1987; Cempel 1993].

1.1. Przykładowe rozwiązania komputerów pokładowych

Pojazdy i maszyny rolnicze oferowane przez liczące się na światowym rynku firmy wyposażane są w różne systemy elektroniczne. Stosowanie na coraz szerszą skalę w pojazdach rolniczych układów mechatronicznych jest wynikiem rosnących wymagań ekologicznych, jakościowych, ergonomicznych i ekonomicznych. Systemy te obsługują określone układy maszyny poprzez komputer pokładowy, którego zadaniem jest sterowanie i kontrola wybranych funkcji celu w ściśle określonych układach maszyny. Funkcje realizowane przez komputery pokładowe maszyn rolniczych można podzielić na dwie grupy [Jasiński i in. 1996]:

- kontrolno-informacyjna,
- regulacyjno-robocza.

Grupa pierwsza jest stosunkowo łatwa do realizacji technicznej i obejmuje następujące zadania:

- diagnostykę,
- informację techniczną,
- informację technologiczną,
- czas pracy i okresowej obsługi technicznej,
- ilość i jakość pracy,
- informacji energetycznej.

Do grupy drugiej można zaliczyć:

- regulację prędkości w zależności od obciążenia zespołów lub wielkości strat,
- utrzymanie kierunku ruchu maszyny,
- poziomowanie zespołów maszyny itp.

Tendencje rozwojowe komputerów pokładowych zmierzają do zwiększenia zakresu funkcji kontrolno – pomiarowych i pomiarowo –regulacyjnych [Hofstee, Goense 1997]. Zasadniczym problemem dynamicznego rozwoju mikrokomputerów jest właściwy dobór czujników i przetworników sygnałów wejściowych ze względu na specyfikę wymagań sprzętu rolniczego. Od jakości i niezawodności (trwałości) czujników w znacznym stopniu zależy precyzja sterowania. Przetwornik inteligentny jest obecnie podstawowym typem przetwornika pomiarowego. Wyposażony jest on w układ mikroprocesorowy pozwalający na przetwarzanie danych pomiarowych, co znacznie upraszcza budowę i oprogramowanie komputera [Kwaśniewski 1993, 1997; Cieślowski 2001].

Informacja energetyczna jest stosowana znacznie rzadziej niż pozostałe funkcje kontrolno – informacyjne. Wiąże się to z monitorowaniem chwilowego zużycia paliwa. Pomiar ten jest trudny ze względu na konieczność stosowania przepływomierza oraz dokonania zmian adaptacyjnych w konstrukcji aparatury paliwowej. W praktyce informacja energetyczna umożliwia ocenę efektywności pracy pojazdu rolniczego oraz wskazuje na ewentualne niesprawności układu napędowego [Niziński 1996].

Informacje z monitorowanych układów maszyny przekazywane są operatorowi za pomocą monitorów, tablic kontrolnych lub wskaźników optyczno-dźwiękowych. Wybór sposobu wizualizacji informacji nie został jednoznacznie rozstrzygnięty na korzyść jednego z systemów. W pojazdach rolniczych podstawowe informacje o nastawach wielkości roboczych przekazywane są na tablicowych wskaźnikach optyczno – dźwiękowych, wyodrębnionych z komputera pokładowego. Pozostałe dane wyświetlane są na monitorach lub tablicach kontrolnych [Michalski 1994].

Stosowanie systemów mikroprocesorowych znacznie ułatwia obsługę pojazdów rolniczych i umożliwia [Jasiński i in. 1996]:

- zmniejszenie mas i uproszczenie mechanicznych rozwiązań konstrukcyjnych,
- minimalizację zużycia paliwa,
- zmniejszenie awaryjności,
- obniżenie psychofizycznego zmęczenia operatora.

Nowoczesne koncepcje konstrukcyjne pojazdów rolniczych zmierzają w kierunku eliminacji układów mechanicznych na rzecz układów hydraulicznych. Układy te pozwalają na bezstopniową i automatyczną regulację parametrów pracy, co zwiększa ich podatność na sterowanie elektroniczne.

Najbardziej rozpowszechnione układy mechatroniczne w ciągnikach rolniczych obejmują [Kamiński 2001]:

- napędy układów ciągnika,
- informację, regulację, sterowanie,
- zarządzanie,
- diagnostykę.

Z komputerem pokładowym umieszczonym na ciągniku mogą współpracować równocześnie układy sterujące – diagnostyczne, które znajdują się na maszynach zagregatowanych z ciągnikiem. Zastosowanie elektronicznego systemu sterującego, którego zadaniem jest pośredniczenie pomiędzy elementami obejmującego układ operator – ciągnik – maszyna – gleba daje możliwość polepszenia wyników pracy agregatu wynikających z [Niziński i in. 2002]:

- zmniejszenia zużycia paliwa o 3÷5%,
- zmniejszenia zużycia części wymiennych o 3÷10%,
- zmniejszenia kosztów obsługiwanego agregatu o 5÷10%,
- zwiększenia czasu wykorzystania agregatu ze względu na jego stan techniczny o 7÷10%.

Regulacja maszyn za pomocą elektronicznych układów sterujących jest możliwa pod warunkiem kompatybilności wszystkich elementów systemu mikrokomputera ciągnika z elektroniką zamontowaną na maszynie zagregatowanej. Ze względu na znormalizowanie podzespołów układów elektronicznych nie następuje większych trudności wykorzystanie ciągnika w agregacie z maszynami wyposażonymi w układy mikroprocesorowe innych firm.

Komputery pokładowe budowane są w oparciu o dwie architektury:

- pierwsza – jest to komputer składający się z jednego procesora, który nadzoruje pracę całego komputera pokładowego i wszystkie sygnały wejścia i wyjścia pochodzące z ciągnika oraz zagregatowanej maszyny (architektura PC).
- druga – jest to budowa modułowa komputera pokładowego. Każdy moduł posiada własny procesor i nadzoruje określone funkcje. Wszystkie moduły nadzorowane są przez procesor główny (architektura drzewa – wieloprocessorowa). Taka architektura umożliwia łatwą rozbudowę o nowe moduły, które komunikują się ze sobą za pomocą magistral. Aktualna realizacja sterowania elektronicznego dokonywana jest poprzez porównanie wartości różnych parametrów pracy ciągnika z wartościami optymalnymi (np.: dostosowaniem siły uciągu do wartości optymalnej), jednakże kryterium optymalizacji może być różne i odnosić się do maksymalizacji wydajności, minimalizacji zużycia paliwa itp.

Przykładem rozwoju i ciągłego wdrażania systemów mechatronicznych w ciągnikach jest produkt koncernu New Holland – ciągnik T8-Tier 4A. Ciągnik ten wyposażony jest w elektroniczne systemy sterowania o budowie modułowej z magistralami łączącymi poszczególne moduły w jedną całość, tworzące zintegrowany system automatycznego sterowania agregatem przy wykorzystaniu komputera pokładowego. Modułowa budowa mikrokomputera pozwala na dodawanie modułów i tym samym rozszerzanie układu kontrolno-sterującego. Stan układów napędowych dotyczących włączenia/wyłączenia napędu osi przedniej, blokad mechanizmu różnicowego, WOM, sygnalizacji usterek wybranych

zespołów lub podzespołów pojazdu jest wizualizowany poprzez wskaźniki optyczne (lampki kontrolne). Parametry funkcjonalne silnika, skrzyni przekładniowej (np.: ciśnienie oleju w silniku, przekładni, temperatura oleju, temperatura płynu chłodzącego) wyświetlane są w postaci wykresów słupkowych, a na wyświetlaczach ukazują się takie informacje jak: prędkość jazdy, prędkość obrotowa silnika, liczba motogodzin, przerwy serwisowe. Komputer pokładowy ciągnika T8-Tier 4A (rys. 1) posiada monitor z podłączoną klawiaturą, przy pomocy której można nastawiać parametry pracy agregatu (wyświetlane na monitorze) oraz dokonywać na tej podstawie obliczeń i wyświetlać informacje o obrobionej powierzchni, czasie wykonania zabiegu, wydajności pracy itp. [mat. inf. firmy New Holland].



Źródło: [www.newholland.com]

Rys. 1. Widok na panel sterujący ciągnika T8-Tier 4A

Instytut Maszyn i Urządzeń Rolniczych Politechniki Warszawskiej w Płocku na początku lat 90-tych rozpoczął badania nad stworzeniem i wykorzystaniem nowoczesnych układów mechatronicznych w maszynach i ciągnikach rolniczych. Badania te doprowadziły do stworzenia uniwersalnego komputera pokładowego z mikrokontrolerem SAB 80(C)535 i graficznym wyświetlaczem LCD [240x64 pikseli] firmy Sharp [Jasiński i in. 1996]. Podczas pracy maszyny kontrolowane są wszystkie wartości mierzone w ciągnikach Ursus w sposób klasyczny rozszerzone o siłę uciągu, wartość poślizgu kół napędowych, wydajność chwilową oraz wybrane parametry współpracującego agregatu. W pamięci komputera rejestrowany jest czas pracy całkowitej i efektywnej. Do monitorowania parametrów pracy agregatu opracowano algorytm, realizowany w dwóch etapach. W pierwszym etapie, komputer dokonywał pomiarów parametrów decydujących o poprawności funkcjonowania ciągnika. W drugim etapie jest realizowany pomiar parametrów, które charakteryzują współpracujący agregat po wcześniejszym sprawdzeniu prędkości jazdy i opuszczeniu zawieszono narzędzia. W każdym cyklu pomiarowym odczytywane były wartości graniczne kontrolowanych parametrów funkcjonowania ciągnika rolniczego. Przekroczenie tych wartości sygnalizowane jest w sposób dźwiękowo – świetlny.

Komputer pokładowy U-01 firmy Agrotронik (rys. 2) jest przykładem uniwersalnego wielomodułowego systemu przeznaczanego dla maszyn rolniczych. Zaprojektowany on został jako urządzenie samokonfigurujące, przejmujące kontrolę nad systemami modułów współpracujących. Graficzny ciekłokrystaliczny wyświetlacz wbudowany w urządzenie sterujące umożliwia czytelną wizualizację parametrów pracy aktualnie obsługiwanej maszyny rolniczej. Wyświetlacz graficzny jest nieodzowny podczas rozbudowanych konfiguracji systemu, które dostarczają znacznej ilości informacji [mat. inf. Agrotронik 2002].



Źródło: [mat. Inf. Agrotронik 2002]

Rys. 2. Widok ogólny uniwersalnego panelu wielomodułowego systemu monitorującego – sterującego firmy Agrotронik

Podstawowe możliwości układu sterującego U-01 to [mat. inf. Agrotронik 2002]:

- pomiary prędkości i wydajności maszyny,
- pomiary uprawionej powierzchni,
- kontrola i zarządzanie zawartością zbiorników,
- kontrola stanu maszyny,
- elektroniczna kontrola dawek, również z wykorzystaniem GPS,
- pomiary obrotów wałów,
- zbieranie informacji do celów kontrolno-rozliczeniowych,
- tworzenie ścieżek i śladów technologicznych,
- kontrola i zarządzanie funkcjami opryskiwacza,
- zarządzanie i sterowanie siłownikami, elektrozaworami itp.,
- dostosowywanie funkcji kontrolera do indywidualnych potrzeb użytkownika,
- pomiar odległości,
- zliczanie impulsów.

Pod każdym z powyższych punktów kryją się znaczne ilości możliwych parametrów i opcji, które powodują, iż mimo niewielkich rozmiarów kontroler systemu U-01 należy do ścisłej czołówki urządzeń tego typu.

Moduł sterujący – kontrolujący mimo swoich ogromnych możliwości, nie jest kłopotliwy w obsłudze. Zawiera on system podpowiedzi i automatycznych komunikatów. Ponadto pewne ustawienia, niezbędne dla poprawnej pracy maszyny, są wykonywane półautomatycznie lub automatycznie. Decyzja jednak zawsze należy do operatora, który w stosownej chwili może przejąć kontrolę nad maszyną i zmodyfikować wszelkie ustawienia przy pomocy klawiszy funkcyjnych.

Na początku 2005 roku wprowadzono do użytku nowy system EGNOS, który zwiększa dokładność pozycjonowania [<http://www.euractiv.pl>]. Sygnał korekcyjny jest wytwarzany dzięki trzem satelitom geostacjonarnym i sieciom transmisyjnym stacji naziemnych. Przy tym systemie stają się zbędne kłopotliwe nadajniki radiowe korygujące pomiar położenia w systemie DGPS. Maleje przy tym koszt urządzeń odbiorczych. Nowoczesne urządzenia odbiorcze systemu EGNOS zainstalowane są w mikrokomputerze U-10 firmy Agrotrotronik. Rozbudowano w nim również funkcję obsługi map plonów.

1.2. Diagnostyka pokładowa opryskiwaczy

Wielu producentów opryskiwaczy zarówno światowych jak i krajowych oferuje w swoich maszynach jako wyposażenie dodatkowe komputery pokładowe.

Firma „KRUKOWIAK” oferuje do swoich opryskiwaczy sterownik MSO – KRUKOWIAK (rys. 3) [www.krukowiak.com.pl]. Oprócz funkcji opisanych w Agrotrotroniku ciekawostką tego mikrokomputera są: sterowanie znacznikiem pianowym, siłowniki składające i rozkładające belkę polową oraz włączanie i wyłączanie oprysku dodatkowym pilotem radiowym, który można umieścić w dogodnym dla operatora miejscu.



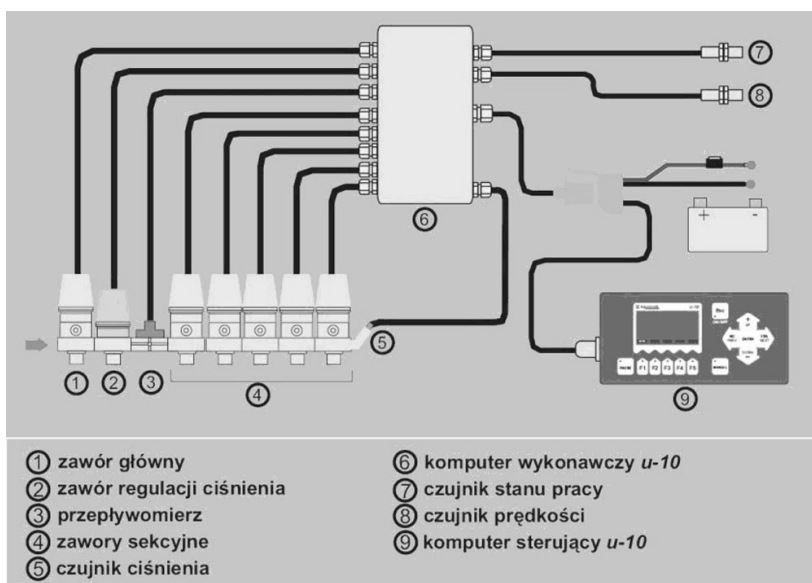
Źródło: [www.krukowiak.com.pl]

Rys. 3. Opryskiwacz samobieżny z serii Herkules firmy Krukowiak

Producent opryskiwaczy „BURY” montuje komputery firmy „TeeJet” lub „Arag”. Komputery pokładowe sterujące opryskiem produkują również firmy „Mescomp”, „Agrio”, „Muller Elektronik”, „LH Agro East” oraz „Mid-Tech”.

Większość funkcji w tych urządzeniach pokrywa się z funkcjami już opisanymi. Dodatkowo spotyka się określenie poślizgu kół napędowych agregatu, a także sterowanie zaworami bądź pompami dozującymi substancję czynną. Funkcje te są niezbędne ze względu na to, iż prędkość robocza opryskiwacza w trakcie wykonywania zabiegu nie jest stała i zmienia się w zależności od wielu czynników np. nachylenie terenu, obciążenie cieczą roboczą itd. Zmniejszenie lub zwiększenie prędkości jazdy w maszynach nie wyposażonych w układy sterujące korekcją ciśnienia powoduje niedobór lub przedawkowanie środka ochrony roślin w odniesieniu do dawki założonej. Konsekwencją tego jest obniżona skuteczność zabiegu, a w skrajnych przypadkach może doprowadzić do konieczności powtórzenia zabiegu lub zniszczenia chronionych roślin.

Coraz częstsze stosowanie opryskiwaczy jako maszyny do dozowania nawozów płynnych wymusza na producentach rozbudowę komputerów pokładowych o nowe funkcje umożliwiające wprowadzanie danych dotyczących zasobności gleby w substancje mineralne, których ilość jest różna w obrębie uprawy poddawanej zabiegowi. Dzięki systemowi nawigacji satelitarnej i wprowadzonej do komputera pokładowego mapie pól możliwe jest optymalne dopasowanie dawki na danym fragmencie uprawy. Zmiana dawki dokonywana jest automatycznie w momencie gdy agregat znajdzie się w miejscu o innym zapotrzebowaniu na substancję czynną.

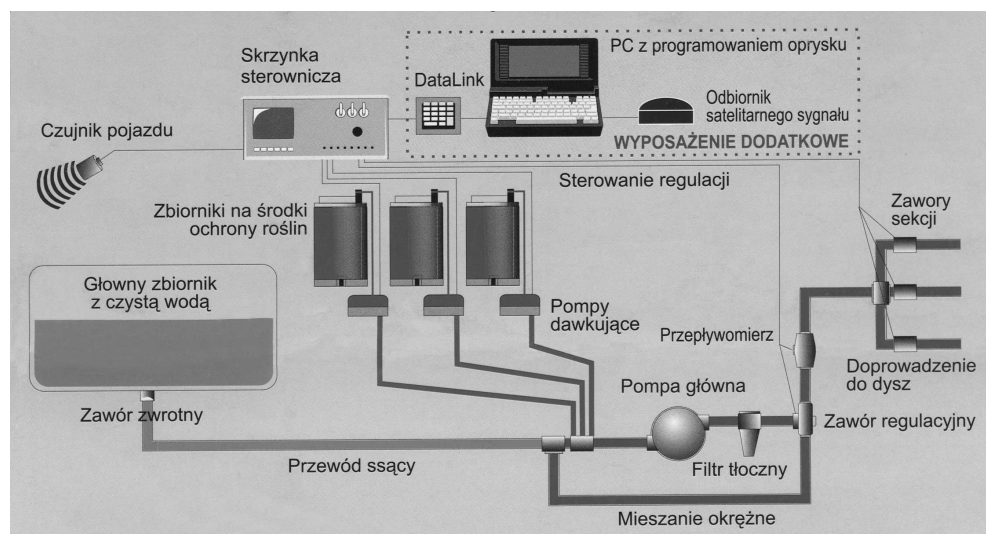


Źródło: [mat. inf. Agrotrotronik 2004]

Rys. 4. System sterująco-kontrolny opryskiwacza rolniczego firmy Agrotrotronik

Komputer wykonawczy (rys. 4) odbiera sygnały sterujące z komputera pokładowego i przekazuje na elementy wykonawcze (elektrozawory), które zamykają lub otwierają dopływ cieczy roboczej do rozdzielacza lub sekcji belki polowej. Informacje o wykonywanym zabiegu zbierane są z czujników 3, 5, 7, 8, i przekazywane do komputera pokładowego w celu określenia ciśnienia roboczego ustalanego za pomocą zaworu regulującego ciśnienie.

System mikrokomputerowy stosowany w opryskiwaczach „NAPA 24” (rys. 5) wyprodukowany został przez amerykańską firmę „MID-TECH”. Zastosowano w nim dodatkowo sterowanie pompami dozującymi substancję czynną, dzięki czemu zbiornik główny i przewód ssący napelnione są czystą wodą. Zastosowanie prostej iniekcji pozwala lepiej wykorzystać środki ochrony roślin, nie występuje problem z utylizacją pozostałej w zbiorniku głównym cieczy roboczej.



Źródło: [źródło: mat. inf. AGRIO 2003]

Rys. 5. Schemat podłączenia komputera TASC-6300

Komputery służące do nadzoru pracy opryskiwaczy rolniczych można podzielić realizowane przez nie funkcje na dwie grupy:

1. Grupa kontrolno – informacyjna
 - informację technologiczną,
 - czas pracy i okresowej obsługi technicznej,
 - ilość i jakość pracy,
2. Grupa regulacyjna
 - regulację ciśnienia w zależności od założonej dawki z uwzględnieniem rzeczywistej prędkości roboczej,
 - zmianę dawki w zależności od zapotrzebowania na danym fragmencie pola (rolnictwo precyzyjne).

Komputery pokładowe stosowane w opryskiwaczach spełniają głównie rolę sterowników odciążając w ten sposób operatora i dokładniej sterują procesem. Informacje dostarczane przez czujniki wykorzystywane są tylko do zmiany parametrów roboczych, ponieważ mikrokomputery nie mają zaimplementowanych procedur diagnostycznych.

Dotychczasowe rozwiązania konstrukcyjne oraz wyposażenie opryskiwaczy uwidaczniają braki kompleksowego monitorowania opryskiwacza rolniczego dla potrzeb diagnostycznych. Przy pomocy komputerów pokładowych odbywa się dobór parametrów roboczych pomijając stan techniczny podzespołów mających zasadniczy wpływ na prawidłowe wykonanie zabiegu. Ocena stanu technicznego opryskiwacza dokonywana jest przez operatora. Wykorzystuje on do tego celu subiektywne środki diagnostyczne takie jak: wzrok, słuch, itp. [Tylicki i in. 2001]. Oznacza to, że przeprowadzana diagnostyka jest wnioskowaniem subiektywnym obciążonym trudnym do oszacowania błędem, który uzależniony jest od doświadczenia i stanu psychofizycznego operatora.

Zadaniem diagnostyki pokładowej jest określenie, w jakim stanie znajduje się obiekt diagnozowany:

- zdatny (zdolny do wykonania zadania),
- niezdatny (niezdolny do wykonania zadania).

Istotne jest że diagnostyka zakłada możliwość całkowitego lub częściowego demontażu, natomiast diagnostyka pokładowa odnosi się do określenia stanu w trybie *on-line*.

Proces sprawdzenia stanu technicznego opryskiwacza polega na ocenie stanu technicznego diagnozowanych elementów i udzieleniu odpowiedzi, w którym z dwóch możliwych stanów znajduje się maszyna.

Dlatego zainstalowany mikrokomputer w kabinie operatora powinien spełniać nie tylko funkcje sterująco – kontrolne, ale również diagnostyczne. Dopiero zestawienie sygnałów diagnostycznych, jako danych wejściowych do procesu sterującego umożliwi prawidłowo wykonać proces technologiczny – praca zdatną maszyną.

1.3. Rozsiewacze nawozów mineralnych

Rozsiewacze nawozów naturalnych to maszyny najczęściej agregatowane z ciągnikami rolniczymi jako zaczepiane bądź zawieszane. Występują również jako maszyny samobieżne. Bez względu na źródło napędu oraz sposób agregatowania do prawidłowej pracy potrzebne są układy sterująco-wykonawcze oraz diagnostyczne. Do odczytywania stanu procesu służą różne czujniki:

- czujniki mechaniczne - oparte na zasadzie mechanicznego przenoszenia przesunięcia końcówki pomiarowej na człon wskazujący (wskazówkę). Zależnie od konstrukcji przekładni czujników przełożenia wahają się w granicach od 100 do 20 000,
- elektryczne - wspólną cechą charakterystyczną czujników elektrycznych jest przetwarzanie sygnału wejściowego (zmiany kontrolowanego parametru) na sygnał wyjściowy elektryczny. Czujniki elektryczne wykazują wiele istotnych zalet, a mianowicie:
 - możliwość i łatwość przetwarzania sygnału wyjściowego na impulsy sygnalizacyjne i sterownicze lub informacyjne dla systemów przetwarzania danych,

- możliwość przesyłania sygnałów na praktycznie dowolne odległości, praktycznie bez opóźnień, oraz możliwość łatwej rejestracji przebiegu sygnałów lub stanu ich zbioru,
 - możliwość uchwycenia i rejestracji szybkich zmian sygnału wejściowego,
 - możliwość rozdzielenia i znacznego oddalenia od siebie czujnika, przetwornika i wskaźnika,
 - możliwość uzyskania bardzo małych wymiarów czujnika,
 - możliwość i łatwość zmian przełożenia pomiarowego w bardzo szerokich granicach,
 - korzystne charakterystyki dynamiczne, umożliwiające stosowanie czujników w szybko działających urządzeniach pomiarowych,
 - korzystna charakterystyka dynamiczna.
- optyczne - przeniesienie ruchów końcówki pomiarowej na urządzenie wskazujące odbywa się przy współdziałaniu elementów przekładni mechanicznych (np. dźwigni lub śrubowo skręconej taśmy) i optycznych (np. układy soczewek, pryzmatów, lusterek, źródła światła). Przełożenia czujników osiągają wartość 10 000,
 - uderzeniowe - mające postać mikrofonów magnetodynamicznych lub piezoelektrycznych. Mają za zadanie wykrywać uderzenia ziarniaków o dno zsydni pod wytrząsaczami.
 - [<http://imisp.mech.pw.edu.pl/prezentacja/dyplom/wiadomosci/klasyfikacja.html>]

Do czujników mechanicznych zaliczyć można urządzenie Crop-Meter, który jest montowany z przodu ciągnika (rys.6). Innowacyjny sensor CRP-Meter mierzy różnice w gęstości ładu poprzez rejestrację kąta wychylenia wahadła podczas przejazdów roboczych. Zmierzone wartości są przetwarzane w komputerze i przekazywane do sterownika opryskiwacza lub rozsiewacza w czasie nawożenia azotowego.

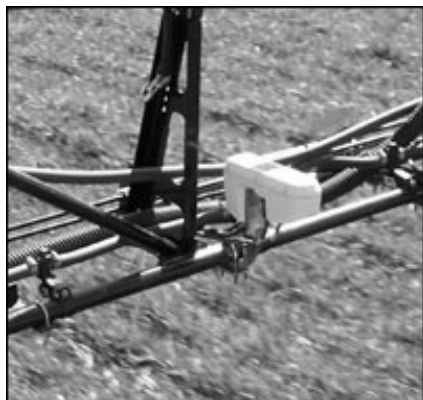


Źródło: [<http://www.ho.haslo.pl/article.php?id=2056>]

Rys. 6. Sposób montażu czujnika Crop-Meter

W rozsiewaczach nawozów są wykorzystywane na przykład czujniki optyczne. Analizują one barwę roślin i w zależności od intensywności koloru odpowiedni algorytm określa dawkę nawozu na danym fragmencie pola. Obraz uzyskany z kamer trafia do komputera rozsiewacza, który przetwarza ją i automatycznie dostosowuje dawkę nawozu. Aktualna dawka wyświetlana jest na terminalu pokładowym ciągnika.

Oprócz czujników optycznych działających w trybie *on-line* stosowane są również sensory typu Green-Seeker (rys. 7a,b). Umożliwiają one dokładniejsze określenie barwy wybranych fragmentów rośliny – tym samym zapotrzebowania rośliny na optymalną dawkę azotu. Dane zebrane z tego urządzenia wykorzystywane są do tworzenia tzw. map nawożenia, które wprowadza się do komputera pokładowego i w połączeniu z z systemem GPS umożliwi nam stosowania zmiennej dawki na różnych fragmentach pola. Do tworzenia map nawożenia często wykorzystuje się mapy plonu.









Źródło: [<http://www.ho.haslo.pl/article.php?id=1867>;
<http://www.linco.com/greenseeker.htm>]

Rys. 7a,b. Miernik SPAD

1.4. Charakterystyka przykładowych komputerów pokładowych

Aktualnie przemysł elektroniczny oferuje szereg rozwiązań konstrukcyjnych komputerów pokładowych. W tabeli 1 zamieszczono podstawowe charakterystyki komputerów pokładowych oferowanych przez firmy: Amazone, John Deere, Müller- Elektronik, New Holland. Firma Müller-Elektronik oraz Amazone są firmami niemieckimi, pozostałe dwie pochodzą ze Stanów Zjednoczonych, choć New Holland podkreśla swój „globalny charakter”.

Tabela 1. Tabela porównawcza przykładowych komputerów pokładowych

Producent	John Deere	Müller-Elektronik	New Holland	Amazone	New Holland	Müller-Elektronik
Model	GreenStar 2600	COMFORT-Terminal	EZ-Guide 500	Amatront+	FM-1000	Basic – Terminal TOP
Zdjęcie						
Wyświetlacz	Kolorowy	Kolorowy, 10,4" 640 x 480 pikseli	Kolorowy, 18cm	Monochromatyczny	Kolorowy, 30,73 cm dotykowy	Kolorowy, 15cm 640 x 480
Czytnik kart flash	CompactFlash x2	SmartMedia TM	tak	brak	tak	SmartMedia TM
System prowadzenia równoległego	Tak - AutoTrac	opcjonalnie - TRACK-Leader	Tak - EZ Steer	brak	Tak - EZ Steer	TRACK-Leader II
USB	Brak	x1	x1	brak	x1	x1
Wspomagające ręczne kierowanie pojazdem	Tak	brak	tak	brak	tak	tak
Modem GSM	Brak	opcjonalnie	brak	brak	brak	opcjonalnie
Odbiornik D-GPS	Brak	tak	tak	brak	tak+ GLONASS	tak
Dodatkowe opcje	<ul style="list-style-type: none"> - monitor osiągow, mapowanie pol bezpośrednio na ekranie 	<ul style="list-style-type: none"> - sterowanie armaturą cieczową, - regulację dawki opryskowej, - sterowanie i kontrolę układu hydraulicznego, - automatyczne koprowanie śladów ciągnika, - sterowanie sekcjami roboczymi, - Wejscia video. 	<ul style="list-style-type: none"> - Automatyczna lokalizacja zapisanych w ich sąsiedztwie, - Precyzyjne sterowanie aplikacją z opcją technologii zmiennego dawkowania jednego produktu, - automatycznie włącza i wyłącza do dziesięciu sekcji opryskiwacza. 	<ul style="list-style-type: none"> - wygodna obsługa funkcji poprzez opcjonalny joystick, pamięć do 20 zleceń z urządzeniami Amazone 	<ul style="list-style-type: none"> - Wbudowane radio 410 do 470 MHz zapewnia dokładność RTK, - wejścia video, sterowanie armaturą cieczową, - regulację dawki automatyczny, - lokalizuje zapisane pola, jeśli znajdziesz się w ich sąsiedztwie - OnPath – większa dokładność rzędu do rzędu. - Monitorowanie i sterowanie siewnikiem i opryskiwaczem 	<ul style="list-style-type: none"> - wejścia video x2 - złącze ethernet - Monitorowanie i sterowanie armaturą cieczową, - regulację dawki opryskowej, - automatyczne koprowanie śladów ciągnika, - automatycznie sterowanie sekcjami roboczymi

Źródło: [mat. inf. John Deere, Müller-Elektronik, New Holland, Amazone]

Za pomocą tabeli 1 można podsumowywać, analizować i przeglądać dane dotyczące różnych komputerów pokładowych. Wyniki analizy tabeli umożliwiają podejmowanie bardziej świadomych decyzji dotyczących wyboru odpowiedniego komputera dla własnych potrzeb. Należy jednak pamiętać, że zawsze wybór komputera pokładowego powinien być poparty głęboką analizą techniczną uwzględniającą również możliwości finansowe oraz ilość dostępnego miejsca w kabinie pojazdu. Każde z urządzeń ma swoje zalety i wady, a jego użyteczność będzie zależała od prawidłowo dobranego urządzenia i jego możliwości wykorzystania w gospodarstwie. Komputery pokładowe przedstawione w tabeli 1 to tylko przykład dostępnych na rynku rozwiązań stosowanych w ciągnikach rolniczych. Parametry techniczne każdego urządzenia są różne i dlatego należy przeanalizować wszelkie wady i zalety przed wybraniem odpowiedniego terminala. Wszystkie prezentowane komputery pokładowe są zaopatrzone w wyświetlacze, większość jest kolorowych. Urządzenie New Holland EZ-Guide ma bardzo dokładny system GPS, pozwala na dokładną lokalizację pól (jeśli znajdujemy się w ich sąsiedztwie) – ma możliwość ustalenie dokładności od 0,2 m do 0,02 m, jest zintegrowane z większością sterowników dawkowania dostępnych na rynku. Sterownik charakteryzuje się możliwością komunikacji zarówno za pomocą panelu dotykowego, jak również przy użyciu przycisków znajdujących się po bokach ekranu. Nie posiada jednak portu RS232 i modemu GSM. Inny model sterownika tej firmy – model FM-1000 został wyposażony w RS232. Pozostałe funkcje są podobne, jednak dodano wejście wideo i wbudowane radio. Jediną firmą oferującą opcjonalnie modem GSM jest Müller-Elektronik.

Urządzeniem sterowanym w pełni dotykowo jest wirtualny terminal oferowany przez firmę John Deere GreenStar 2600. Pozwala on na mapowanie, pól na ekranie oraz monitoring osiągow. Posiada w standardowym wyposażeniu system prowadzenia równoległego. Wady to brak wejścia USB, odbiornika D-GPS, modemu GSM i stosunkowo niewielki wyświetlacz (który jeśli dysponujemy niewielką ilością miejsca, może być uznany za zaletę).

Firma Müller-Elektronik oferuje urządzenie COMFORT –terminal posiadający o jeden port RS232 mniej niż John Deere, ale opcjonalnie wyposażony w modem GSM i standardowo w odbiornik D-GPS. Jako jeden z dwóch spośród prezentowanych terminali nie jest on wyposażony we wspomagające ręczne kierowanie pojazdem. Wyświetlacz COMFORT nie jest dotykowy, sterowanie urządzeniem odbywa się przez przyciski umieszczone wokół ekranu. Drugi z prezentowanych w niniejszej pracy terminali oferowanych przed Müller-Elektronik ma bardzo podobne parametry, trochę mniejszy wyświetlacz. Dodatkowo jest wyposażony w złącze ethernet.

Jednym z urządzeń oferowanych przez firmę Amazone jest Amatron+. Jest to urządzenie najmniej rozbudowane ze wszystkich przedstawionych w tabeli. Jako jedyne posiada monochromatyczny wyświetlacz i joystick. Niewątpliwie urządzenie to jest również najprostsze w obsłudze. Główną wadą jest jednak fakt, że w przeciwieństwie do pozostałych omówionych terminali współpracuje ono tylko i wyłącznie z urządzeniami stworzonymi przez jego producenta – firmę Amazon. Jeśli chodzi o wyposażenie i funkcje prezentowane w tabeli 1 Amatron+ jedyną zaletą jest posiadanie portu RS232.

Tak więc w zależności, od oczekiwań użytkownika, można dobrać różne rozwiązania, w różnych cenach. Jeśli potrzebujemy bardzo rozbudowanego system nawigacyjnego i zależy nam na precyzji to urządzenie EZ-Guide 500 oferowane przez firmę New Holland

będzie dla nas najbardziej odpowiednie. Natomiast jeżeli priorytetem będzie komunikacja bezprzewodowa z wykorzystaniem technologii GSM należy skierować swą uwagę na jeden z produktów firmy Müller-Elektronik.

1.5. Przykładowe rozwiązania przesyłania informacji w komputerach pokładowych

W ostatnich latach producenci sprzętu rolniczego coraz częściej wyposażają swoje maszyny, urządzenia i ciągniki w elektronikę. Zwiększa to funkcjonalność, wydajność i skuteczność pracy. Naturalną konsekwencją używania komponentów elektronicznych w maszynach rolniczych jest zdanie sobie sprawy z zalet płynących z możliwości komunikowania się poszczególnych komponentów. Kontroler wraz z odpowiednimi czujnikami na zaczepie w ciągniku, może komunikować się z przekładnią (lub skrzynią biegów) oraz kontrolerem (sterownikiem) silnika w celu zapewnienia optymalnej wydajności. Komunikacja elektroniczna może być stosowana w celu koordynowania komponentów maszyny, umożliwiania wymiany informacji pomiędzy częściami maszyny, czy umożliwieniu systemom kontroli na dostęp do poszczególnych części maszyny. Koszty związane z dodaniem opcji komunikacji są tylko niewiele wyższe niż zainstalowanie samej elektroniki, ale w znaczącym stopniu przyczyniają się do poprawy funkcjonalności, produktywności i wydajności maszyny.

Interfejs pomiędzy ciągnikiem i wprowadzonym instrumentem wymagał znaczącej standaryzacji, łącznie z wprowadzeniem ustandaryzowanych połączeń hydraulicznych oraz trzypunktowych zaczepów. Standaryzacja umożliwiła korzystanie z komponentów od różnych producentów. Dodanie elektroniki do maszyn rolniczych stworzyło podobne wymagania i potrzebę dodatkowej standaryzacji. Potrzeba komunikacji pomiędzy agregatem a ciągnikiem wprowadziła kwestię potrzeby ustandaryzowania i ujednoczenia protokołu łączności elektronicznej. Składniki montowane w urządzeniach, pochodzące od różnych producentów muszą również zachowywać między sobą łączność. Bez standardu komunikacji, dostawcy musieliby dostosowywać swoją produkcję do protokołów komunikacyjnych każdego z osobna wytwórcy maszyn. Możliwość obniżenia kosztów produkcji przy jednolitym standardzie komponentów i oprogramowania nie byłaby możliwa bez ustandaryzowanego protokołu komunikacji.

Komunikacja elektroniczna wymaga znacznie większej standaryzacji niż we wcześniejszych standardach instrumentów interfejsu maszyn. Nie tylko fizyczna kompatybilność, ale także kompatybilność na poziomie przekazywania informacji jest konieczna. Przekazywanie informacji np. o prędkości jazdy, wymaga kompatybilności łączy, przewodów, poziomów napięć, oraz metody sygnalizowania informacji. Informacje mogą być wtedy przekazywane, ale zgodność musi również mieć miejsce w odniesieniu do kodowania informacji oraz definiowania informacji. Jednostki prędkości, jednostki miary, dokładności i częstotliwości pomiarów muszą być uzgodnione, aby mogły być prawidłowo interpretowane. Wpływ standaryzacji protokołu komunikacyjnego na sprzęt rolniczy dotyczy także ujednoczenia definicji i przedstawiania zmiennych związanych z osprzętem rolniczym.

Szybki wzrost zainteresowania rolnictwem precyzyjnym wymógł potrzebę ujednoczenia protokołu komunikacji elektronicznej. Precyzyjne rolnictwo oznacza zbieranie infor-

macji określających rodzaj gleby, roślin uprawnych i wykorzystywanie tych informacji zwrotnych w celu lepszego zastosowania nawozów i środków chemicznych oraz sposobu uprawy. Komunikacja między operatorem sprzętu, przyrządami pomiarowymi oraz systemami zarządzania informacjami jest niezwykle istotna w systemach rolnictwa precyzyjnego. Elementy tych systemów zawierają w sobie kontrolki lub terminale, które umożliwiają przesyłanie informacji do i od operatora sprzętu. Te elementy są najczęściej zainstalowane w kabinie traktora i/lub kombajnu i muszą mieć łącze komunikacyjne z instrumentami i innymi komponentami maszyny. Ustandaryzowany protokół komunikacji elektronicznej jest tu niezbędny i może to być protokół już używany przez inne części maszyny. Jako nowy standard komunikacji elektronicznej dla sprzętu rolniczego, wprowadzony został protokół ISO 11783. Powstał by sprostać potrzebie łączności elektronicznej pomiędzy traktorem a jego komponentami, pomiędzy komponentami w obrębie maszyny, w obrębie poszczególnych komponentów oraz z innymi samobieźnymi urządzeniami rolniczymi.

Panel informacyjny i systemy kontroli przekształcały się wraz z rozwojem sprzętu rolniczego. Podstawową funkcją sprzętu jest kontrola i regulacja oraz dostosowanie go do potrzeb upraw. Kontrola mechaniczna i systemy wyświetlacza były integralną częścią sprzętu rolniczego, które nadal funkcjonują. Przykładem są systemy do rozsady w siewnikach i sadzarkach. Wraz z rozwojem zastosowania sprzętu rolniczego, stosowane były dodatkowe systemy kontroli pozwalające na regulację dodatkowych funkcji. Przykładowo, przy zastosowaniu hydraulicznego trzypunktowego układu zawieszenia dodatkowo zastosowano także kontrolki i panel informacyjny dla wysokości zawieszenia. Początkowo, elementy elektroniczne zostały dodane do sprzętu rolniczego by zwiększyć zarówno możliwości regulacji jak i możliwości wyświetlacza. Elektroniczna regulacja silnika została dodana w celu kontroli systemów paliwowych i wprowadzenia udoskonalonej wydajności silnika oraz zmniejszenia emisji spalin. Podobnie, elektroniczne przyrządy sterownicze przekładni umożliwiają lepszą regulację zmiany biegów.

Naturalnym następstwem dodania elektronicznych przyrządów sterowniczych silnika, przekładni i innych komponentów sprzętu jest konieczność komunikacji pomiędzy przyrządami sterowniczymi. Informacje o momencie obrotowym i prędkości wymagane są przez przekładnię do zmiany biegów, natomiast informacje o kontroli paliwa potrzebne są silnikowi także w celu zmiany biegów. Jednocześnie wymagany jest też przekaz wskaźników stanu silnika i przekładni do operatora sprzętu. W tym celu, centralny układ kontrolny mógłby zostać użyty jednak w takim przypadku okablowanie byłoby skomplikowane, niezawodność sprzętu zostałaby poddana próbie a możliwości obliczeniowy stałyby się niewystarczające. Alternatywnym rozwiązaniem, które jest obecnie w użyciu, jest rozdzielenie każdego z kontrolerów w taki sposób by obsługiwał jedynie funkcję, którą reguluje. Wspomniane zastosowanie ułatwia rozwój, pozwala osiągnąć rentowną wydajność, może także uprościć sposób okablowania, lecz stwarza problem wewnętrznej komunikacji między urządzeniami sterującymi.

W celu ułatwienia komunikacji w ciągnikach zastosowano znacznie uproszczone okablowanie poprzez użycie rozdzielonych urządzeń sterujących (rys. 8).



Źródło: [elibrary.asabe.org/data/pdf]

Rys. 8. Wielokanałowe okablowanie magistrali

Wielokanałowe okablowanie rozwinęło się, by przystosować się do rentownych środków łączności w elektronicznych modułach sterujących. W takim schemacie okablowania pojedyncza para przewodów, szyna zbiorcza, jest współużytkowana przez układy sterownicze i używana do przesyłania sygnałów logicznych “1” i “0” lub bitów. Grupy bitów wysyłane są jako wiadomości, w których pierwsze bity wiadomości stanowią identyfikator wiadomości natomiast następne zawierają konkretną informację oraz dane pomocnicze niezbędne do realizacji transmisji. Protokół transmisji danych osadzony jest w elektronicznym module sterującym (ECU) wymaga od modułu sprawdzenia szyny zbiorczej przed przesłaniem wiadomości w celu upewnienia się, że żaden inny ECU nie używa szyny. Taka strategia sprawdza się, ponieważ istnieje wystarczająco dużo czasu by wszystkie elektroniczne moduły sterujące (ECU) nadały swoją wiadomość przez szynę zbiorczą bez znaczących opóźnień.

ISO 11783 normalizuje system wielokanałowego okablowania, opisany powyżej, oparty na protokole centralnej administracji sieci CAN (*Controller Area Network*) opracowanym przez firmę Bosch (Bosch, 1991). Protokół stosuje uszeregowany proces przyznawania dostępu by umożliwić wiadomością dostęp do szyny zbiorczej. Kiedy dwie wiadomości są wysyłane jednocześnie, ich identyfikatory są narzucone na szynę zbiorczą jako szeregowe ciągi bitów. Szyna zbiorcza musi być zaprojektowana w taki sposób, by umożliwić ważniejszym bajtom przejęcie kontroli nad mniej ważnymi bajtami informacji, kiedy obydwa ich rodzaje są jednocześnie transmitowane przez różne ECU do szyny. Konflikt nie ma miejsca, aż do czasu, kiedy obydwa ECU wysyłają te same rodzaje bajtów, lecz kiedy jeden ECU wysyła bit recesywny, a drugi ECU dominujący, szyna zbiorcza jest w stanie dominującym. ECU wysyłający bit recesywny musi wyczuć, że szyna jest w stanie dominującym i musi zaprzestać transmisji wiadomości próbując ponownie, kiedy szyna nie pracuje. Taka strategia pozwala bardziej dominującym identyfikatorom, czyli tym o mniejszym znaczeniu, mieć pierwszeństwo w szynie zbiorczej. By proces ten był efektywny,

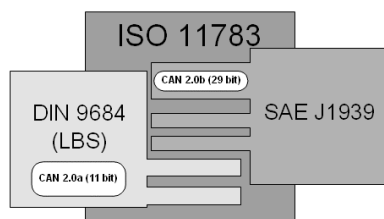
CAN synchronizuje wiadomości na początku każdej transmisji w celu odpowiedniego uszeregowania bitów. W rezultacie ISO 11783 zapewnia system komunikacji, w którym poszczególne ECU mają wspólne ogniwo komunikacyjne, a pierwszeństwo dostępu wiadomości do szyny zbiorczej jest oparte na ważności danej wiadomości i możliwe jest w każdym momencie. Zastosowanie wielokanałowego okablowania stwarza wiele możliwości, jeśli chodzi o koordynację urządzeń sterujących wewnątrz kabin sprzętu rolniczego. Kiedy użycie wielokanałowego okablowania jest możliwe, koszt podziału informacji pomiędzy kontrolery staje się bardzo niski. Istniejące ograniczenia takiego rozwiązania to ilość współużytkowanych danych biorąc pod uwagę fakt, że zbiorcza szyna komunikacyjna ma ograniczoną przepustowość (tab. 2).

Tabela 2. Dokumenty ISO 11783 i ich specyfikacja

ISO 11783		
Część	Nazwa	Specyfikacja
1	Standard generalny	Dostarcza przegląd standardu i opisuje jak jego części współpracują
2	Warstwa fizyczna	Opisuje okablowanie, łączniki i fizyczne przedstawienie sygnału w szynie zbiorczej
3	Warstwa łącza danych	Opisuje sposób, w jaki wiadomość jest zbudowana w korpusie wiadomości CAN i opisuje metody transmitowania dłuższych wiadomości niż korpus CAN.
4	Warstwa sieciowa	Opisuje jak liczne podsieci mogą być powiązane.
5	Warstwa zarządzania	Opisuje metody inicjalizacji oraz metody unikatowego nazewnictwa komputerów wewnątrz sieci.
6	Wirtualny terminal	Opisuje urządzenie, które może być użyte przez operatora by współdziałać z innymi komputerami w sieci.
7	Podstawowe informacje narzędziowe	Opisuje wiadomości, które mogą zostać użyte w ciągniku/narzędziach komunikacyjnych.
8	Warstwa napędu/ warstwa aplikacji	Definiuje wiadomości, które mogą zostać użyte przez pojazd i zawiera wiadomości potrzebne kontroli napędu.
9	Ciągnik ECU	Definiuje funkcje ciągnika w sieci i komunikację pomiędzy komponentami napędu w sieci i narzędziami.
10	Regulator zadania i interfejs komputera zarządzającego	Opisuje komunikację wewnątrz komputera zarządzającego pomiędzy interfejsem regulatora zadań i aplikacjami oprogramowania.
11	Słownik pojęć	Definiuje pojęcia użyte w części 10 normy
12	Diagnostyka	Opisuje metody i protokoły wymiany informacji pomiędzy ECU a przetwornikami, czujnikami, nastawnikami, jednostkami archiwizującymi dane i wirtualnym terminalem
13	Serwer plików	Opisuje serwer plików montowany w systemie służący do archiwizacji danych
14	Sekwencyjny system sterowania (część w opracowaniu)	Określa specyfikacje dla systemu sekwencyjnego sterowania agregatu rolniczego

2. STANDARD ISO 11783- ISOBUS

Sieć ISO 11783 została opracowana w celu obsługi aplikacji sprzętu rolniczego w zakresie sieci przewodowej. Komisja ISO jest odpowiedzialna za standard obejmujący wyposażenie leśne, ale nie obejmuje sprzętu budowlanego. Normy mogą być stosowane w szerszym zakresie. Standard obsługuje aplikacje w obu systemach samobieźnych oraz w systemach wdrażania ciągników. Wedle sporządzonej dokumentacji, wdrażanie modelu ciągnika jest możliwe, z uznaniem, że te same lub prostsze konstrukcje mogą być stosowane w systemach z własnym napędem. Na rys. 9 przedstawiono w formie uproszczonej schemat sieci ISO 11783.



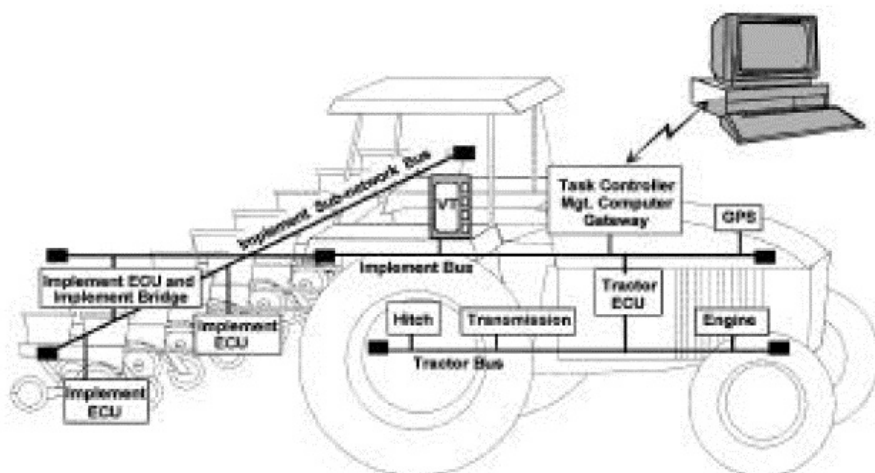
Źródło: [<http://asae.frymulti.com>]

Rys. 9. Standard ISO 11783

Regulator zadaniowy jest elektroniczną jednostką sterującą, która zazwyczaj mieści się w ciągniku, i wykorzystywana jest do wykonywania poleceń narzędzia umożliwiając realizację poszczególnych zadań. Określone są znormalizowane komunikaty pomiędzy regulatorem zadaniowym oraz urządzeniami, a także pomiędzy interfejsem regulatora zadaniowego i aplikacjami oprogramowania w zarządzaniu komputerem. Interfejs między zarządzaniem komputera a regulatorem zadaniowym nie jest znormalizowany. Sieć posiada zdefiniowane wiadomości w celu umożliwienia komunikacji pomiędzy każdym ze składników, czego przykładem jest komunikacja między regulatorem zadaniowym a elektroniczną jednostką sterującą GPS. Komunikaty nawigacyjne są zdefiniowane i umożliwiają pozycjonowanie informacji otrzymanych przez regulator zadaniowy. Tym samym sposobem, wiadomości są określane w taki sposób, aby umożliwiały jednostce sterującej silnikiem uzyskanie bieżącej krzywej momentu obrotowego względem przeniesienia. Wymiana informacji jest obsługiwana, jako komunikaty kontrolne. Niektóre wiadomości są określone w skali 100 powtórzeń na sekundę. Wiadomości tego typu wykorzystuje ok. 5% pojemności magistrali. Wiele wiadomości jest obecnie określone w różnych skalach powtórzeń, i konieczne jest staranne planowanie, aby zapobiec przed nadużywanie dostępnej pojemności magistrali. Elektroniczna jednostka sterująca ciągnika zapewnia filtrowanie wiadomości pomiędzy ciągnikiem

Na rys. 10 przedstawiono schemat sieci ISO 11783 ciągnika rolniczego. Sieć składa się z dwóch magistrali komunikacyjnych, magistrala ciągnika oraz magistrala urządzenia. Magistrala urządzenia łączy ciągnik, przechodzi przez zaczep obejmując urządzenie. Urządzenie jest uwidocznione na schemacie z podsiecią. Magistrale połączone są z siecią elektronicznej jednostki sterującej, jednostka sterująca silnikiem ciągnika oraz elektroniczna jednostka sterująca tworzą mostek. Regulator zadaniowy oraz komputer sterujący siecią a także wirtualny terminal połączone są z magistralą urządzenia.

i magistralami urządzenia. Taki filtr jest konieczny, aby zapobiec przeciążeniu magistrali względem pozostałej aparatury. Wsparcie dla aplikacji rolnictwa precyzyjnego zostało zawarte w ISO 11783 jak również dla koordynacji ciągnika oraz pozostałych urządzeń. W ISO 11783 została zawarta elastyczna rozbudowa komunikacyjna. Sieć obsługuje własności jednoczesnej komunikacji, jako standardowych wiadomości. Producenci mogą swobodnie zwiększać kontrolę i wdrożenia systemów informatycznych poza tymi, bezpośrednio obsługiwanymi w standardzie. Przebieg procesu został także uwzględniony w standardzie dla akceptowalnych poleceń, w celu poszerzenia transmisji danych.



Źródło: [<http://asae.frymulti.com>]

Rys. 10. Schemat sieci ISO 11783 ciągnika rolniczego

ISO 11783 nie jest projektem kompleksowym. Nie jest możliwe zastosowanie ISO 11783 w każdym sprzęcie rolniczym starej daty z powodu braku odpowiedniego okablowania oraz kosztów przeróbek.

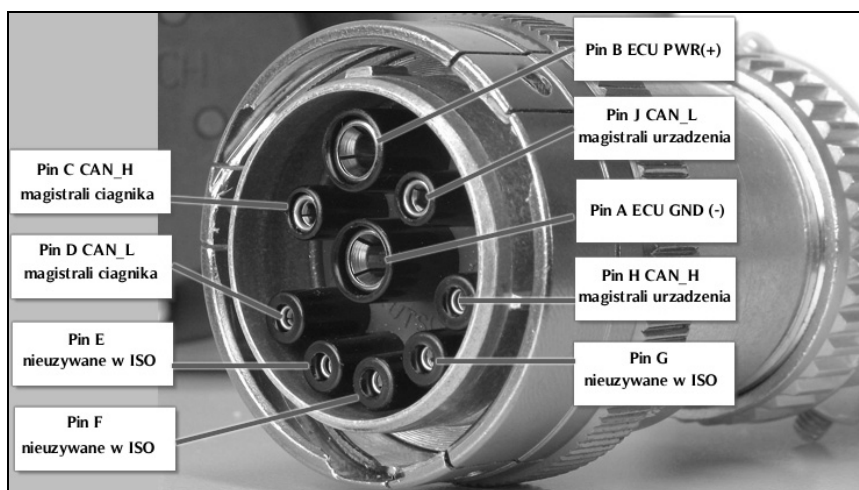
Celem komisji było ujednoczenie tylko tych aspektów protokołów komunikacyjnych, które muszą zostać znormalizowane. Komisja obarcza projektantów odpowiedzialnością za spełnienie ogólnych wymogów konstrukcyjnych. Zarządzanie przerw lub awarii magistrali komunikacyjnych musi być częścią systemu, elektroniczne jednostki sterujące winny być dostosowane do niepowodzeń dla zapewnienia bezpieczeństwa. Jeśli normy zostały określone, to, aby projekty spełniały właściwą wymaganą kompatybilność elektromagnetyczną, projektanci muszą przejść odpowiedzialność za zapewnienie ich wzorów w oparciu o standard tych wymogów.

2.1. Okablowanie magistrali CAN

Trójżyłowe przewody zostały opracowane na podstawie ogólnego systemu okablowania, w tym wypadku zwłaszcza dla sieci ISO 11783. Wybór szybkości transmisji, która ma być realizowana w systemie okablowania, miała poważny wpływ na powstały projekt. Szybkość 125 kB/s, została uznana za najszybszą z możliwych, ułatwiających przetwarzanie o akceptowalnej wydajności. Natomiast „skrętka” ekranowa uzyskała prędkość 250 kB/s. Owa specyfikacja została udostępniona w modelu SAE J1939, ale nie zyskał on poparcia producentów. DIN 9684 charakteryzuje się 50kB/s szybkością oraz nie ekranu, uznano jednak, iż szybkość tej transmisji nie spełnia oczekiwań producentów. Zaproponowana przez Deere „skrętka” nieosłonięta o prędkości 250 kB/s została sprawdzona i przyjęta do realizacji. Trójżyłowy system okablowania składa się z czterech przewodów.

Dwa z przewodów używane są do przenoszenia danych (CAN_H i CAN_L), a dwa pozostałe (TBC_PWR i TBC_RTN) zastosowane zostały w celu dostarczenia energii do zakończeń magistrali.

Złącze może być używane do scalenia części magistrali w kabinie ciągnika, np. Wirtualnych terminali i sterowników zadaniowych. Złącze diagnostyczne zostało również określone i zalecane jest zarówno w instalacji magistrali ciągnika (jeśli istnieje) jak również we wdrażaniu nowego elementu do magistrali. Wybór topologii magistrali, ogranicza możliwość aplikacji nowych części w dowolnym miejscu. Maksymalna długość jednego segmentu magistrali wynosi 40 m.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 11. Wtyczka standardu ISOBUS do transmisji danych pomiędzy maszyną a ciągnikiem

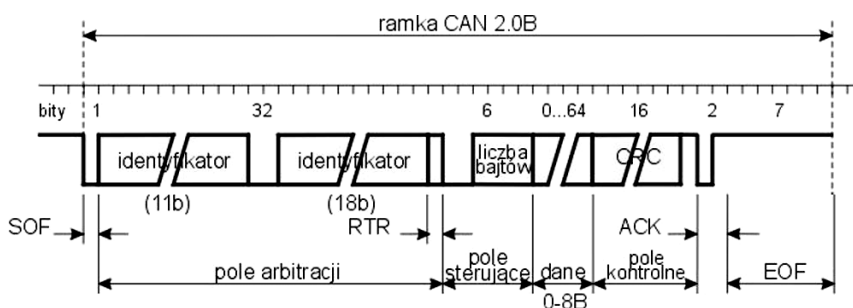
ECU (*Engine Control Unit*) mogą zostać podłączone w dowolnym punkcie (nie bliżej niż 0.5 m od siebie), ale odległość od magistrali do ECU nie może przekraczać 1 m. Dzięki tym przymiotom, możliwa jest konfiguracja sieci w charakterze „T” lub „krzyża”. Przykła-

dem może być instalacja magistrali z przodu i z tyłu, wówczas nie ma potrzeby rozszerzenia jej nie więcej niż 0.6 m na boki. W tym przypadku powinny zostać wykorzystany układ serpentynowy lub połączenia sieci muszą używać podsieci

Istnieje ograniczona liczba ECU, które mogą być podłączone do jednego segmentu magistrali. Wielorakie segmenty mogą być połączone mostkowo, co pozwala na utworzenie do 254 ECU w systemie.

ISO 11873 opiera się na wykorzystaniu 29 bitowego protokołu CAN 2.0b. Protokół ten służy do wysyłania bitów seryjnie. Składa się z identyfikatora i pola danych. Dodatkowe bity są określone w ramach zastosowania kontrolerów protokołu CAN - cykliczne sprawdzanie redundancji bitów, które mogą być wykorzystane w celu umożliwienia ustawienia odbiorników oraz czy otrzymane dane są bezbłędne i czy nie wykryto błędów CAN przy prawdopodobieństwie mniejszym niż 4.7×10^{-11} .

Rysunek 12 przedstawia schematycznie definicje identyfikatora bitowego dla obu typów struktury. W przypadku obu typów Protocol Data Unit (PDU), co najmniej 8 bitów określa „adres źródła”. Wartością tą jest adres fizyczny ECU. Pierwsze trzy najważniejsze bity są mianowane jako priorytetowy, niezależny identyfikator bitów. Rekomendowane jest dostosowanie ilości bitów do powszechnej normy, ale można je również dostosować do wymogów producenta w danym zastosowaniu. Różnicą pomiędzy tymi rodzajami PDU jest wyłącznie adres docelowy PDU. Tego typu wiadomości docierają do danego ECU na podstawie adresu fizycznego. Adresy od 0 do 253 mogą być wykorzystywane przez ECU a 254 (adres zerowy) muszą być stosowane. Pozostała część identyfikatora w każdym PDU jest używana w celu identyfikacji parametrów w danej dziedzinie, czyli w polu danych może być zawarte wiele parametrów pozostała część identyfikatorów używana jest do obliczania numeru grupy parametrów, czyli unikalnego identyfikatora liczbowego dla każdej grupy parametrów, które mogą być zawarte w danej dziedzinie. W ISO 11873 wiadomości zdefiniowane są na podstawie dowolnych parametrów. Adres identyfikatora jest używany w celu zagwarantowania jednoznaczności identyfikatorów w systemie, jest to, bowiem wymóg CAN. Wymaga to ustawienia adresu ECU w systemie na poziomie unikatowej wartości. Wiadomości przesyłane w ISO 11873 zwykle składają się z jednej ramki CAN, ale mogą składać się również z wielu ramek.



Źródło: [http://www.can-cia.de]

Rys. 12. Ramka pakietu danych informacji systemu ISOBUS

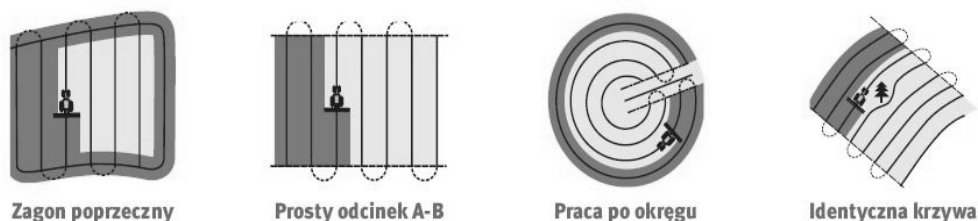
Wyróżniamy dwa rodzaje komunikatów multi-frame (protokołów transferu):

- Zapowiedź komunikatu w trybie Broadcast (tryb zapowiedzi), gdzie początkowe ramki wysyłają zawiadomienie dotyczące specyfikacji ramy do naśladowania, a następnie przechodzą one przez następne ramki,
- Komunikat Connection Mode (moduł łączenia), który posiada specjalne przeznaczenie i pozwala odbiornikowi na kontrolę przepływu wysyłanych wiadomości.

2.2. Monitor – funkcje i obrazowanie

Wirtualne terminale są wyposażone w duże, przejrzyste monitory, które wyświetlają przydatne informacje. Dzięki niemu użytkownik może nie tylko sterować innymi urządzeniami poprzez magistrale ISOBUS, ale wykonywać różnego rodzaju dokumentacje związane z polem. Wszystko od powierzchni pola po zawartość składników mineralnych w glebie może być zapisane w urządzeniu. W każdej chwili jest do tych informacji dostęp. Użytkownikowi, który wczyta odpowiedni zapisany plik w wirtualnym terminalu, wyświetli się na monitorze informacja o swoim polu.

Na rys. 13 przedstawiono wirtualny terminal, który może wyświetlić mapę danego pola wraz z kierunkami jazdy. Jest to bardzo przydatna funkcja stosowana w rolnictwie precyzyjnym do prowadzenia precyzyjnego. Dzięki temu, użytkownik może prowadzić ciągnik w odpowiednich kierunkach i odległościach. Na wyświetlaczu pokazane jest, w którym momencie skręcić i gdzie zawrócić. Dzięki przyporządkowaniu koloru do każdego przejazdu, na mapie pokrycia pola widać wszelkie ominięcia poprzez agregat rolniczy realizujący dany proces technologiczny.



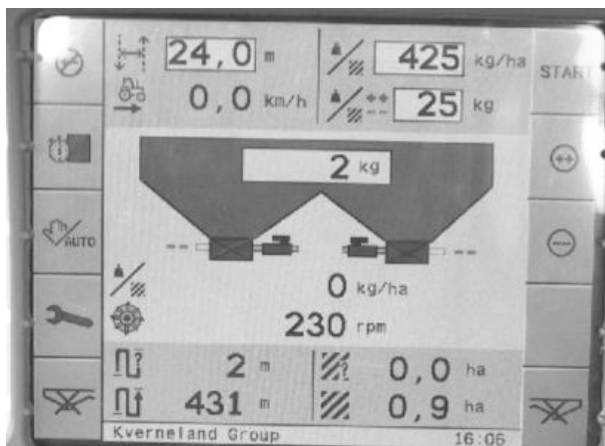
Źródło: [<http://app.claas.com>]

Rys. 13. Możliwości prowadzenia w rolnictwie precyzyjnym

ECU mogą zapewniać usługi dla Wirtualnego Terminala a następnie umożliwić wyświetlanie informacji na ekranie. ECU nie musi brać pod uwagę innych systemów łączonych z terminalem. Z punktu widzenia podmiotów gospodarczych, Wirtualny Terminal jest w stanie przełączać się na wyświetlanie informacji w jednym lub drugim systemie.

Opryskiwacz na przykład może bezpiecznie wykorzystywać terminal i wyświetlać skalę ciśnienia. Gdy panel opryskiwacza jest aktywny na ekranie Wirtualnego Terminala, u dołu lub z boku znajdują się klawisze powiązane z panelem. Operator również może przełączyć widok na inne panele. Wirtualny Terminal umożliwia pobierania adresu maski. Specyfika-

cja Wirtualnego Terminalu zapewni obsługę tekstową jak i graficzną. Istnieje możliwość rysowania linii jak również przejścia na wyższy poziom, który umożliwi wybieranie innych przyrządów pomiarowych. Elementy graficzne mogą również być wyświetlane za pomocą mapy bitowej.



Źródło: <http://info.amazone.de>

Rys.14. Wyświetlacz wirtualnego terminala



Źródło: [\[http://app.claas.com\]](http://app.claas.com)

Rys. 15. Przykładowy Wirtualny Terminal

Magistrala oraz protokół ISO 11783 umożliwia stosowanie kontrolerów zadaniowych. Polecenia mogą być ładowane jako zadania kontrolera, bezpośrednio z komputera i traktowane jak zarządzanie operacji a następnie dostarczane jako komenda do kontrolera urządzenia. Funkcjonalność owego kontrolera sprawdza się w systemach rolnictwa precyzyjnego. Sterowniki zawarte w kontrolerze mogą również wpływać na szybkość transferu danych do komputera zarządzającego.

Wiadomość zawiera zarówno adres źródłowy jak i docelowy, pozwalając na wysyłanie jego do danego ECU. Jeżeli dane wysyłamy za pomocą kontrolera realizującego, wiadomość zostanie wysłana za pomocą funkcji okrojonej.

2.3. OBD II w ciągnikach rolniczych

Na przestrzeni ostatnich lat można zaobserwować tendencje mające na celu ograniczenie emisji przez silniki ciągnikowe szkodliwych związków chemicznych do atmosfery. Jest to realizowane często przez wykorzystanie tych samych procedur i systemów, które są implementowane w technice motoryzacyjnej, a w szczególności w samochodach osobowych, dostawczych i ciężarowych. Norma ISO 11783 – ISOBUS dotyczy głównie współpracy zawieszanych lub zaczepianych maszyn z ciągnikiem rolniczym. Norma ta nie porządkuje spraw dotyczących oddziaływania na środowisko silników wysokoprężnych montowanych w ciągnikach.

Norma OBD II, za jej główne zadania uznaje kilka zasad:

- a) zmniejszenie ogólnego poziomu emisji związków toksycznych przez wprowadzenie procedur wykrywania niesprawności powodujących zwiększoną emisję związków, toksycznych zanim pojazd stanie się intensywnym źródłem zanieczyszczeń,
- b) zredukowanie czasu między wystąpieniem niesprawności a jej wykryciem i naprawą,
- c) usprawnienie procesu diagnostyki i naprawy uszkodzeń, które mogą spowodować zwiększoną emisję,
- d) ujednoczenie procedur diagnostycznych oraz metod dostępu do informacji diagnostycznych, która powinna być szeroko dostępna dla wszystkich zainteresowanych.

W celu wymiany informacji pomiędzy poszczególnymi modułami sterująco – diagnostycznymi wykorzystuje się magistralę CAN. W magistrali tej stosuje się różne protokoły przemysłowe lub specyficzne protokoły producentów, w tym protokół SAE J1939 (ISO 11992), który stosowany jest w pojazdach ciężarowych, autobusach i pojazdach specjalnych. Specyficznym protokołem komunikacyjnym jest ISO 11783 (ISOBUS) stworzony specjalnie dla pojazdów rolniczych i leśnych oraz do komunikacji z agregatowanymi maszynami.

Zawartość normy OBD II, która w głównej mierze dotyczy sterowania i procesem diagnostycznym silnika spalinowego, jest naturalnym uzupełnieniem normy ISO 11783, dotyczącej głównie współpracy ciągnika z maszyną rolniczą, i w powiązaniu z nią stanowi zbiór aktów prawnych określających kierunki rozwoju ciągników i maszyn rolniczych.

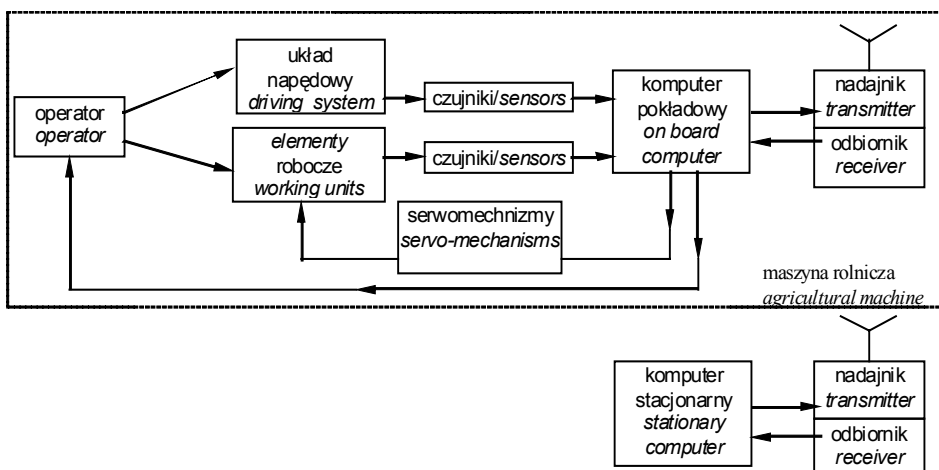
Najistotniejsze elementy standaryzacji przebiegu procesu sterowania i procedurami diagnostycznymi zawarte w normie OBD II zostały przedstawione w następujących sześciu dokumentach:

- J 1930 – Wspólne terminy i skróty do określania krytycznie emisyjnych elementów dla wszystkich wytwórców sprzedających samochody w USA.

- J 1962 – Wspólne złącze transmisji danych diagnostycznych DLC (*Data Link Connector*) - złącze pozyskiwania danych diagnostycznych) i jego położenie w samochodzie.
- J 1979 – Wspólny czytnik informacji diagnostycznych (*SAE Scan Tool*).
- J 2190 – Tryby pracy systemu diagnostycznego.
- J 2012 – Wspólne oznaczenia niesprawności -diagnostyczne kody niesprawności DTC (*Diagnostic Trouble Code*).
- SAE J 1850 – Protokół transmisji pomiędzy komputerem pokładowym a czytnikiem informacji diagnostycznej.

3. KONCEPCJA SYSTEMU DIAGNOSTYCZNEGO OPRACOWANEGO NA POTRZEBY EKSPLOATACJI MASZYN ROLNICZYCH

Wprowadzanie rolnictwa precyzyjnego stwarza konieczność użytkowania technicznie sprawnych maszyn i ciągłego monitorowania jakości ich pracy, aby poszczególne operacje technologiczne związane z uprawami były wykonywane zgodnie z ustalonym wcześniej harmonogramem. Jednocześnie operator maszyny przez cały czas jej użytkowania musi być informowany o jakości wykonywanej pracy, aby w przypadku wystąpienia jakichkolwiek nieprawidłowości w jej działaniu mógł w porę w odpowiedni sposób zareagować. Tak więc musi być zapewniony ciągły przepływ informacji pomiędzy maszyną rolniczą, operatorem oraz stacjonarnym komputerem gospodarstwa sterującym zdalnie aktualnie wykonywanym elementem procesu technologicznego uprawy. Zostaje w ten sposób stworzony zamknięty system przepływu informacji, co zostało przedstawione na rys. 16.

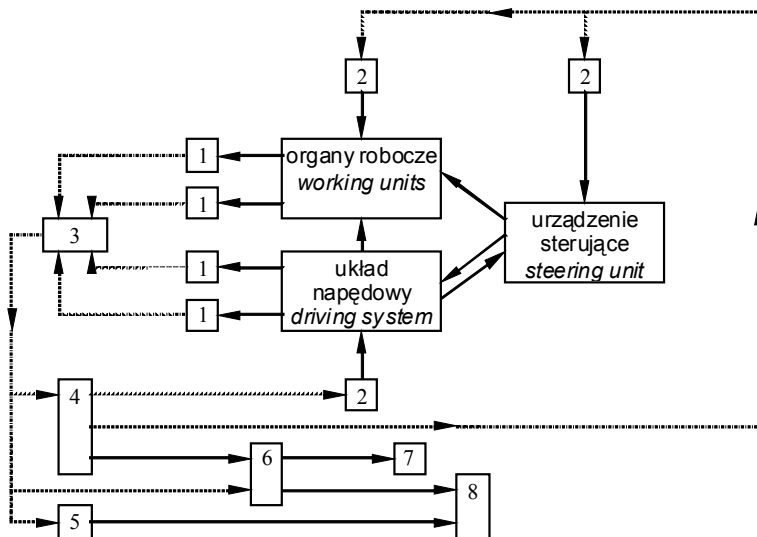


Źródło: opracowanie własne

Rys. 16. Schemat przepływu informacji pomiędzy maszyną rolniczą, operatorem i stacjonarnym komputerem gospodarstwa

W celu usprawnienia przepływu informacji pomiędzy poszczególnymi członami systemu komputer pokładowy maszyny rolniczej powinien być wyposażony w specjalistyczny system operacyjny nadzorczo -decyzyjny spełniający następujące funkcje:

- zbierania i przetwarzania danych z czujników pomiarowych,
- informowania operatora o aktualnym stanie technicznym maszyny rolniczej i jakości jej pracy,
- sterowania serwomechanizmami,
- wymiany informacji ze stacjonarnym komputerem gospodarstwa.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 17. Schemat przepływu informacji w maszynie rolniczej jako obiekcie komputeryzacji: 1 – czujniki pomiarowe, 2 – serwomechanizmy, 3 – moduły opracowywania danych z czujników pomiarowych, 4 – moduł sterowania serwomechanizmami, 5 – moduł archiwizacji danych, 6 – moduł wnioskowania diagnostycznego, 7 – monitor operatora maszyny, 8 – moduł wyjściowy do zewnętrznego systemu diagnostycznego

Informacje z czujników pomiarowych zbierane podczas pracy maszyny rolniczej są wykorzystywane w przestawionym wyżej systemie wielokrotnie i służą do:

- sterowania elementami roboczymi maszyny rolniczej,
- informowanie operatora maszyny o jakości wykonywanej przez maszynę pracy,
- w postaci zarchiwizowanej służą do sporządzenia historii użytkowania maszyny w celach zaplanowania zakresu niezbędnych napraw i obsługi oraz jako materiał uzupełniający bazy danych znajdującej się w stacjonarnym komputerze gospodarstwa,
- wykrywaniu stanów awaryjnych głównych węzłów funkcjonalnych maszyny rolniczej.

Podsumowując, informacje uzyskiwane z czujników pomiarowych zamontowanych na maszynie rolniczej można podzielić na dwie zasadnicze grupy:

- diagnostyczne,
- sterujące.

Na rys. 17 przedstawiono schemat pozyskiwania i przepływu informacji w maszynie rolniczej jako obiekcie diagnostycznym (proponycja autora).

Pozyskiwane informacje są niezbędne, aby eksploatowane maszyny rolnicze mogły być objęte systemem zarządzania jakością (TQD) [PN - ISO 9004 - 4 +AC4]. Jednym z podstawowych warunków wdrożenia w rolnictwie systemu zarządzania jakością jest precyzyjna dokumentacja przebiegu procesu technologicznego upraw oraz ciągła kontrola jakości pracy maszyn rolniczych. Ponieważ na jakość pracy bezpośredni wpływ ma stan techniczny maszyny rolniczej, monitorowaniem muszą dodatkowo być objęte ich główne węzły konstrukcyjne. Objęcie tym systemem maszyn rolniczych z jednej strony stawia nowe wymagania eksploatowanym maszynom rolniczym, z drugiej strony natomiast przynosi obniżkę kosztów eksploatacji maszyn, zmniejszenie nakładów na środki produkcji oraz zwiększenie wydajności i poprawę jakości ich pracy.

Aby informacje pozyskiwane z czujników mogły być w efektywny sposób wykorzystywane, powinny zostać poddane wstępnemu procesowi obróbki w czasie rzeczywistym i dopiero w takiej postaci archiwizowane bądź podawane na wejście modułu wnioskowania diagnostycznego. Ponieważ procesy zachodzące w głównych węzłach konstrukcyjnych maszyny w większości przypadków są nieliniowe i ich obróbka za pomocą tradycyjnych metod analitycznych jest trudna, należy opracować metodykę klasyfikacji danych pomiarowych oraz wnioskowania diagnostycznego wykorzystującą elementy sztucznej inteligencji. Metodyka ta będzie podstawą opracowania systemu operacyjnego komputera pokładowego maszyn rolniczych realizującego funkcje monitorowania głównych węzłów konstrukcyjnych, archiwizacji wstępnie przetworzonych danych z czujników pomiarowych oraz wnioskowania diagnostycznego (diagnozowania). Wymagania stawiane systemowi operacyjnemu, w który powinien być wyposażony komputer pokładowy maszyny rolniczej, są duże. System ten powinien:

- być wbudowany w komputer pokładowy maszyny rolniczej,
- być adaptowalny,
- być dostrajany,
- posiadać otwartą architekturę umożliwiającą szybkie poprawki,
- zajmować niewielki obszar pamięci operacyjnej komputera pokładowego.

4. KONCEPCJA SYSTEMU OPERACYJNEGO KOMPUTERA POKŁADOWEGO AGREGATU ROLNICZEGO

Informacje z czujników pomiarowych zbierane podczas pracy maszyny rolniczej są wykorzystywane w przedstawionym wyżej systemie wielokrotnie i służą do:

- sterowania układami roboczymi maszyny rolniczej,
- informowanie operatora maszyny o jakości wykonywanej przez maszynę pracy,
- w postaci zarchiwizowanej służą do sporządzenia historii użytkowania maszyny w celach zaplanowania zakresu niezbędnych napraw i obsługi oraz jako materiał uzupełniający bazy danych znajdującej się w stacjonarnym komputerze gospodarstwa,
- wykrywania stanów awaryjnych głównych węzłów funkcjonalnych maszyny rolniczej.

Ponieważ wiele z tych procesów zachodzi równocześnie, informacje uzyskiwane z czujników powinny być przetwarzane równoległe według odpowiednich algorytmów. Budowa komputera pokładowego jako urządzenia jednoprocessorowego o przetwarzaniu równoległym wprawdzie jest możliwa, ale w znaczącym stopniu podnosi jego koszt i jest trudna do realizacji i oprogramowania. Natomiast sprzętowa realizacja komputera jako urządzenia wieloprocessorowego opartego na tanich mikrokontrolerach jest technicznie znacznie prostsza w realizacji i umożliwia modułową budowę komputerów pokładowych. Komunikacja pomiędzy poszczególnymi modułami odbywać się powinna z wykorzystaniem powszechnie stosowanego w automatyce protokołu i magistrali np. I2C, CAN, LIN. Zastosowanie magistrali I2C umożliwia łączenie poszczególnych modułów między sobą przy pomocy 3 przewodów oraz proste dołączenie zewnętrznych urządzeń pomiarowych bezpośrednio do każdego modułu. Równocześnie nie bez znaczenia jest fakt, iż oprogramowanie pewnych podstawowych modułów komputera będzie niezależne od sposobu jego wykorzystania (np. moduł wizualizacji danych pomiarowych, moduł archiwizacji) co we znacznym stopniu obniży koszty.

Zastosowanie modułowej budowy pokładowych systemów diagnostycznych umożliwi konstruowanie komputerów pokładowych nie dla pojedynczych zaczepianych i zawieszanych maszyn rolniczych, lecz wspólnego dla całego agregatu rolniczego. W takim wypadku konieczne będzie poszerzenie układu wnioskowania diagnostycznego ciągnika o dodatkowe moduły współpracujące z zestawem czujników zamontowanych na zagregowanej z ciągnikiem maszynie. Wymiana współpracującej z ciągnikiem maszyny spowodować będzie konieczność wymiany modułu wnioskowania diagnostycznego maszyny rolniczej. Rozwiązanie tego problemu, w wypadku zastosowania sieci neuronowych jako modułu wnioskowania diagnostycznego, sprowadza się jedynie do wymiany niewielkiego zbioru liczbowego zawierającego wagi połączeń międzywarstwowych. Nie jest konieczna każdorazowa wymiana modułu obliczeniowego. Z uwagi na niewielkie wielkości zbiorów wag

dla poszczególnych problemów diagnostycznych w komputerze pokładowym ciągnika mogą zostać zaimplementowane systemy diagnostyczne dla wszystkich współpracujących z danym ciągnikiem maszyn. Rodzaj aktualnie zagregowanej z ciągnikiem maszyny może być wprowadzany do komputera pokładowego ciągnika albo ręcznie z użyciem klawiatury komputera pokładowego ciągnika, albo automatycznie (w tym wypadku rozpoznanie rodzaju maszyny odbywać się będzie za pomocą wtyku łączącego czujniki wbudowane w maszynę z komputerem pokładowym ciągnika).

System operacyjny komputera pokładowego agregatu rolniczego powinien składać się z następujących elementów:

- jądro,
- powłoka związana z ciągnikiem,
- powłoka związana ze zagregowaną maszyną,
- powłoka archiwizująca dane pomiarowe.

Jądro systemu zawiera wszystkie procedury związane z obsługą portów wejścia – wyjścia (tzn. obsługa wyświetlaczy LCD oraz kontrolki sygnalizujących stany graniczne, obsługę klawiatury, ewentualnie procedury diagnostyczne zamontowanych czujników i przetworników pomiarowych). Zadaniem jądra systemu operacyjnego będzie wzajemne powiązanie poszczególnych modułów komputera pokładowego i zapewnienie poprawnego przepływu informacji między nimi.

Powłoka powiązana z ciągnikiem służy do kontroli jakości pracy podstawowych węzłów funkcjonalnych ciągnika, który oprócz funkcji transportowych maszyny rolniczej stanowi równocześnie dla niej źródło napędu. Procedury zawarte w tej powłoce wykorzystywane będą do celów diagnostycznych ciągnika rolniczego jak też do celów sterowania niektórymi serwomechanizmami zagregowanej maszyny rolniczej.

W skład powłoki powiązanej ze zagregowaną maszyną wchodzić będą procedury sterująco-diagnostyczne dla danego rodzaju i typu maszyny rolniczej. W trakcie agregowania maszyny z ciągnikiem komputer pokładowy powinien samoczynnie rozpoznać rodzaj maszyny i poprzez wyświetlenie odpowiedniego komunikatu zażądać od operatora przeprogramowania komputera pokładowego. Nie wykonanie tej czynności powinno uniemożliwić operatorowi agregatu wykonania nim pracy. Najlepszym rozwiązaniem byłoby wyposażenie tej powłoki w mechanizmy technologii „PLUG AND PLAY”. W tym przypadku komputer pokładowy ciągnika pracującego w danym gospodarstwie musiał by być tylko raz zaprogramowany danymi i procedurami obsługującymi maszyny rolnicze, które będą z nim współpracowały. Uwolni to operatora agregatu od konieczności każdorazowego przeprogramowania komputera pokładowego. W powłoce tej powinny znajdować się procedury obliczeniowe służące do wstępnego przetwarzania sygnałów uzyskanych z czujników i przetworników pomiarowych zamontowanych w maszynie rolniczej. Wykorzystać w tym celu można metody sztucznej inteligencji a zwłaszcza sztuczne sieci neuronowe.

Ostatnim elementem systemu operacyjnego komputera pokładowego powinien być moduł archiwizacji danych. Moduł ten powinien umożliwić odtworzenie przebiegu pracy agregatu ciągnikowego. Jest to ważne zarówno dla udokumentowania jakości wykonanej pracy jak i odtworzenia historii zachowań całego agregatu ciągnikowego z punktu widzenia serwisu obsługowo-naprawczego. Dane zebrane podczas pracy maszyny będą umożliwiały prawidłową ocenę stanu technicznego całego agregatu, jak też i poszczególnych zespołów funkcjonalnych wchodzących w skład agregatu.

Z modulem tym powinien móc współpracować zewnętrzny, stacjonarny system diagnostyczny.

Powłoki powiązane zarówno z ciągnikiem rolniczym jak i maszyną rolniczą powinny być wyposażone w podprogram samodiagnozy. Zadaniem tego podprogramu była by kontrola wszystkich czujników i przetworników pomiarowych przed rozpoczęciem pracy agregatu maszynowego.

5. MODELE FUNKCJONALNE DLA POTRZEB DIAGNOSTYKI

5.1. Budowa modeli funkcjonalnych

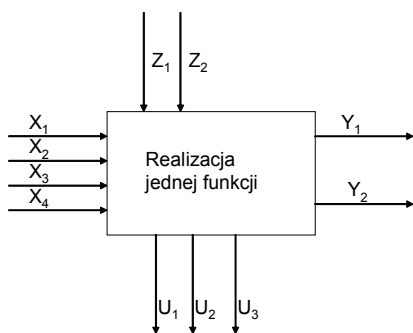
Model funkcjonalny na przykładzie istniejących rozwiązań konstrukcyjnych opryskiwaczy ma na celu stworzenie układu kontrolno - pomiarowego, dla potrzeb monitoringu jakości jego pracy pod względem wymagań technicznych, a tym samym ściśle z nimi związanych wymagań technologicznych i agrotechnicznych.

Model obiektu winien być na tyle ogólny i abstrakcyjny, aby dało go się wykorzystać do analizowania całych klas obiektów różnych typów urządzeń o takim samym lub podobnym przeznaczeniu. Jednocześnie winien umożliwiać uwzględnienie szczególnych właściwości różnych obiektów w danej klasie. Najdogodniejsze są modele analityczne, w których do opisu przebiegu procesów zachodzących w obiektach wykorzystywana jest wiedza matematyczna. Jednakże dla złożonych obiektów modele te są często tak skomplikowane, że nie nadają się do praktycznego wykorzystania. W związku z tym do rozwiązania zadań diagnostyki technicznej wykorzystuje się bardziej proste modele funkcjonalne.

Przy budowie modelu obiektu należy przeanalizować poniższe czynniki:

- cel wykonywania badań diagnostycznych – kontrola zdatności czy lokalizacja niesprawności,
- przeznaczenie obiektu,
- zbiór elementów obiektu, wystarczających do pełnej kontroli jego stanu technicznego,
- zasada działania i wykonywane funkcje,
- powiązania funkcjonalne elementów obiektu,
- warunki pracy,
- warunki zewnętrzne towarzyszące pracy obiektu,
- charakter sprzężeń zwrotnych.

Podstawą budowy modelu funkcjonalnego jest przedstawienie graficzne maszyny jako bloków funkcjonalnych (rys. 18). Każdy blok funkcjonalny jest opisany parametrami wejścia oraz parametrami wyjścia. Na wyjściu bloku funkcjonalnego może być tylko jedna reakcja na sumę bodźców. Wejście opisane zostało $X_1 \dots X_n$ a wyjście $Y_1 \dots Y_m$. Na blok mogą oddziaływać zakłócenia zewnętrzne Z_i , które mogą mieć wpływ na realizowaną przez niego podstawową funkcję. Podczas realizacji przez dany blok podstawowej funkcji mogą powstawać sygnały uboczne U_j . Są to sygnały które są generowane przez dany blok w następstwie realizacji przez niego funkcji podstawowej (np. w silniku spalinowym jest to ciepło, drgania lub hałas). Sygnały uboczne mogą być nośnikiem istotnych informacji diagnostycznych. Jednak nie we wszystkich przypadkach uwzględnia się zakłócenie oraz sygnały uboczne, dla przejrzystości wykorzystując tylko parametry wejść X i wyjść Y .



źródło: opracowanie własne

Rys. 18. Funkcjonalny blok obiektu gdzie: $X_{1...4}$ – parametry wejściowe, $Y_{1,2}$ – parametry wyjściowe po realizacji funkcji bloku, $Z_{1,2}$ – zakłócenia, $U_{1...3}$ – sygnały poboczne

Funkcje wyjściowe jednego bloku mogą być wejściowe dla drugiego, oprócz tego należy dodatkowo założyć, że:

- powiązania między elementami odwzorowują połączenia w schemacie funkcjonalnym, a linie łączące poszczególne bloki nie ulegają przerwaniu,
- uwzględnia się parametry przekazywane między blokami, których stany graniczne są znane [Hebda i in. 1978].

W procesie eksploatacji maszyny rolnicze ulegają fizycznemu starzeniu na skutek zużycia ich zespołów i elementów, spowodowanemu procesami tarcia, korozji, zmęczenia materiału itp. W wyniku tego zmniejsza się niezawodność i trwałość maszyny, zwiększa natomiast koszt jej eksploatacji. W celu opracowania obiektywnego, sprawnego i wydajnego systemu diagnostycznego niezbędne jest zbudowanie modelu do celów diagnostycznych, który zobrazuje wzajemne powiązania i wpływ na siebie poszczególnych bloków funkcji urządzenia technicznego [Kaczorowski i in. 1994].

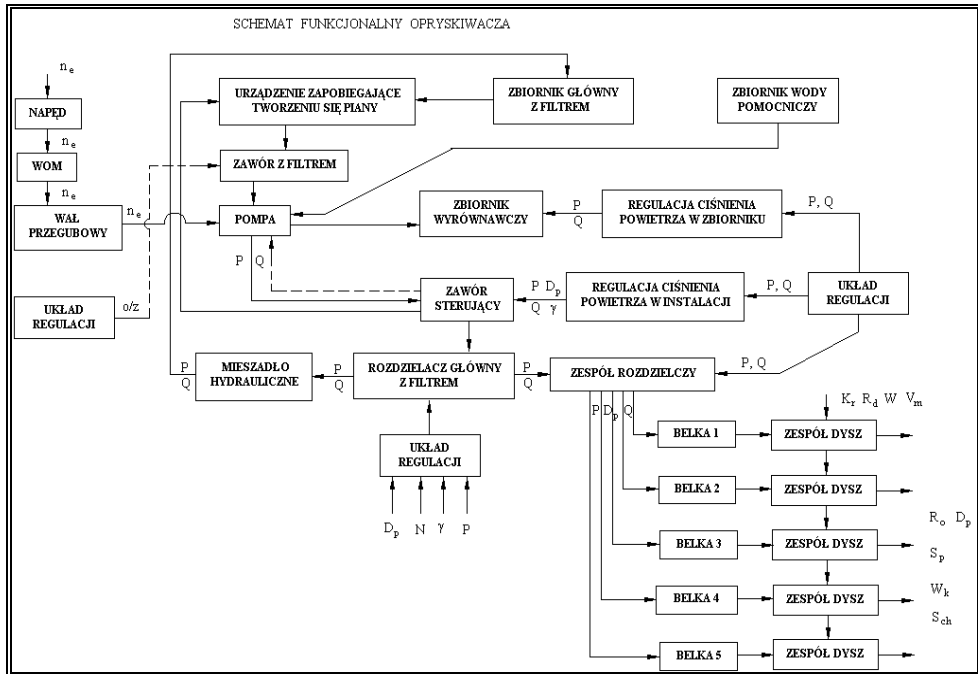
5.2. Przykładowe modele funkcjonalne sprzętu rolniczego

Modele funkcjonalne w wielu przypadkach są podstawą przy opracowaniu strategii diagnozowania maszyny rolniczej lub dowolnego urządzenia technicznego. Przedstawione poniżej przykłady modeli funkcjonalnych mają na celu zobrazowanie istoty tych modeli w procesie diagnostycznym.

5.2.1. Model funkcjonalny opryskiwacza

Uwzględniając założenia z rozdziału 5.1 oraz po przeprowadzeniu analizy z zakresu budowy opryskiwacza został opracowany model funkcjonalny przedstawiony na rysunku 19.

Opracowany model funkcjonalny opryskiwacza został sporządzony na podstawie literatury [Mieszkański 1996; Hebda i in. 1978] oraz instrukcji obsługi opryskiwacza P031/1 „Termit 303”. W tym modelu schematu funkcjonalnego opryskiwacza określono zbiory sygnałów diagnostycznych, które są nośnikami informacji o aktualnym stanie technicznym poszczególnych bloków opryskiwacza.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 19. Schemat funkcjonalny opryskiwacza, gdzie: n_e – prędkość obrotowa wału napędowego, K_r – kąt rozpylenia, R_d – rozstaw dysz, W – wysokość belki polowej, V_m – prędkość maszyny, γ – ciężar właściwy cieczy, P – ciśnienie, Q – natężenie przepływu, R_o – równomierność oprysku, D_p – dawka preparatu na jednostkę powierzchni, S_p – stopień pokrycia, W_k – wielkość kropli, S_{ch} – stężenie środka chemicznego, o/z – otwarcie zamknięcie

Przedstawiony model jest modelem ogólnym, wystarczającym jednak do wyznaczania parametrów diagnostycznych, niezbędnych do określenia stanu technicznego poszczególnych węzłów konstrukcyjnych opryskiwacza.

Schemat funkcjonalny opryskiwacza pozwolił wyodrębnić dwie grupy parametrów: parametry wejścia i wyjścia oraz relacje pomiędzy blokami modelu (wzajemne powiązania między blokami funkcjonalnymi).

Parametry wyjściowe opryskiwacza, które mają wpływ na jakość oprysku to:

- równomierność oprysku – R_o ,
- dawka preparatu na jednostkę powierzchni – D_p [$l \cdot ha^{-1}$, $kg \cdot ha^{-1}$],
- stopień pokrycia uprawy preparatem – S_p ,
- wielkość kropli – W_k ,
- stężenie procentowe środka chemicznego – S_{ch} .

Kluczowymi parametrami układu opryskiwacza, które mają wpływ na parametry wyjściowe, a tym samym na jakość oprysku są:

- prędkość maszyny – V_m [$m \cdot s^{-1}$],
- prędkość obrotowa wału napędowego WOM – n_e [$obr \cdot min^{-1}$],
- ciśnienie w układzie hydraulicznym – P [MPa].

Prędkość maszyny

Prędkość maszyny jest związana z poślizgiem kół napędowych ciągnika. Poślizg zakłóca równomierność poprzeczną oprysku, określa go wyrażenie:

$$\delta = \frac{n_t - n_{rz}}{nrz} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:

- n_t – teoretyczna liczba obrotów koła [$1 \cdot s^{-1}$];
- n_{rz} – rzeczywista liczba obrotów koła.

Wartość poślizgu zależy od siły obwodowej na kołach napędowych i od ich obciążenia. Zależność tą przedstawia współczynnik wykorzystania przyczepności:

$$\phi = \frac{F_k}{Y_k} \quad (2)$$

gdzie:

- F_k – siła obwodowa na kołach napędowych [N];
- Y_k – obciążenie kół napędowych [N].

Przekładnia glebowa czyli poślizg jest najsłabszym punktem trakcji ciągnika. Może on przyjmować bardzo duże wartości, na polu spulchnionym jego wartość może przekraczać nawet 20%. Powoduje to pulsacyjny charakter pracy agregatu (przyspieszanie i zwalnianie), co będzie w konsekwencji prowadziło do chwilowego zagęszczenia i rozrzedzenia nawozu lub środka chemicznego na opryskiwanym obszarze. Jest to na pewno jeden z pierwszych wskaźników, który należałoby poddać monitorowaniu w celu poprawienia równomierności poprzecznej oprysku.

Zmiennej prędkości maszyny raczej się nie pozbedziemy, nawet przy zachowaniu stałej mocy silnika – poślizg będzie istniał nadal. Dlatego należałoby bezpośrednio powiązać układ regulacji opryskiwacza z informacją o aktualnej prędkości maszyny, która różnicowałaby zadaną dawkę środka chemicznego. Wynika to z charakteru pracy opryskiwacza, tzn. wydatku środka chemicznego na jednostkę powierzchni. Dlatego też dawka cieczy opryskującej powinna być różnicowana w oparciu o rzeczywistość przebytą drogę po wyeliminowaniu poślizgu kół napędowych ciągnika.

Prędkość obrotowa WOM-u

Powszechnie wiadomo, że trudno jest utrzymać stałą prędkość obrotową WOM-u na poziomie obrotów nominalnych czyli 540 obr/min. Zastanówmy się co ma wpływ na zmianę tej wartości w czasie pracy maszyny. Z analizy warunków zewnętrznych w jakich pra-

uje maszyna wynika, że są to przede wszystkim bardzo zmienne warunki trakcyjne panujące na powierzchni pola, prowadzi to do chwilowych wzrostów oporów jazdy ciągnika, na pokonanie których musi być wydatkowana dodatkowa moc, co pociąga zazwyczaj spadek obrotów silnika i ma wpływ na zmianę prędkości WOM, a co za tym idzie zakłóca pracę pompy, zmienia natężenie przepływu w układzie i wpływa na parametry wyjściowe opryskiwacza. Stąd też kluczowym zagadnieniem dla jakości pracy opryskiwacza jest źródło napędu pompy, zapewniające niezmienną prędkość wału mimośrodowego pompy.

Ciśnienie w systemie hydraulicznym opryskiwacza

Ciśnienie w układzie hydraulicznym opryskiwacza wpływa na jakość oprysku, a zwłaszcza na wielkość kropli cieczy, tym samym jest obrazem pracy poszczególnych elementów konstrukcyjnych układu hydraulicznego tegoż opryskiwacza.

Rozmiar kropli określany jest według jej średnicy. Ze względu na dużą różnorodność rozmiarów kropli, przydatne jest statystyczne podsumowanie tego zjawiska, gdzie ilość danych musi być ograniczona do reprezentatywnych wymiarów kropli rozpylanych podczas oprysku oraz umożliwia podział na poszczególne klasy wielkości kropli: bardzo drobne, drobne, średnie, duże i bardzo duże.

Ten sam rozpylacz może wytwarzać krople o różnej wielkości w zależności od ciśnienia w belce polowej opryskiwacza. Wzrost ciśnienia powoduje zwiększenie prędkości wypływu cieczy roboczej z końcówek rozpylających, a tym samym lepsze jej rozpylenie.

W miarę wzrastania ciśnienia, wielkość kropli ulega zmniejszeniu, a zmniejszanie ciśnienia w tym samym rozpylaczu powoduje zwiększenie rozmiarów kropel. Przy czym zaliczenie oprysku do drobno-, średnio-, lub grubokroplistego odbywa się na zasadzie udziału procentowego poszczególnych wielkości kropli.

W zależności od typu oraz wielkości rozpylacza ciśnienie robocze może mieć duży wpływ na wartość kąta strumienia oraz jakość rozpylenia cieczy. Obniżenie ciśnienia powoduje zmniejszenie kąta strumienia oraz znaczne zmniejszenie pokrycia opryskiwanej powierzchni przy jednoczesnym zwiększeniu zużycia cieczy roboczej.

Dawka preparatu na jednostkę powierzchni jest ustalona według potrzeb agrotechnicznych i zaleceń producenta. Zakłócenie tego parametru może być spowodowane niekontrolowanymi spadkami ciśnienia, poniżej dopuszczalnych wartości, które powodować będzie np. zmniejszenie dawki preparatu na jednostkę powierzchni (wiąże się to również ze spadkiem natężenia przepływu, a tym samym z wydatkiem cieczy roboczej), w skrajnych przypadkach może wystąpić kroplenie, a nie rozpryskiwanie środka chemicznego (przy dużych spadkach ciśnienia).

Ciśnienie w układzie hydraulicznym wiąże się z innymi ważnymi parametrami układu jak: natężenie przepływu i ciężar właściwy cieczy roboczej, które mają wpływ na parametry wyjściowe, a których pomiar można wyeliminować znając zależności pomiędzy nimi a ciśnieniem.

Natężenie przepływu cieczy roboczej

Natężenie przepływu zmienia się wraz z ciśnieniem. Zadaniem instalacji hydraulicznej jest umożliwienie przepływu cieczy roboczej o założonym natężeniu – Q , przy danej różnicy ciśnień między obydwoma końcami instalacji hydraulicznej opryskiwacza. Obliczenie instalacji sprowadza się do określenia strat ciśnienia na całej długości oraz do sprawdzenia czy ciśnienia w instalacji nie spadają poniżej dopuszczalnych.

Na straty ciśnienia w instalacji składają się straty wskutek tarcia przy przepływie przez odcinki przewodu i straty na pokonanie oporów miejscowych w przewodach oraz straty przy wypływie cieczy przez dysze, co obrazuje nam wyrażenie:

$$\sum \Delta h_s = \sum \Delta h_{st} + \sum \Delta h_{sm} + \Delta h_{sw} \quad (3)$$

gdzie:

- $\sum \Delta h_s$ – suma strat w instalacji [Pa],
- $\sum \Delta h_{st}$ – suma strat wskutek tarcia przy przepływie przez odcinki przewodu [Pa],
- $\sum \Delta h_{sm}$ – suma strat na pokonanie oporów miejscowych instalacji [Pa],
- Δh_{sw} – straty ciśnienia przy wypływie cieczy przez dysze [Pa].

W celu dwukrotnego zwiększenia natężenia przepływu ciśnienie musi być podniesione czterokrotnie, uwzględniając jego straty na poszczególnych odcinkach instalacji hydraulicznej, co przedstawia zależność:

$$\Delta P = r h \cdot Q^2 \quad (4)$$

gdzie:

- ΔP – spadek ciśnienia [MPa];
- r_h – opór hydrauliczny;
- Q – natężenie przepływu [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$].

Znając ciśnienia w poszczególnych miejscach instalacji można wyeliminować pomiar natężenia przepływu, jednak w ramach kontrolnych można zainstalować przepływomierze na końcowym odcinku instalacji, a mianowicie na przewodach zasilających poszczególne sekcje belki opryskowej.

Ciężar właściwy cieczy

Ze względu na stopień pokrycia uprawy środkiem chemicznym ważny jest jego ciężar właściwy. Generalnie ciecze o ciężarze właściwym większym niż woda mają większą lepkość i tworzą strumienie o relatywnie mniejszych kątach, podczas gdy ciecze o ciężarze właściwym mniejszym niż woda mają napięcie powierzchniowe niższe i będą tworzyły strumienie o szerszych kątach przy tym samym ciśnieniu. Parametr ten jest jeszcze ważny ze względu na większe straty ciśnienia w instalacji dla cieczy o większej lepkości i to również trzeba uwzględnić przy technologii precyzyjnego oprysku. W tej sytuacji, należy operować właściwym zakresem ciśnień roboczych lub dobierać rozmiar rozpylacza w oparciu o współczynniki przeliczeniowe przy danym ciśnieniu.

Zależność zmiany ciśnienia w stosunku do ciężaru właściwego cieczy przedstawia zależność:

$$\Delta P = \frac{\gamma \cdot v^2}{2g} \quad (5)$$

gdzie:

- ΔP - spadek ciśnienia [bar],
- γ - ciężar właściwy [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$],
- v - prędkość cieczy [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$],
- g - przyspieszenie ziemskie [$\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$].

Wiążącą zależnością pozwalającą wyeliminować pomiar natężenia przepływu cieczy roboczej oraz ograniczyć się tylko do kontroli ciśnienia w poszczególnych punktach instalacji uwzględniającą również ciężar właściwy cieczy, jest:

$$Q = \mu F_s \sqrt{\frac{\Delta P \cdot 2g}{\gamma}} \quad (6)$$

gdzie:

- Q – natężenie przepływu [$\text{dcm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$],
- μ – współczynnik wypływu,
- F_s – pole przekroju [mm^2],
- γ – ciężar właściwy [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$],
- ΔP – różnica ciśnień [bar],
- g – przyspieszenie ziemskie [$\text{m} \cdot \text{sec}^{-2}$].

5.2.2. Model funkcjonalny siewnika punktowego Monosem

Model funkcjonalny na przykładzie siewnika punktowego Monosem ma na celu stworzenie układu kontrolno – pomiarowego, który będzie monitorował jakość pracy siewnika precyzyjnego pod względem wymagań technicznych i ściśle związanymi z nimi wymagań technologicznych i agrotechnicznych.

W odniesieniu do wyżej wymienionych wytycznych powstał model funkcjonalny, został sporządzony na podstawie instrukcji obsługi siewnika punktowego Monosem NG Plus.

W tym modelu funkcjonalnym siewnika (rys. 20) określono zbiory sygnałów diagnostycznych, które są nośnikami informacji o aktualnym stanie technicznym poszczególnych bloków funkcjonalnych siewnika. Jest to model ogólny, wystarczający jednak do wyznaczenia parametrów diagnostycznych, niezbędnych do określenia stanu technicznego poszczególnych węzłów konstrukcyjnych siewnika punktowego.

Na podstawie schematu funkcjonalnego siewnika precyzyjnego, można stwierdzić wzajemne powiązania funkcjonalne pomiędzy poszczególnymi blokami siewnika precyzyjnego.

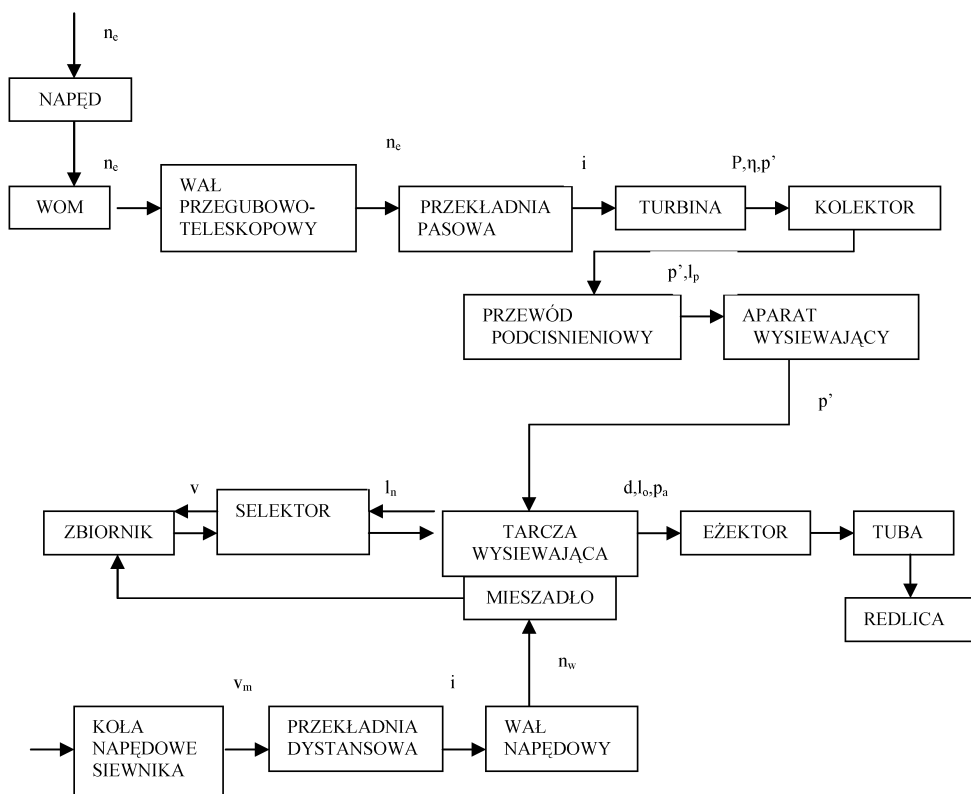
Schemat funkcjonalny siewnika punktowego pozwolił wyodrębnić dwie grupy parametrów; parametry wyjściowe i parametry bloków funkcjonalnych siewnika oraz ich wzajemne powiązania.

Decydujący wpływ na jakość wykonywanego siewu ma dobór odpowiednich parametrów dla poszczególnych rodzajów nasion, są dwa sposoby kontrolowania siewu: dobór odpowiedniej tarczy wysiewającej do danego rodzaju nasion, ustawienie przekładni dystansowej w celu uzyskania odpowiednich odległości nasion w rzędzie oraz dopasowanie siły zasysania (turbiny) do ciężaru właściwego wysiewanych nasion.

Na siewniku zamontowane są fotokomórki (umieszczone na nasieniowodzie, a od roku 2006 jest stosowana wiązka z fotokomórkami umieszczona tuż pod aparatem wysiewającym) które przesyłają impulsy do kontrolera wysiewu, który z kolei informuje operatora o przebiegu pracy, kontroluje prędkość pracy.

Parametry wyjściowe siewnika, które mają wpływ na jakość siewu i które są określane przez użytkownika to:

- gęstość siewu,
- obsada ziarna na hektar,
- rodzaj nasion.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 20. Schemat funkcjonalny siewnika MONOSEM NG Plus, gdzie: n_e – prędkość obrotowa wału napędowego, N – moc turbiny, Q – wydajność turbiny, η – sprawność turbiny, p – podciśnienie, l_p – liczba przewodów doprowadzających podciśnienie, d – średnica tarczy, l_o – liczba otworów w tarczy, d_o – średnica otworów w tarczy, p_a – ciśnienie atmosferyczne (przy wylocie tarczy do redlicy), v – pojemność zbiornika, v_m – prędkość obrotowa mieszadła, n_t – tarczy wysiewającej, n_w – wału napędowego siewnika, l_n – liczba rozdzielonych nasion ze zbiornika, v_m – prędkość maszyny, δ – poślizg, i – liczba przełożeń, ρ – gęstość wysiewu

Parametrami układu siewnika, które mają wpływ na parametry wyjściowe, a tym samym na jakość siewu są:

- prędkość maszyny v_m [$\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$],
- prędkość obrotowa wału napędowego WOM – n_e [$\text{obr}\cdot\text{min}^{-1}$],
- podciśnienie wytwarzane przez turbinę – P [Pa , bar].

Na skutek eksploatacji i zużywania się poszczególnych elementów składowych powyższe parametry mogą ulec zmianie, powodując tym samym obniżenie jakości pracy siewnika.

Napęd WOM (na ciągniku): wymagana prędkość obrotowa dla napędzania turbiny wynosi $540 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$.

Parametry wpływające na zachowanie poprawnej pracy siewnika:

- prędkość obrotowa WOM

Spadek prędkości obrotowej WOM na ciągniku prowokuje niższe podciśnienie w aparacie wysiewającym i może powodować odrywanie się ziarna od otworów tarczy wysiewającej przed osiągnięciem odpowiedniej strefy, w rezultacie uzyskuje się nierównomierny wysiew ziarna co za tym idzie następuje złe dozowanie czego wynikiem są przepusty w siewie

Wzrost prędkości obrotowej WOM nie wpływa na jakość siewu, może natomiast być powodem uszkodzenia turbiny. Siew może więc być zupełnie niemożliwy.

Analizując warunki zewnętrzne, w jakich pracuje maszyna wynika, że są to przede wszystkim bardzo zmienne warunki trakcyjne panujące na powierzchni pola. Prowadzi to do chwilowych wzrostów oporów jazdy ciągnika, na pokonanie, których musi być wydatkowana dodatkowa moc, co pociąga zazwyczaj spadek obrotów silnika i ma wpływ na zmianę prędkości WOM, a co za tym idzie zakłóca prace turbiny. Stąd też kluczowym zagadnieniem dla jakości pracy siewnika jest źródło napędu turbiny, zapewniające niezmienną prędkość obrotową wału przegubowego.

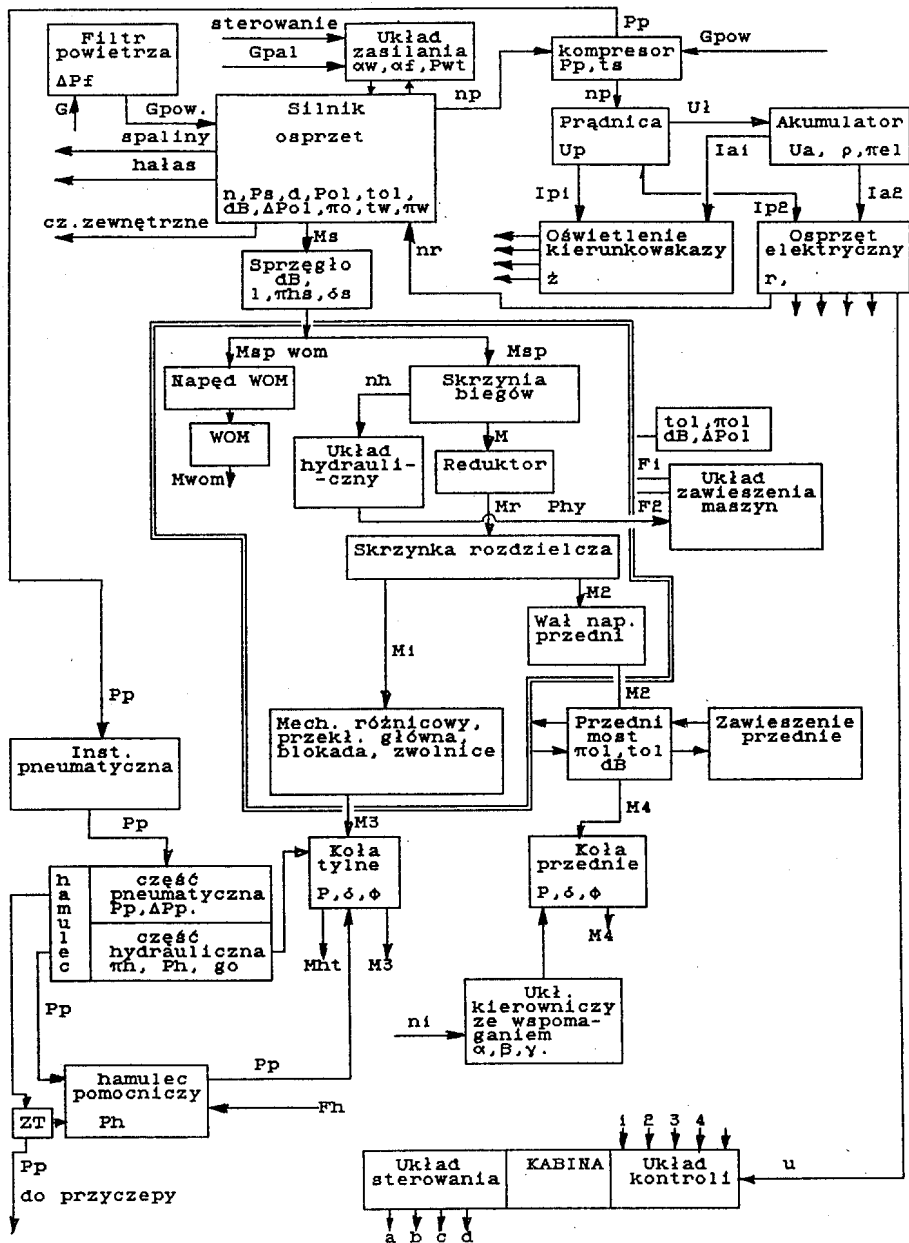
- prędkość robocza maszyny

Prędkość robocza musi być dobrana w zależności od pożądanej regularności siewu w rzędzie, warunków pracy i gęstości wysiewu. Zbyt wysoka prędkość robocza może tylko negatywnie wpłynąć na równomierność siewu, zwłaszcza na glebie zakamienionej, która powoduje wstrząsy sekcji wysiewającej. Zbyt duża gęstość siewu powoduje szybsze obroty tarczy, co w połączeniu z dużą prędkością, źle wpływa na selekcję nasion i ich dozowanie.

Zalecana prędkość robocza w przedziale $5\text{--}6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ zapewni w większości występujących warunków poprawne wyniki w przypadku siewu ze średnimi gęstościami, jak np. kukurydza, słonecznik, burak. podczas siewu kukurydzy prędkość $7\text{--}9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ jest również możliwa. Powyżej tej prędkości siew staje się mniej dokładny. Przyczyny: turbina ma mniej czasu na poprawne przyssanie ziarna do tarczy wysiewającej. Jeśli tarcza kręci się zbyt szybko (napęd jest przenoszony z kół siewnika), ziarna nie mają czasu na odpowiednie przylegnięcie do otworów tarczy, dlatego jest zalecana niska prędkość robocza ($5\text{--}7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$). Turbina wytwarza podciśnienie w aparacie wysiewającym rzędu ok. 60 mbar – ów, spadek podciśnienia wynikających ze zbyt niskich obrotów napędu WOM powoduje spadek podciśnienia a przez to wpływa na jakość wysiewu.

5.2.3. Model funkcjonalny ciągnika rolniczego

Na rysunku 21 przedstawiono opracowany na postawie literatury oraz dokumentacji eksploatacyjnej model funkcjonalny ciągnika rolniczego. Przedstawiony model funkcjonalny nie odnosi się do konkretnego typu ciągnika, gdyż w zamierzeniach ma on być modelem uniwersalnym ujmującym większość zespołów występujących w różnych typach i modelach ciągników rolniczych. Dostosowanie prezentowanego modelu funkcjonalnego do konkretnego modelu ciągnika polegać będzie na usunięciu z niego zbędnych (nie występujących) w danym modelu zespołów funkcjonalnych.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 21. Model funkcjonalny ciągnika rolniczego

Oznaczenia parametrów użyte w prezentowanym na rys.21 modelu funkcjonalnym są następujące:

- z – obrys elementów zblokowanych,
- (1...5...) – sygnały do układu kontroli,
- α, β, γ – kolejno kąty: wyprzedzenia sworznia zwrotnicy, pochylenia koła, pochylenia sworznia zwrotnicy,
- α_r – kąt różnicy początku wtrysku pomiędzy poszczególnymi sekcjami pompy wtryskowej,
- α_w – kąt początku wtrysku paliwa,
- (a...d...) – impulsy sterownicze,
- δ – poślizg kół jezdnych,
- δ_s – poślizg sprzęgła,
- ΔP_f – spadek ciśnienia powietrza w filtrze,
- ΔP_{pi} – szczelność instalacji powietrznej,
- ΔP_{ol} – spadek ciśnienia oleju w filtrze,
- d – zadymienie (skład) spalin,
- dB – hałaśliwość pracy,
- Φ – opór toczenia kół jezdnych,
- F_1, F_2 – siły oddziaływania rama – zawieszenie i zawieszenie – rama,
- F_h – siła zaciągnięcia hamulca ręcznego,
- G – ilość powietrza atmosferycznego,
- G_{pal} – ilość paliwa dostarczonego do silnika,
- G_{pow} – ilość powietrza dostarczonego do silnika,
- g_o – grubość okładzin ciernych hamulców,
- I_a – natężenia prądu akumulatora,
- I_p – natężenie prądu prądnicy,
- l – luz pedału sprzęgła,
- M – moment skrzyni biegów,
- M_1 – moment na półosiach kół przednich,
- M_2 – moment na półosiach kół tylnych,
- M_3 – moment napędowy kół przednich,
- M_4 – moment napędowy kół tylnych,
- M_h – moment hamowania,
- M_r – moment wzmocniony w reduktorze,
- M_s – moment silnika,
- $M_{sp}, (M_{sp} \text{ wom})$ – moment sprzęgła, (sprzęgła wału odbioru mocy),
- n – obroty silnika,
- n_h – obroty napędu pompy hydraulicznej,
- n_p – obroty prądnicy,
- n_r – obroty rozruchu,
- n_w – napęd wspomagania,
- π_{el} – poziom elektrolitu,
- π_h – poziom płynu hamulcowego,
- π_{hs} – poziom płynu wspomagania sprzęgła,
- π_o – poziom oleju,

π_w	– poziom cieczy chłodzącej,
P	– ciśnienie powietrza w kołach,
P_{hy}	– ciśnienie oleju w siłowniku,
P_h	– równomierność siły hamowania,
P_o	– ciśnienie oleju,
P_p	– ciśnienie w instalacji pneumatycznej,
P_s	– ciśnienie sprężania,
P_{wt}	– ciśnienie wtrysku paliwa,
ρ	– gęstość elektrolitu,
r	– działanie światła,
t_s	– temperatura sprężarki,
t_{ol}	– temperatura oleju silnikowego,
t_w	– temperatura cieczy chłodzącej silnik,
U_a	– napięcie na akumulatorze (spadek podczas rozruchu),
U_l	– napięcie ładowania,
U_p	– napięcie prądnicy,
ZT	– zawór trójdrożny,
Ż	– żarówka.

Opracowany dla celów diagnostycznych model funkcjonalny ciągnika rolniczego ma na celu pokazanie w jaki sposób poszczególne zespoły ciągnika są ze sobą powiązane pod względem funkcjonalnym, a tym samym zobrazowanie jak stan techniczny jednego zespołu wpływa na pracę zespołów z nimi powiązanych. Poszczególne parametry (sygnały) diagnostyczne są wielkościami mierzalnymi różnymi metodami pomiarowymi. Pomiar takich wielkości jak temperatury, ciśnienia czy też prędkości obrotowe w poszczególnych miejscach jest stosunkowo prosty z użyciem odpowiednich przyrządów pomiarowych montowanych na okres badań diagnostycznych w miejsce fabrycznie zamontowanych czujników i przetworników pomiarowych. Takie postępowanie narzucone jest koniecznością wyeliminowania wpływu na wynik pomiaru efektu starzenia, zużycia lub uszkodzenia eksploatowanych razem z diagnozowanym ciągnikiem czujników lub przetworników pomiarowych.

Jednak w powyższym modelu występują sygnały diagnostyczne takie jak momenty obrotowe, które nie są mierzalne prostymi metodami metrologicznymi i do ich określania konieczna jest ingerencja w strukturę samego diagnozowanego obiektu jakim jest ciągnik rolniczy celem zamontowania odpowiednich przyrządów pomiarowych.

6. PROCES DIAGNOSTYCZNY OPRYSKIWACZA POŁOWEGO

6.1. Określenie minimalnej ilości testów diagnostycznych do kontroli stanu opryskiwacza

Do celów diagnostycznych model funkcjonalny opryskiwacza przedstawiony na rys. 19 jest modelem nadmiarowym, ponieważ do diagnozy nie będą wykorzystywane wszystkie sygnały występujące pomiędzy blokami. Aby uniknąć zaciemnienia modelu, należy poddać analizie sygnały diagnostyczne i z pośród występujących wybrać te, które będą spełniać następujące kryteria [Hebda i in.1980; Niziński i in. 2001]:

- łatwość pozyskania
- prosta interpretacja – możliwie duża względna zmiana sygnału wyjściowego opisującego zmianę stanu,
- jednoznacznie charakteryzować opisywany obiekt.

Redukując model funkcjonalny zostały pozostawione jako parametry opisujące model diagnostyczny poniższe sygnały:

- ciśnienie panujące pomiędzy elementami układu,
- objętość cieczy wypływającej przez rozpylacz,
- obroty wałka krzywkowego pompy.

Wspomniana redukcja ilości sygnałów została dokonana, gdyż istnieją analityczne zależności pomiędzy ciśnieniem, natężeniem przepływu i oporami przepływu. W opryskiwaczach jeden zawór pełni dwie funkcje: zaworu nadmiarowego oraz regulacyjnego, dlatego na modelu funkcjonalnym do celów diagnostycznych (rys. 22) został przedstawiony jako jeden blok spełniający dwie funkcje. Filtr rozpylacza i rozpylacz zostały połączone z powodu braku możliwości pomiaru sygnału pomiędzy nimi [Szydelski 1970; Chałamoński 2000].

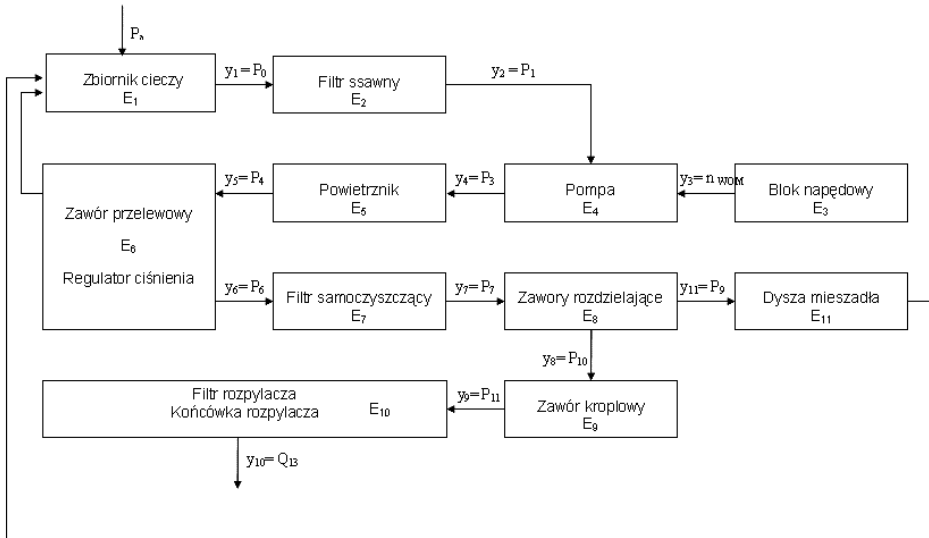
Na podstawie funkcjonalnego modelu diagnostycznego zostały wyodrębnione testy diagnostyczne [Hebda i in. 1980].

Do zbudowania tabeli stanów oprócz modelu funkcjonalnego potrzebne będą:

1. zbiór możliwych stanów obiektu,
2. zbiór sprawdzeń.

Każde sprawdzenie polega na podaniu na blok funkcjonalny sygnałów wejściowych i kontroli sygnału wyjściowego. Na podstawie tych danych budowana jest dla diagnozowanego obiektu tablica stanów. Poszczególne stany obiektu umieszczone są w wierszach przyjmując oznaczenie w_i . Natomiast w kolumnach rezultatów sprawdzeń π_j wprowadzone zostały wyniki sprawdzeń (tab. 3). Wartość zero oznacza, że kontrolowany parametr prze-

kroczył wartość dopuszczalną, jedynka oznacza, że parametr jest w normie. W drugiej kolumnie podana jest jedenastocyfrowa liczba binarna, w której miejsce położenia cyfry zero wskazuje uszkodzony element.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 22. Diagnostyczny model funkcjonalny: $E_1 - E_n$ – kolejny blok funkcjonalny, P_a – sygnał wejściowy, y_n – sygnał pomiędzy blokami funkcjonalnymi

Tabela 3. Zestawienie stanów obiektu

Zbiór stanów \ Zbiór sprawdzeń		π_1	π_2	π_3	π_4	π_5	π_6	π_7	π_8	π_9	π_{10}	π_{11}
		W_0	11111111111	1	1	1	1	1	1	1	1	1
W_1	01111111111	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
W_2	10111111111	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
W_3	11011111111	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
W_4	11101111111	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
W_5	11110111111	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
W_6	11111011111	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
W_7	11111101111	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
W_8	11111110111	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1
W_9	11111111011	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
W_{10}	11111111101	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
W_{11}	11111111110	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0

Na podstawie tablicy stanów wyznaczony został zbiór testów diagnostycznych niezbędnych do określenia stanu obiektu. W tym celu ze zbioru W stanów obiektu wyodrębniono podzbiór W par rozróżnialnych stanów obiektu tworząc pary (w_0, w_i) wykorzystując funkcję logiczną $(w_0, w_i) = (w_0 \text{ XOR } w_i)$. Utworzony podzbiór wykorzystany został do stworzenia macierzy Boole'a dla testu stanu sprawności całego obiektu (tab. 4) [Hebda i in. 1980].

Tabela 4. Macierz Boole'a do wyznaczenia testu sprawności obiektu

Zbiór sprawdzeń Podzbiór par stanów (w_0, w_i)	π_1	π_2	π_3	π_4	π_5	π_6	π_7	π_8	π_9	π_{10}	π_{11}
(W_0, W_1)	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
(W_0, W_2)	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
(W_0, W_3)	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
(W_0, W_4)	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
(W_0, W_5)	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
(W_0, W_6)	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
(W_0, W_7)	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
(W_0, W_8)	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
(W_0, W_9)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
(W_0, W_{10})	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
(W_0, W_{11})	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Występujące w kolumnach macierzy jedynki oznaczają rozróżnialność stanu za pomocą danego sprawdzenia π_j , natomiast zero oznacza nierozróżnialność tego stanu.

W celu utworzenia testu diagnostycznego kontroli stanu opryskiwacza poddano analizie utworzoną macierz. Stan obiektu będzie rozróżnialny wtedy, gdy przy zastosowaniu danego sprawdzenia π_j uzyskamy rozróżnialność wszystkich stanów (w_0, w_i) . Jedno sprawdzenie nie identyfikuje jednoznacznie stanu rozpylacza dlatego konieczne jest rozszerzenie testu o kolejne sprawdzenie. Wyodrębniono w ten sposób minimalną ilość sprawdzeń, dla których wszystkie stany obiektu będą rozróżnialne [Hebda i in. 1978].

Z analizy macierzy Boole'a (tab.4) wynika, że test kontroli stanu sprawności opryskiwacza powinien składać się z dwóch sprawdzeń :

1. ciśnienia na rozdzielaczu cieczy roboczej (π_{10}),
2. wydatku cieczy z pojedynczej końcówki rozpylającej (π_{11}).

Uzyskany zbiór testów diagnostycznych może posłużyć do opracowania modułu wnioskowania diagnostycznego opryskiwacza polowego. Umożliwi to sprawdzenie stanu sprawności opryskiwacza, a w przypadku wystąpienia usterki, operator zostanie powiadomiony o niesprawności.

6.2. Diagnostyka rozpylaczy płaskostrumieniowych

Rozpylacze są jednymi z najważniejszych elementów opryskiwaczy hydraulicznych, dlatego też powinny być dobierane w zależności od rodzaju zabiegu oraz od rodzaju chronionej rośliny. Prawidłowy dobór i funkcjonowanie rozpylaczy ma istotne znaczenie ekologiczne i ekonomiczne, gdyż jest związane ze ścisłymi normami zużycia środków ochrony roślin.

Krajowy rynek oferuje wiele rodzajów rozpylaczy hydraulicznych, a jednymi z nich są rozpylacze płaskostrumieniowe. Wykonywane są z różnych materiałów i charakteryzują się różnymi przepustowościami. Rodzaj materiału ma decydujący wpływ na szybkość zużycia rozpylaczy, a w konsekwencji na dokładność oprysku. Zużycie kawitacyjne rozpylaczy płaskostrumieniowych jest szybsze dla rozpylaczy wykonanych w całości z tworzyw sztucznych niż dla wykonanych z wkładkami ceramicznymi. Zużycie rozpylacza, a ściślej jego otworu wylotowego i szczeliny wylotowej w której następuje rozbitcie strugi cieczy na krople o określonej wielkości, powoduje zmianę jego przepustowości przy określonym ciśnieniu zasilania.

W wyniku eksploatacji następuje ich naturalne zużycie polegające na deformacji wylotu oraz może wystąpić zmniejszenie ich przepustowości osadzającymi się wewnątrz nich zanieczyszczeniami. Deformacja ta ma charakter mechaniczny i jest wynikiem złożonego zjawiska kawitacji (działanie strumienia cieczy na ścianki rozpylacza). Zjawisko to dotyczy głównie żywotności rozpylaczy płaskostrumieniowych wykonanych z tworzywa sztucznego nie posiadających wkładki ceramicznej. Wynikiem tego jest szybkie zużycie materiału i rozkalibrowanie opryskiwacza. Zanieczyszczenia mogą przedostać się do rozpylaczy ze zbiornika cieczy roboczej na skutek błędów popełnianych przez obsługę opryskiwacza, mogą być wymywane z wnętrza przewodów zasilających rozpylacze oraz mogą przedostać się do wnętrza belki polowej w czasie przechowywania opryskiwacza ze zdemontowanymi rozpylaczami.

Zarówno rozkalibrowanie szczelin wylotowych rozpylaczy płaskostrumieniowych jak też osadzanie się wewnątrz nich zanieczyszczeń prowadzi do zmian w przepustowości rozpylacza, a tym samym do zmiany dawki cieczy roboczej na jednostkę powierzchni. Proces zmian przepustowości może występować powoli w całym okresie użytkowania opryskiwacza i może być wykryty podczas rutynowych kontroli opryskiwacza, a może nosić znamiona typowe dla uszkodzeń awaryjnych prowadząc do zakłóceń w oprysku niezauważalnych dla operatora agregatu rolniczego, a w konsekwencji powodować nieodpowiednią jakość wykonywanego zabiegu agrotechnicznego.

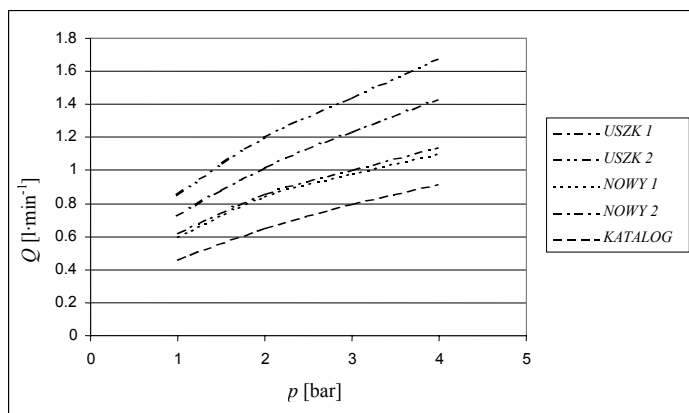
Rozpylacze płaskostrumieniowe stosowane w opryskiwaczach polowych co pewien okres czasu ich pracy muszą być poddawane kontroli. W chwili obecnej dokonuje się tego w warunkach rzeczywistych z wykorzystaniem opryskiwacza i naczyń pomiarowych. Taka metodyka badań jest pracochłonna i kłopotliwa w realizacji.

6.2.1. Stanowiskowa diagnostyka rozpylaczy płaskostrumieniowych

Podstawowym określanym parametrem jest współczynnik wypływu badanego rozpylacza, który może być przeliczany na wartość jego przepustowości.

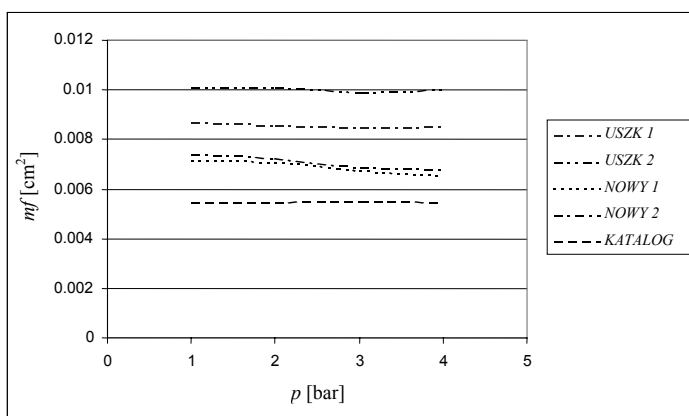
Przepustowość rozpylacza można określić na podstawie zależności [6][Bernhardt 1970]:

Na rysunkach 23, 24 przedstawiono charakterystyki wydatku w funkcji ciśnienia zasilania $Q = f(p)$ oraz współczynnika wypływu w funkcji ciśnienia zasilania $\mu f = f(p)$: katalogowe, rozpylaczy nowych oraz rozpylaczy w których dokonano uszkodzeń szczeliny wylotowej. Jak widać, wprowadzenie uszkodzeń w obszarze szczeliny wylotowej spowodowało wzrost wartości wydatku ciecchy oraz współczynnika wypływu μf .



Źródło: opracowanie własne

Rys. 23. Charakterystyki $Q = f(p)$ rozpylaczy nowych i z uszkodzoną szczeliną oraz charakterystyka katalogowa

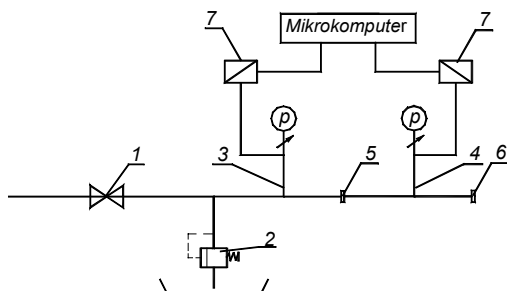


Źródło: opracowanie własne

Rys. 24. Charakterystyki $\mu f = g(p)$ rozpylaczy nowych i z uszkodzoną szczeliną oraz charakterystyka katalogowa

Opracowana metoda pozwala na pomiar podstawowego parametru diagnostycznego, jakim jest wartość współczynnika wypływu μ_f dla zadanej wartości ciśnienia zasilania [Basista i inni 2000], rozpylaczy płaskostrumieniowych w warunkach warsztatowych bez konieczności wykorzystywania do tego celu opryskiwacza.

Schemat przyrządu diagnostycznego przedstawiono na rys. 25. Przyrząd składa się z głowicy pomiarowej oraz mikrokomputera wyposażonego w wyświetlacz. Głowica pomiarowa zasilana jest wodą o stałym ciśnieniu.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 25. Schemat przyrządu diagnostycznego rozpylaczy płaskostrumieniowych: 1 – zawór główny, 2 – zawór przelewowy, 3 – manometr ciśnienia zasilania, 4 – manometr ciśnienia za zwężką, 5 – zwężka pomiarowa o znanym współczynniku wypływu μ_{f1} , 6 – badany rozpylacz o współczynniku wypływu μ_{f2} , 7 – przetworniki pomiarowe ciśnienia, 8 – mikrokomputer [źródło: opracowanie własne]

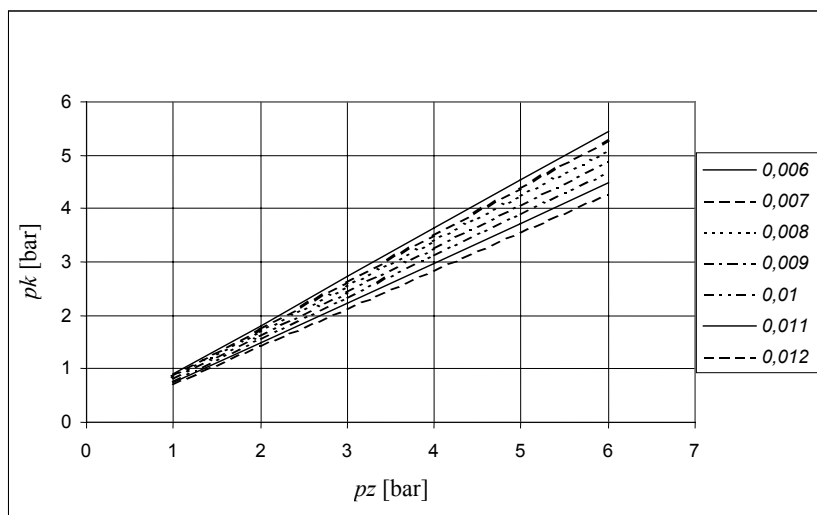
Pomiar odbywa się na drodze pośredniej poprzez określenie spadku ciśnienia na zwężce pomiarowej. Wartość ciśnienia za zwężką zależy od ciśnienia zasilania przyrządu, współczynników wypływu: zwężki pomiarowej oraz badanego rozpylacza płaskostrumieniowego, co przedstawia poniższa zależność [7]:

$$p_k = \frac{\mu_1^2 f_1^2 p_z}{\mu_1^2 f_1^2 + \mu_2^2 f_2^2} \quad (7)$$

gdzie:

- $\mu_1 f_1$ – iloczyn współczynnika wypływu i pola przekroju otworu zwężki pomiarowej,
- $\mu_2 f_2$ – iloczyn współczynnika wypływu i pola przekroju otworu badanego rozpylacza,
- p_z – ciśnienie zasilania przyrządu,
- p_k – ciśnienie za zwężką pomiarową.

Na rysunku 26 przedstawiono charakterystyki cechowania przyrządu diagnostycznego $p_k = f(p_z)$ dla różnych wartości iloczynu współczynnika wypływu oraz pola przekroju otworu wylotowego rozpylacza $\mu_2 f_2$, wyznaczone z zależności 7. Zostały one opracowane dla zwężki pomiarowej o następujących parametrach: średnica – 2 [mm], długość – 6 [mm], ostre krawędzie zwężki. Współczynnik wypływu μ_1 wynosi 0,6.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 26. Charakterystyki cechowania przyrządu diagnostycznego $p_k = h(p_z)$ dla różnych wartości iloczynu współczynnika wypływu oraz pola przekroju otworu wylotowego rozpylacza $\mu_2 f_2$

Mikrokomputer zbudowany na bazie mikrokontrolera wyposażony jest w moduł pamięci EEPROM i RAM do przechowywania danych dla programu sterującego oraz do archiwizacji danych pomiarowych, cztero kanałowego przetwornika analogowo – cyfrowego, moduł łączy w standardzie RS-232 do połączenia z komputerem stacjonarnym celem przesyłania danych pomiarowych oraz alfanumeryczny wyświetlacz LCD. Nie wyposażano mikrokomputera w wyświetlacz graficzny z powodu braku miejsca w pamięci programu na procedury służące do jego obsługi. Archiwizacja wyników pomiarów ma na celu udokumentowanie przeprowadzonych pomiarów oraz pozwala na porównanie ze sobą charakterystyk badanych rozpylaczy.

Zmierzone za pomocą czujników ciśnienia wartości są przetwarzane przez wbudowany w mikrokontroler przetwornik A/C. Wyznaczanie wartości współczynnika wypływu badanego rozpylacza zrealizowano programowo. Powstały dwie wersje oprogramowania. Jedna wykorzystująca zależności analityczne (6) i (7) oraz zdjęte doświadczalnie charakterystyki czujników ciśnienia. Z uwagi na nieliniowość charakterystyk czujników ciśnienia powstała druga wersja oprogramowania wykorzystująca sztuczne sieci neuronowe. Zastosowano sieć o 2 wejściach i 1 wyjściu posiadającą jedną warstwę ukrytą. Na wejście podawane są

zmierzone wartości ciśnień: zasilania oraz w komorze pomiarowej. Na wyjściu otrzymujemy wartość współczynnika wypływu μ_f badanego rozpylacza. Oprogramowanie przyrządu umożliwi określenie wartości współczynnika wypływu dla zadanego ciśnienia zasilania rozpylacza, jak też sporządzenie charakterystyki $\mu_f = f(p_z)$ dla całego roboczego zakresu ciśnień rozpylacza płaskostrumieniowego.

6.2.2. Czujnik do ciągłego nadzoru funkcjonowania rozpylacza

Określenie stanu wszystkich końcówek rozpylających w opryskiwaczu wymaga zastosowania dużej ilości czujników mierzących natężenie przepływu. Większość czujników przepływu dostępnych na rynku charakteryzuje mała dokładność przy pomiarze małych natężeń przepływu rzędu $0,3-1,6 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$, a z takimi mamy do czynienia w przypadku opryskiwaczy rolniczych.

Z powodu braku czujników, które łączyły by w sobie prostotę wykonania oraz satysfakcjonującą dokładność konieczne jest podjęcie prac nad opracowaniem koncepcji czujnika pomiarowego, który zastąpi przepływomierz.

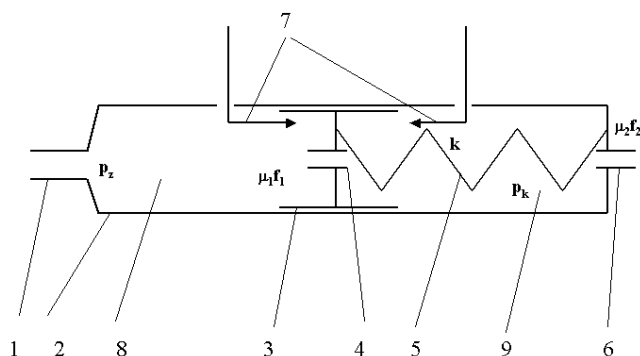
Opracowano czujnik, którego zadaniem jest wychwycenie zmian w przepustowości rozpylacza opryskiwacza i zasygnalizowanie zaistniałej sytuacji operatorowi opryskiwacza. W założeniu każdy rozpylacz na belce połowej opryskiwacza wyposażony będzie w czujnik zmian przepustowości rozpylacza połączony z systemem sygnalizacji awarii.

Wielkość oporów hydraulicznych można przedstawić przy pomocy wydatku w funkcji ciśnienia bądź też iloczynu μ_f współczynnika wypływu i pola przekroju otworu wypływowego w funkcji ciśnienia, co pokazano za pomocą zależności [6]. Współczynnik wypływu μ jest iloczynem współczynników: kontrakcji strumienia wypływającej cieczy i prędkości cieczy w otworze wylotowym. W praktyce wyznacza się wartość iloczynu μ_f w funkcji ciśnienia, gdyż zakładamy niezmienność pola przekroju otworu wypływowego. Przepustowość rozpylacza można określić na podstawie zależności (6).

Na rysunku 27 przedstawiono schemat opracowanego czujnika. Wewnątrz cylindra znajduje się ruchomy tłok z wbudowaną zwężką pomiarową o stałym współczynniku wypływu $\mu_1 f_1$. Jeden koniec cylindra zakończony jest wlotem cieczy roboczej, natomiast na drugim końcu znajduje się oprawa rozpylacza z zamontowanym rozpylaczem.

Na schemacie nie uwzględniono zaworu przeciwkropłowego oraz wkładki filtrującej, gdyż jak wykazały przeprowadzone badania współczynnik wypływu dla tych elementów jest wielokrotnie większy niż współczynnik wypływu $\mu_2 f_2$ rozpylacza i w dalszych rozważaniach został pominięty jako nie mający wpływu na wielkość tłumienia przepływu cieczy przez rozpylacz. Ruchomy tłok opiera się o sprężynę. Z obu stron tłoka znajdują się czujniki położenia tłoka, za pomocą których wykrywano skrajne położenia tłoka i będące nadajnikami informacji o pozycji tłoka w cylindrze.

Gdy wartość współczynnika wypływu $\mu_2 f_2$ rozpylacza wzrośnie np. na skutek rozkalibrowania się szczeliny wylotowej, wówczas wartość ciśnienia p_k w komorze pomiarowej obniży się, powodując przesunięcie się tłoka w prawo. Natomiast gdy wartość współczynnika wypływu $\mu_2 f_2$ rozpylacza zmniejszy się np. na skutek osadzenia się w nim zanieczyszczeń, wówczas wartość ciśnienia p_k w komorze pomiarowej wzrośnie i tłok dodatkowo obciążony sprężyną przesunie się w lewo. Gdy wzrost lub spadek ciśnienia w komorze pomiarowej przekroczy dopuszczalne wartości wówczas czujniki skrajnych położenia tłoka wyślą informację od systemu sygnalizacyjnego o zaistniałej sytuacji.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 27. Schemat czujnika do ciągłego nadzoru pracy rozpylacza: 1 – wlot cieczy roboczej, 2 – cylinder, 3 – tłok ze zwężką pomiarową, 4 – zwężka pomiarowa o współczynniku wypływu $\mu_1 f_1$, 5 – sprężyna o sztywności k , 6 – nadzorowany rozpylacz o współczynniku wypływu $\mu_2 f_2$, 7 – czujniki ruchu tłoka, 8 – komora zasilania, 9 – komora pomiarowa

Wartość ciśnienia w komorze pomiarowej zależy od ciśnienia zasilania czujnika, współczynników wypływu: zwężki pomiarowej oraz badanego rozpylacza płaskostrumieniowego, co przedstawia zależność [7].

Przesunięcie tłoka x na skutek wystąpienia różnicy ciśnień ($p_z - p_k$) można określić zależnością:

$$x = (f_t - f_1) \cdot (p_z - p_k) / k \quad (8)$$

gdzie:

- x – przesunięcie tłoka pod działaniem różnicy ciśnień [m],
- f_t – powierzchnia tłoka [m²],
- f_1 – powierzchnia otworu w tłoku [m²],
- p_z – ciśnienie w komorze zasilania [Pa],
- p_k – ciśnienie w komorze pomiarowej [Pa],
- k – sztywność sprężyny [N·m⁻²].

Jak wynika z powyższej zależności, wielkością przesunięcia tłoka można sterować przez dobór sprężyny o odpowiedniej sztywności tak, aby dla zmian ciśnień w komorze pomiarowej p_k , które odpowiadają zmianom wydatku danego rozpylacza mieszczącymi się w granicach tolerancji (zazwyczaj jest to 10% wydatku nominalnego), nie nastąpiło zadziałanie układu sygnalizacyjnego ruchu tłoka. Po przekroczeniu zakresu tolerancji wydatku czujniki ruchu tłoka powinny podać informację do układu ostrzegającego operatora opryskiwacza o zaistniałej nieprawidłowości.

Zaproponowana postać konstrukcyjna czujnika do wykrywania stanów awaryjnych w pracy rozpylacza opryskiwacza cechuje się prostotą oraz nie wymaga wprowadzania zmian konstrukcyjnych w belce polowej opryskiwacza, gdyż czujnik jest montowany między przewód zasilający a oprawę rozpylacza. Każdy rozpylacz opryskiwacza zamontowany

na belce polowej wyposażony będzie w oddzielny czujnik. Jako układ sygnalizujący wystąpienie stanu awaryjnego któregośkolwiek rozpylacza znajdującego się na belce polowej opryskiwacza można wykorzystać istniejące komputery pokładowe zarówno samego opryskiwacza, jak też ciągnika rolniczego po wymianie lub uzupełnieniu ich oprogramowania systemowego. Czujniki ruchu tłoka można wykonać jako optyczne, magnetyczne, stykowe lub pojemnościowe. Zastosowanie czujników analogowych ruchu tłoka pomiarowego pozwoli na rozróżnienie stanów poprawnej pracy rozpylaczy na belce polowej oraz wyznaczenie równomierności dawkowania przez poszczególne rozpylacze, co przyczyni się do zwiększenia precyzji dawkowania środka chemicznego zgodnie z zasadami rolnictwa precyzyjnego.

7. WYBRANE PRZYKŁADY DIAGNOSTYKI UKŁADÓW HYDRAULICZNYCH

7.1. Diagnostyka układu hydraulicznego sterowanego elektrycznie

Układy hydrauliczne są powszechnie wykorzystywane jako elementy wykonawcze maszyn i urządzeń w wielu dziedzinach gospodarki. Prawidłowe ich działanie jest silnie skorelowane ze stanem technicznym wszystkich elementów składowych jak też ze stanem medium roboczego, którym najczęściej jest olej hydrauliczny. Platformy załadownicze samochodów ciężarowych i dostawczych są przeznaczone do ułatwienia za- i rozładunku pojazdu w miejscach pozbawionych specjalnych ramp załadowniczych. Prawidłowe ich funkcjonowanie bezpośrednio przekłada się na bezpieczeństwo ich użytkowania.

Zmienność stanu technicznego platform załadowniczych w trakcie ich eksploatacji uzależniona jest od wielu czynników, takich jak:

- intensywność użytkowania,
- przeciążenia,
- starzenie się materiałów konstrukcyjnych,
- zużycie elementów składowych hydraulicznych,
- zużycie elementów składowych elektrycznych,
- zużycie i starzenie medium roboczego,
- zaniedbania obsługi i brak konserwacji,
- zaniedbania podczas pierwszego montażu platformy na samochodzie.

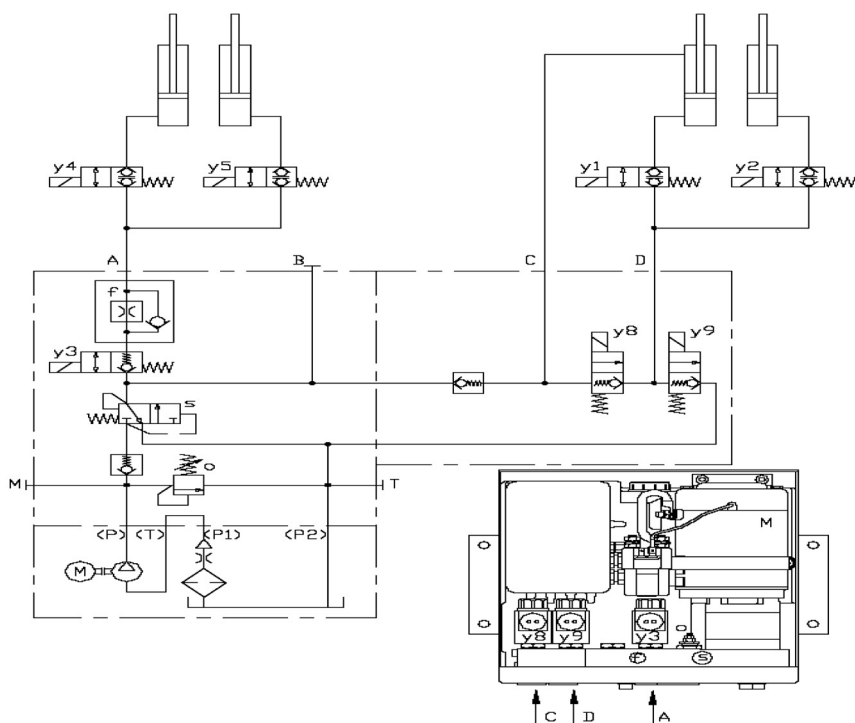
Platformy załadownicze są reprezentatywnym przedstawicielem większości układów hydraulicznych gdyż do ich konstrukcji wykorzystany jest szeroki zbiór komponentów takich jak:

- agregat hydrauliczny, w skład którego wchodzi silnik elektryczny, pompa hydrauliczna, zbiornik oleju hydraulicznego i filtry oleju,
- zwory przeciążeniowe i przelewowe,
- elektrozapory hydrauliczne jednostronnego i dwustronnego działania,
- dławiki hydrauliczne,
- siłowniki jedno i dwustronnego działania,
- przewody hydrauliczne sztywne i elastyczne,
- centralki sterujące,
- instalacja elektryczna siłowa i sterująca,
- urządzenia sterowania.

Wystąpienie stanu nadmiernego zużycia lub stanu uszkodzenia typu awaryjnego przekłada się bezpośrednio na nieprawidłową pracę urządzenia.

Wykrycie miejsca występującego uszkodzenia jest w wielu przypadkach kłopotliwe gdyż wiele uszkodzeń daje podobne objawy w zakłóceniu funkcjonowania platformy załadowniczej.

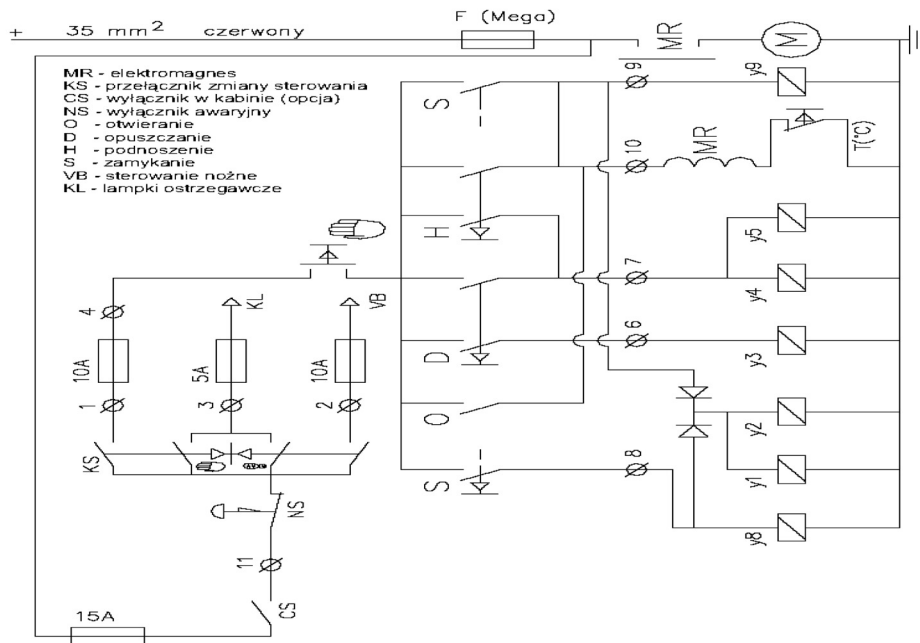
Dlatego też celowe jest opracowanie metodyki diagnozowania układów hydraulicznych sterowanych elektrycznie. Obejmować ono będzie wyodrębnienie zbioru sygnałów diagnostycznych warstw: hydraulicznej i elektrycznej. Na podstawie zbioru sygnałów diagnostycznych określony jest zbiór testów lokalizacyjnych, mających na celu wskazanie wadliwie pracujących elementów składowych układu hydraulicznego oraz opracowany algorytm diagnostyczny dla prostych, kilku elementowych układów hydraulicznych warstwę układu elektrycznego jak i warstwę układu hydraulicznego oraz powiązania funkcjonalne międzywarstwowe.



Źródło: [www.ama.com.pl]

Rys. 28. Schemat instalacji hydraulicznej platformy załadowniczej AMA POLSKA: y1, y2 –cewki na elektrozaworze dwustronnego działania siłownika zamykającego, y4, y5 – cewki na elektrozaworze dwustronnego działania siłownika podnoszącego, y3, y8, y9 – cewki na elektrozaworze jednostronnego działania na rozdzielaczu hydraulicznym, B, M, T – zaślepione wkrętami końcówki przewodów hydraulicznych

Na podstawie przeprowadzonej analizy zbioru testów diagnostycznych, które umożliwiają pomiar wartości wyodrębnionych sygnałów diagnostycznych określono zbiór testów zarówno służących do określania stanu urządzenia jak też do lokalizacji uszkodzenia.



Źródło: [www.ama.com.pl]

Rys. 29. Schemat instalacji elektrycznej platformy załadunkowej AMA POLSKA: y1, y2 – cewki na elektrozaworze dwustronnego działania siłownika zamykającego, y4, y5 – cewki na elektrozaworze dwustronnego działania siłownika podnoszącego, y3, y8, y9 – cewki na elektrozaworze jednostronnego działania na rozdzielaczu hydraulicznym

Testami służącymi do określania stanu urządzenia jakim jest platforma załadunkowa są:

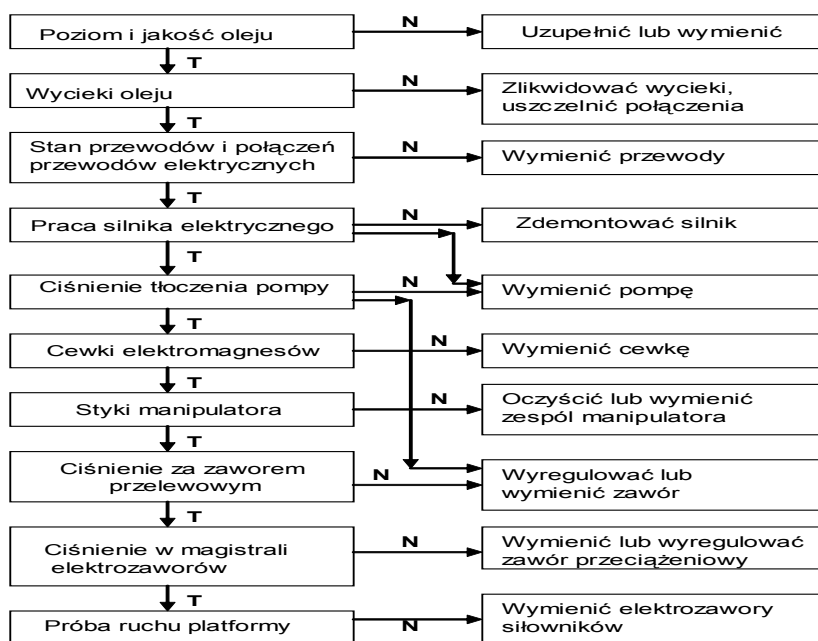
- pomiar czasu otwierania i opuszczania platformy bez obciążenia,
- pomiar czasu podnoszenia i zamykania platformy bez obciążenia,
- pomiar czasu podnoszenia platformy z obciążeniem.

Powyższe testy kontroli stanu są wystarczające do określenia stopnia sprawności diagnozowanego obiektu, gdyż odchyłki od zmierzonych wartości czasów świadczą o nieprawnej pracy któregoś z elementów składowych warstwy hydraulicznej lub elektrycznej układu napędowego platformy załadunkowej.

Natomiast testy lokalizacyjne swym zakresem obejmują zasadniczo wszystkie elementy składowe układu napędowego platformy. Testy te podzielono na dwie grupy. Pierwsza z nich obejmuje sprawdzenie funkcjonowania elementów osprzętu elektrycznego zarówno podgrupy układów wysokoprądowych takich jak włącznik główny, przewody obwodu wysokoprądowego silnik elektryczny, uzwojenia elektrozaworów jak i podgrupy sterowa-

nia takich jak manipulatory zewnętrzne oraz podłogowe, przekaźniki, przewody obwodu sterowania. Druga grupa obejmuje sprawdzenie układu hydraulicznego składającego się ze zbiornika, pompy, rozdzielaczy sterowanych elektrycznie, przewodów ciśnieniowych, elektrozawory siłowników oraz siłowniki hydrauliczne.

Na rysunku 30 przedstawiono algorytm diagnostyczny platformy załadowniczej AMA POLSKA.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 30. Algorytm diagnostyczny platformy załadowniczej AMA POLSKA

W skład testów lokalizacyjnych wchodzi:

- pomiar ciągłości i rezystancji przewodów obwodu siłowego zasilającego silnik elektryczny,
- test silnika napędzającego pompę hydrauliczną,
- test ciągłości obwodu cewek elektromagnesów rozdzielacza oraz zaworów,
- test ciągłości przewodów sterowania,
- test rezystancji styków manipulatora zewnętrznego oraz podłogowego,
- pomiar poziomu i ocena jakości oleju hydraulicznego,
- test ciśnienia tłoczenia pompy,
- test ciśnienia magistrali zasilającej rozdzielacz,
- test ciśnienia za zaworem przelewowym,
- test ciśnienia na wejściu elektrozaworów.

7.2. Diagnostyka zębatych pomp hydraulicznych

Podstawowym podzespołem układu smarowania silnika, od sprawności którego zależy poprawne działanie układu smarowania jest pompa olejowa. Przeprowadzany w ramach testów diagnostycznych pomiar ciśnienia oleju w magistrali głównej silnika nie odzwierciedla w pełni stanu technicznego tego ważnego elementu układu smarowania. Zębate pompy olejowe najczęściej są zabudowane w skrzyni korbowej silnika w taki sposób, że ich demontaż celem przeprowadzenia badań na specjalistycznych stanowiskach pomiarowych jest bardzo utrudniony i wiąże się ze zdjęciem miski olejowej. W czasie eksploatacji zmienia się charakterystyka wydajnościowa pompy, co jest związane z procesami zużyciowymi zachodzącymi wewnątrz pompy. Zużyta pompa olejowa charakteryzuje się obniżonym wydatkiem oraz zmniejszonym ciśnieniem tłoczenia. Spowodowane jest to zmniejszeniem się szczelności pompy na skutek zużycia występującego na powierzchniach czołowych kół zębatych jak i na powierzchniach bezpośrednio z nimi współpracującymi.

$$Q_{rz} = Q_{tor} - Q_{str} \quad (9)$$

$$Q_{tor} = f(b, m, n, z, \alpha) \quad (10)$$

$$Q_{str} = f(d_z, z, z_0, n, \rho, \nu) \quad (11)$$

gdzie:

- Q_{tor} – wydatek teoretyczny pompy [$m^3 \cdot s^{-1}$],
- Q_{str} – wielkość strat objętościowych [$m^3 \cdot s^{-1}$],
- b – szerokość kół zębatych pompy [m],
- m – moduł kół zębatych [m],
- z – liczba zębów kół zębatych [szt.],
- α – kąt przyporu kół zębatych [$^\circ$],
- d_z – średnica podziałowa kół zębatych [m],
- z_0 – luz między powierzchnią czołową kół a powierzchnia obudowy,
- ρ – gęstość oleju [$kg \cdot m^{-3}$],
- ν – lepkość oleju [$m^2 \cdot s^{-1}$].

Wydajność rzeczywista pompy zębatej jest różnicą wydajności teoretycznej (zależnej od wymiarów geometrycznych i prędkości obrotowej pompy) oraz wielkości strat objętościowych medium wynikających ze szczelin występujących między korpusem a kołami zębatymi. Zależy ona również od lepkości przetłaczanego czynnika.

W literaturze można spotkać wiele przybliżonych wzorów empirycznych oraz teoretycznych określających zarówno wydajność teoretyczną jak i wielkość strat objętościowych pomp zębatych. Trudności w analitycznym opisie procesów zachodzących w pompie zębatej w czasie jej pracy są spowodowane głównie tym, iż olej silnikowy nie jest cieczą doskonałą. Stąd też wszystkie zależności określające wielkości wydatku i strat są zależnościami empirycznymi.

Wielkość ciśnienia uzyskanego na króćcu tłocznym pompy można przedstawić jako funkcję:

$$p_t = f(Q_{\text{tor}}, Q_{\text{str}}, \rho, D, \xi) \quad (12)$$

gdzie:

- Q_{tor} – wydatek teoretyczny pompy [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],
- Q_{str} – wielkość strat objętościowych [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],
- ρ – gęstość oleju [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$],
- D – średnica przewodu tłocznego [m],
- ξ – współczynnik oporów hydraulicznych na króćcu tłocznym.

Zakładając jako niezmiennie w czasie pomiarów następujące parametry: gęstość i lepkość oleju, współczynnik strat hydraulicznych króćca tłocznego, prędkość obrotową pompy oraz wymiary geometryczne pompy, wówczas ciśnienie na króćcu tłocznym pompy można przedstawić jako funkcję luzu między powierzchniami czołowymi kół zębatach pompy a korpusem pompy:

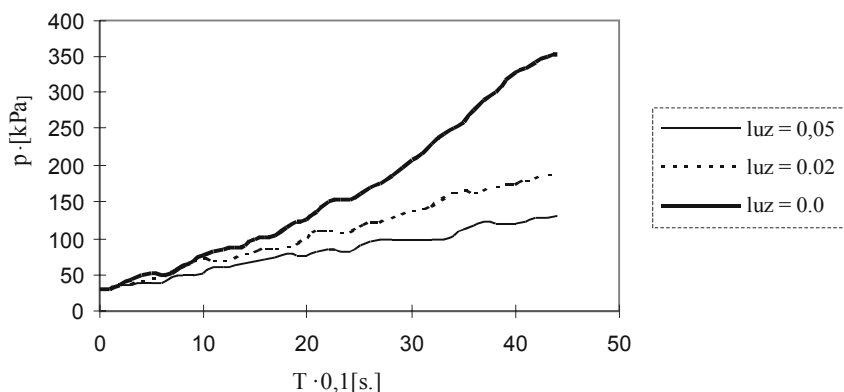
$$p_t = f(z_0) \quad (13)$$

Pomiar ciśnienia oleju wytwarzanego przez pompę olejową przeprowadzono na końcu magistrali głównej silnika za pomocą potencjometrycznego czujnika ciśnienia. Do rejestracji wartości ciśnienia zastosowano komputerowy układ pomiarowy. Rejestracja rozpoczęła się samoczynnie po przekroczeniu wartości ciśnienia oleju równej 0,03 MPa. Podczas pomiaru silnik był napędzany rozrusznikiem, przy jednoczesnej kontroli wartości prędkości obrotowej. Celem pomiaru było określenie wartości ciśnienia oleju w magistrali jako funkcji czasu podczas napędzania silnika rozrusznikiem, przy zablokowanej listwie zębatej pompy wtryskowej w pozycji dawki zerowej. Pomiar był przerywany gdy następowała stabilizacja wartości ciśnienia w magistrali głównej silnika. Przeprowadzono serie pomiarów dla różnych wielkości luzów pomiędzy powierzchniami czołowymi kół zębatach a obudową. Pomiar były przeprowadzane na hamowni silnikowej na silniku 4C90. Pozostałe warunki pomiarów takie jak lepkość oleju, temperatura silnika, temperatura otoczenia, luzy w układzie korbowym były ustalone i pozostałe niezmiennie przez cały czas trwania pomiarów.

Na rysunku 31 przedstawiono wyniki pomiarów. Jak widać, prędkość narastania ciśnienia w magistrali głównej jest ściśle zależna od wielkości luzów między powierzchniami czołowymi kół zębatach pompy a korpusem pompy. „Pofałdowanie” krzywych ciśnienia spowodowane jest nieustalonymi przepływami oleju przez pompę oraz wypieraniem powietrza z magistrali olejowej. Powyższe obserwacje pozwalają na sformułowanie założeń dla testu diagnostycznego zębatach pompy olejowej bez konieczności jej demontażu. Również za wprowadzeniem takiego testu przemawia fakt, iż pomiar rzeczywistego luzu pomiędzy powierzchniami czołowymi kół zębatach pompy a korpusem pompy nie jest prosty i wymaga stosowania specjalnych technik metrologicznych.

Istotą proponowanego testu diagnostycznego jest pomiar prędkości wzrostu ciśnienia w magistrali głównej silnika (od wartości progowej wynoszącej 0,10–0,40 MPa) podczas napędzania silnika spalinowego rozrusznikiem elektrycznym. Podczas przeprowadzania testu układ zapłonowy lub wtryskowy silnika Diesla powinien być zablokowany, aby uniemożliwić uruchomienie silnika. Żeby zapewnić powtarzalne warunki pomiaru, a ściślej, stałą lepkość oleju, proponuje się przeprowadzanie testu każdorazowo po wymianie przepracowanego oleju na nowy. Spełnienie tego warunku jest możliwe, gdy proponowany

test zostanie włączony w skład zespołu czynności obsługowych układu smarowania silnika wykonywanych przy każdorazowej wymianie oleju. Z uwagi, iż wszystkie używane oleje silnikowe wykazują znaczne zmiany lepkości w zależności od ich temperatury, pomiar prędkości przyrostu ciśnienia oleju w magistrali głównej powinien odbywać się przy stałej temperaturze oleju silnikowego.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 31. Zmiana wielkości ciśnienia oleju w magistrali głównej silnika jako funkcja czasu napędzania wału korbowego rozrusznikiem dla 3 różnych wartości luzów między powierzchniami czołowymi kół zębatych a obudową pompy

Jedyną kwestią, która pozostaje do rozstrzygnięcia to kwestia momentu zakończenia pomiaru ciśnienia w magistrali głównej. Istnieją dwie możliwości:

- zakończenie pomiaru po upływie określonego czasu, parametrem diagnostycznym będzie wówczas wielkość ciśnienia oleju w magistrali głównej silnika
- zakończenie pomiaru po osiągnięciu przez ciśnienie oleju w magistrali głównej określonej wartości; w tym przypadku sygnałem diagnostycznym będzie czas niezbędny do osiągnięcia założonej wartości ciśnienia.

Ponieważ pomiar odbywa się przy wykorzystaniu rozrusznika elektrycznego, korzystnym z punktu widzenia trwałości rozrusznika jest wybór wariantu pierwszego. Długotrwałe (przez ok. 15–30 s) w wariantcie drugim, nieprzerwane użytkowanie rozrusznika jako źródła energii mechanicznej może spowodować przegrzanie uzwojeń, a tym samym zmniejszyć jego żywotność i być powodem jego przedwczesnego uszkodzenia.

Proponowana metodyka testu diagnostycznego pompy olejowej silnika spalinowego może być zastosowana do szybkiego okresowego określania stanu technicznego tego zespołu. Szybkość przyrostu ciśnienia w magistrali głównej układu smarowania jest wystarczającą informacją o stanie technicznym diagnozowanego obiektu.

8. DIAGNOSTYKA WYBRANYCH OBIEKTÓW TECHNICZNYCH

8.1. Bezhamulcowe określanie mocy małych silników spalinowych

W ostatnich latach można zaobserwować wzrost liczby eksploatowanych małych maszyn napędzanych silnikami spalinowymi takich jak: wykaszarki, piły łańcuchowe, ogrodowe kosiarki rotacyjne, kosiarki listwowe, odśnieżarki, miniciągniki ogrodnicze itp. Wszystkie te maszyny posiadają jedną wspólną cechę – źródłem energii jest silnik spalinowy małej mocy (do ok. 3 kW) zarówno dwu jak i czterosuwowy. Intensywna eksploatacja tych maszyn powoduje konieczność częstego wykonywania czynności serwisowych takich jak wymiana olejów, regulacji, obsług i przeglądów połączonych z konserwacją zwłaszcza posezonową oraz napraw. Podstawą wszystkich działań mających na celu utrzymanie w stanie sprawności i zdatności eksploatacyjnej urządzeń technicznych są badania diagnostyczne. Zasadniczo w stosunku do małych maszyn napędzanych silnikami małej mocy nie ma opracowanych skutecznych i tanich metod ich diagnozowania.

Przeprowadzone badania mające na celu określenie zbioru najczęściej występujących niesprawności pozwalają na stwierdzenie iż głównymi przyczynami nieprawidłowej pracy małych maszyn są stany awaryjne silników napędowych. Stany te spowodowane są zarówno zaniedbaniami użytkownika w zakresie obsług jak też są konsekwencją nieprawidłowego stanu technicznego organów roboczych napędzanych bezpośrednio silnikiem spalinowym. Stany awaryjne silnika napędowego, powodujące zmniejszenie jego mocy o 20–30% powoduje zauważalne dla użytkownika zmniejszenie podstawowych parametrów eksploatacyjnych takich jak wydajność maszyny, zwiększone zużycie paliwa oraz zwiększoną emisją zanieczyszczeń zawartych w spalinach zwłaszcza silników dwusuwowych. Oprócz występowania stanów niesprawności maszyn spowodowanych stanami awaryjnymi poszczególnych modułów funkcjonalnych małych maszyn połączonych w strukturę szeregową z silnikiem napędzającym istnieje jeszcze inna przyczyna obniżenia wartości podstawowych parametrów eksploatacyjnych. Jest nią nieprawidłowa regulacja, zwłaszcza układu zasilania, silników spalinowych. Jest ona często przeprowadzana na wyczucie, bez stosowania jakichkolwiek przyrządów diagnostycznych. Zasadniczo w pracach serwisowych używane są testery szczelności cylindrów oraz obrotomierze zarówno indukcyjne jak i rezonansowe.

Celem poszukiwań była taka metoda diagnostyczna, która za pomocą najmniejszej liczby testów pozwalałaby zarówno na ocenę stanu technicznego całej maszyny (ewentualnie ocenę jakości przeprowadzonych regulacji), jak też na lokalizację powstałego uszkodzenia. Z całej grupy różnorodnych metod diagnostycznych na szczególne wyróżnienie zasługuje metoda znana w literaturze pod nazwą sanonapędzania i samohamowania silnika spalino-

wego. W wyborze jednej metody diagnostycznej skupiono się głównie na silniku spalinywym, gdyż reszta zespołów małych, jednofunkcyjnych maszyn jest z nim połączona za pośrednictwem krótkiego łańcucha poszczególnych par kinematycznych. Krótki łańcuch par kinematycznych, w którym występuje stan awaryjny, ma bezpośredni wpływ na jakość pracy silnika napędowego charakteryzującym się niską wartością mocy w porównaniu z mocą silników instalowanych w pojazdach trakcyjnych używanych w rolnictwie. Wyróżniona metoda samonapędzania i samohamowania jest metodą starą, opracowaną w latach 60-tych XX wieku, jednak nie była ona powszechnie stosowana z uwagi na trudności w realizacji sprzętowej całego toru pomiarowego. W chwili obecnej przy zastosowaniu techniki cyfrowej realizacja sprzętowa toru pomiarowego jest możliwa przy zaangażowaniu niewielkich środków finansowych. Metoda ta zasadza się na pomiarze prędkości kątowej ω i przyspieszenia kątowego ε wału korbowego silnika podczas jego przyspieszania pod wpływem gwałtownie zwiększonej dawki paliwa oraz podczas zmniejszania prędkości kątowej ω wału korbowego silnika od prędkości maksymalnej do zera na skutek wyłączenia zapłonu lub całkowitego odcięcia dawki paliwa. Metoda ta pozwala na ocenę ilościową mocy efektywnej silnika spalinowego jak też mocy strat zarówno wewnętrznych silnika jak też mocy traconej na pokonanie oporów pracy całego łańcucha kinematycznego dołączonego do silnika.

W metodzie przyspieszeń wykorzystywany jest fakt, iż zmiana prędkości kątowej ω wału korbowego silnika powoduje powstanie reakcyjnego momentu obrotowego M_I :

$$M_I = J_R \cdot \varepsilon \quad (14)$$

gdzie:

- J_R – zredukowany moment bezwładności elementów silnika będących w ruchu obrotowym i posuwisto – zwrotnym [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$],
- ε – przyspieszenie kątowe wału korbowego [$\text{rad} \cdot \text{s}^{-2}$].

W czasie eksploatacji silnika wartość zredukowanego momentu bezwładności nie ulega zmianie, wobec tego wartość reakcyjnego momentu obrotowego M_I tylko zależy od wartości przyspieszenia kątowego wału korbowego silnika ε . Moment reakcyjny M_I może być wykorzystywany do samonapędzania i samohamowania silnika.

Efekt samohamowania silnika uzyskuje się w przypadku gdy gwałtownie zwiększymy dawkę paliwa w silniku pracującym na biegu jałowym, czyli wówczas $\varepsilon > 0$. Wytworzony podczas spalania paliwa moment M_d jest równoważony przez moment strat wewnętrznych silnika M_{st} i moment reakcyjny M_I . Ponieważ $M_d - M_{sw} = M_e$ wobec tego $M_I = M_e$, czyli wyznaczając wartość reakcyjnego momentu M_I określa się wartość momentu efektywnego M_e .

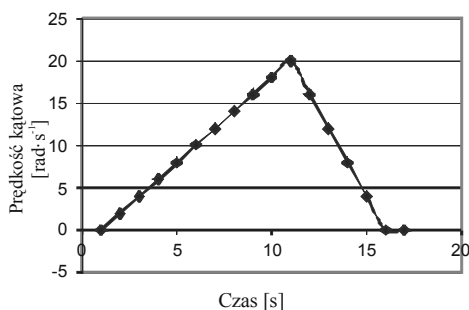
Samonapędzanie silnika wystąpi w przypadku gdy $\varepsilon < 0$, to znaczy gdy odetniemy dopływ paliwa lub wyłączymy zapłon w pracującym z maksymalną prędkością obrotową silniku. Reakcyjny moment M_I , będący czynnikiem napędzającym silnik, jest równoważony przez moment strat wewnętrznych M_{sw} . Wyznaczając wartość momentu reakcyjnego tym samym wyznaczamy wartość momentu strat wewnętrznych silnika spalinowego.

Wykreślając charakterystykę $\varepsilon = f(\omega)$ tym samym określamy zachowanie się silnika w fazach samohamowania i samonapędzania.

W Katedrze Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki UR został zrealizowany tester diagnostyczny do określania mocy silnika jak również mocy strat. Został on zrealizowany w

technice cyfrowej z wykorzystaniem mikrokontrolera serii AVR. Tester ten umożliwia zdjęcie charakterystyki $\omega = f(t)$, $\varepsilon = f(\omega)$ a następnie transmisję danych do komputera stacjonarnego celem graficznego przedstawienia powyższych charakterystyk.

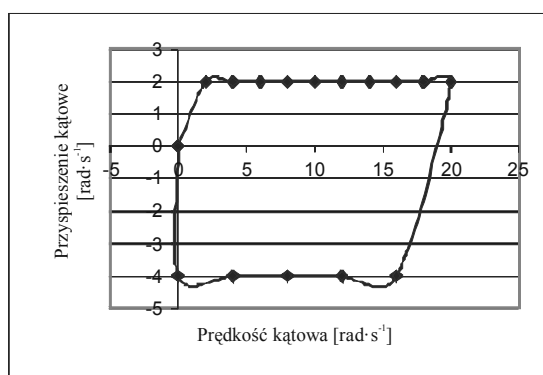
Na rysunku 32 przedstawiono charakterystykę $\omega = f(t)$ dla całkowicie sprawnego silnika czterosuwowego 1 cylindrowego połączonego sztywno z aparatem tnącym śmigłowym. Jak widać linie obrazujące wzrost prędkości kątowej wału korbowego jak i spadek prędkości kątowej są liniami prostymi. Można z tego wnioskować o prawidłowej pracy wszystkich układów silnika jak też o stałej wartości oporów wewnętrznych silnika. Opory sztywno połączonego aparatu tnącego są stałe.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 32. Charakterystyka $\omega = f(t)$ podczas przyspieszania i hamowania silnika całkowicie sprawnego z dołączonym sztywno aparatem tnącym śmigłowym

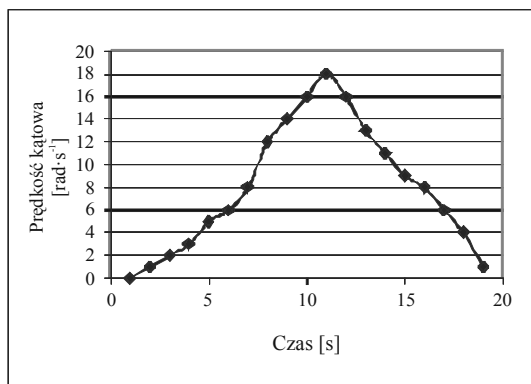
Na rysunku 33 przedstawiono charakterystykę $\varepsilon = f(\omega)$ opracowaną na podstawie charakterystyki $\omega = f(t)$ przedstawionej na rys. 32.



Źródło: opracowanie własne

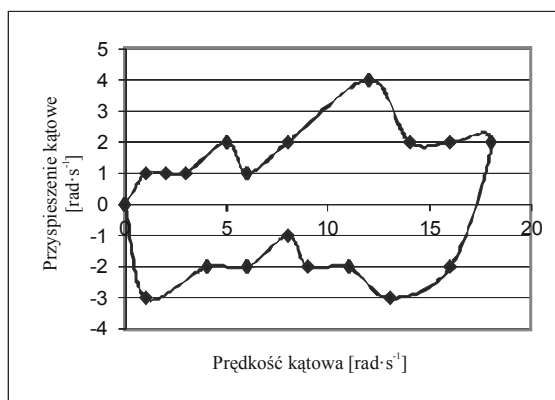
Rys. 33. Charakterystyka $\varepsilon = f(\omega)$ opracowana na podstawie charakterystyki $\omega = f(t)$ z rys. 32

Jak widać przyspieszenie kątowe, jak też opóźnienie kątowe wału korbowego silnika mają wartość stałą w całym zakresie zmian prędkości kątowej wału korbowego silnika spaliniowego, co świadczy o jego poprawnej pracy.



Źródło: opracowanie własne

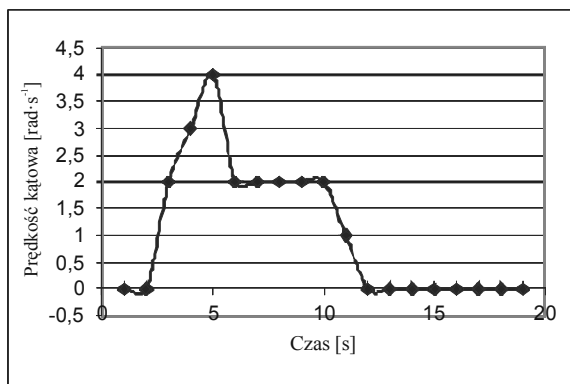
Rys. 34. Charakterystyka $\omega = f(t)$ silnika z usterkami układu zasilania oraz zwiększonymi oporami wewnętrznymi



Źródło: opracowanie własne

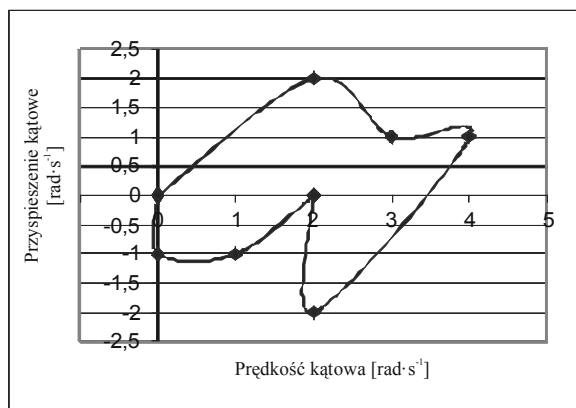
Rys. 35. Charakterystyka $\varepsilon = f(\omega)$ silnika z usterkami układu zasilania oraz zwiększonymi oporami wewnętrznymi

Natomiast na rysunkach 34 i 36 przedstawiono charakterystyki $\omega = f(t)$ oraz na rysunkach 35 i 37 charakterystyki $\varepsilon = f(\omega)$ silników z występującymi usterkami w układzie zasilania i przekazania napędu na organy robocze maszyny.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 36. Charakterystyka $\omega = f(t)$ silnika niewłaściwą regulacją gaźnika oraz usterkami w układzie przeniesienia napędu na organy robocze maszyny

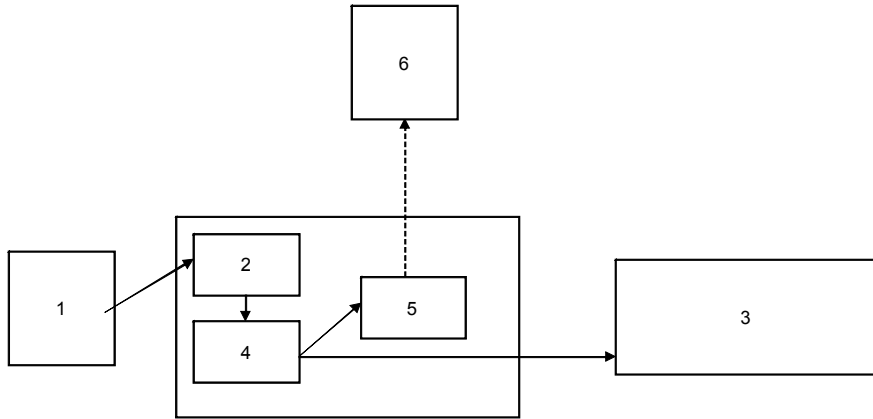


Źródło: opracowanie własne

Rys. 37. Charakterystyka $\varepsilon = f(\omega)$ silnika niewłaściwą regulacją gaźnika oraz usterkami w układzie przeniesienia napędu na organy robocze maszyny

Analizując powyższe charakterystyki można zauważyć, iż nieprawidłowe działanie silnika lub układu przeniesienia napędu na element roboczy w omawianych silnikach powodują zauważalne zakłócenie przebiegu charakterystyki $\omega = f(t)$ oraz $\varepsilon = f(\omega)$, co może być podstawą do procesu diagnozowania obiektu. Górna (dodatnia) część charakterystyki $\varepsilon = f(\omega)$ jest kształtowana przez procesy zachodzące w silniku podczas wzrostu prędkości kątowej wału korbowego i może wskazywać na występujące usterki w układach zasilania, zapłonowym oraz korbowo – tłokowym, jak też na niewłaściwą regulację. Dolna część powyższej charakterystyki (część ujemna) wskazuje na zwiększone opory wewnętrzne silnika jak też opory stawiane przez dołączone organy robocze spowodowane występującymi ich stanami awaryjnymi.

Na rysunku 38 przedstawiono schemat ideowy testera diagnostycznego.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 38. Schemat ideowy modułu pomiarowego. 1 – hallotronowy czujnik prędkości obrotowej, 2 – układ czasowy mikrokontrolera Timer0, 3 – wyświetlacz LCD, 4 – pamięć RAM mikrokontrolera, 5 – moduł komunikacyjny USB, 6 – komputer PC

Moduł ten połączony jest z hallotronowym czujnikiem prędkości obrotowej wału korbowego silnika (kosiarki) bądź wału napędzającego organ roboczy (wykaszarki). Pomiar zmian prędkości kątowej wału korbowego silnika w czasie odbywa się z wykorzystaniem Timer'a0, znajdującego się w mikrokontrolerze i odczytanie „w locie” stanów licznika impulsów (Counter0), będącego jedną z funkcji licznika mikrokontrolera Timer'a0, co określony przedział czasowy wyznaczony programowo i jest zapisywany do odpowiedniej tablicy w obszarze pamięci RAM mikrokontrolera. Na podstawie stworzonej tablicy wyników pomiarów określa się wszystkie wspomniane wcześniej charakterystyki.

W tabeli 5 przedstawiono przykładowe wyniki pomiarów przesyłane z mikrokontrolera do komputera PC. Pierwsza kolumna zawiera kolejny numer pomiaru, który zarazem jest podstawą czasu, gdyż kolejne pomiary odbywają się co określony przedział czasu. W drugiej kolumnie zawarty jest stan licznika impulsów Counter0 mikrokontrolera AVR odczytywany w ustalonych odstępach czasu. Na podstawie tych dwóch kolumn wyznaczane są wartości zawarte w kolumnie 3, będące chwilowymi prędkościami kątowymi ω wału badanego silnika. Zmiany chwilowej prędkości kątowej silnika ω pozwalają na wyznaczenie chwilowej wartości przyspieszenia kątowego ϵ wału silnika.

Tabela 5. Tabela wyników pomiarów przesyłanych po zakończonym pomiarze z modułu pomiarowego do komputera PC

L.p.	Stan licznika	Prędk. kątowe	Przesp. kątowe
10	0	0	0
11	0	0	0
12	0	0	2
13	0	2	10
14	2	12	-1
15	14	11	-2
16	25	9	0
17	34	9	-1
18	43	8	-2
19	51	6	0
20	57	6	-1
21	63	5	-2
22	68	3	0
23	71	3	-2
24	74	1	0
25	75	1	-1
26	76	0	0
27	76	0	0
28	76	0	0

Źródło: opracowanie własne

W czasie trwania pomiarów opracowany moduł jest jednostką autonomiczną tzn. w czasie pomiarów nie musi być połączony z komputerem PC.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 39. Widok wyświetlacza LCD z menu wyboru

Oprogramowanie mikrokontrolera zostało napisane w ten sposób, że uwzględniono możliwość konfiguracji modułu pomiarowego za pomocą aplikacji uruchamianej na komputerze PC poprzez port USB. Na rysunku 39 przedstawiono podstawowe menu modułu pomiarowego, gdzie do wyboru są 3 opcje:

- test - w czasie którego wykonywane są pomiary zmian prędkości obrotowej silnika w celu określenia charakterystyki $\epsilon = f(\omega)$,
- obroty - po wybraniu tej opcji moduł pracuje w trybie obrotomierza (rys.40),
- zapis - po podłączeniu modułu pomiarowego poprzez port USB dane przesyłane są do aplikacji uruchomionej na komputerze PC.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 40. Widok wyświetlacza LCD modułu podczas pracy w trybie obrotomierza

Po dokonaniu pomiarów zebrane dane poprzez port USB są przesyłane do komputera PC, gdzie następuje ich dalsza obróbka i wizualizacja. Moduł uruchamiany na komputerze PC napisano w języku Delphi.

Moduł pomiarowy umożliwia też pomiar chwilowej prędkości obrotowej silnika, wykorzystując do pomiaru czujnik hallotronowy, co jest przydatne podczas prac regulacyjnych układu zasilania paliwem oraz do oceny jakości zabiegów regulacyjnych.

8.2. Propozycja warsztatowego przyrządu do określania zawartości paliwa w olejowym

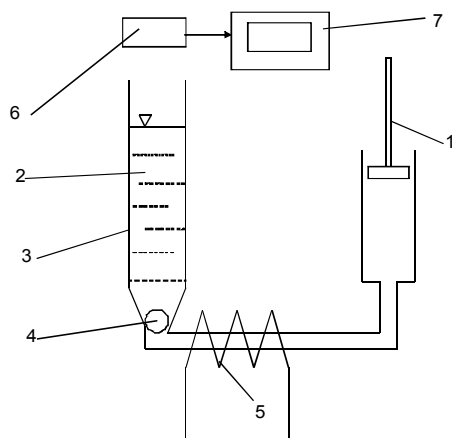
Podczas eksploatacji olej smarujący traci swe własności na skutek wielu czynników fizycznych oraz chemicznych. Wraz z utratą tych własności pogarsza się skuteczność smarowania silnika podczas pracy. Spośród wielu własności jakie posiada olej, podczas eksploatacji niektóre są niezmiennie inne natomiast zmieniają się nieznacznie. Dużym zmianom podlegają gęstość (ρ) oleju i jego lepkość (ν). Podczas badań nielaboratoryjnych możemy na podstawie gęstości oraz lepkości określić w przybliżeniu zdolność użytkową oleju. W przypadku badania zawartości paliwa w oleju silnikowym, własnością która będzie ulegała zmianie jest lepkość oleju (ν). Jednak nie zawsze lepkość oleju będzie ulegała zmianie wraz ze stwierdzeniem zawartości w nim paliwa, gdyż zwiększająca się w oleju koncentracja różnych zanieczyszczeń może być powodem wzrostu lub spadku lepkości

oleju. Dlatego też uznano, iż zmiana lepkości oleju silnikowego nie może być parametrem określającym jednoznacznie ilościową zawartość paliwa w oleju silnikowym.

Z tego powodu zdecydowano się na określenie ilości paliwa w oleju przez pomiar koncentracji par paliwa w powietrzu przetłoczonym przez próbkę badanego oleju. Urządzenie do badania zawartości paliw w olejach silnikowych powinno spełniać następujące wymagania:

- być przyrządem uniwersalnym,
- mieć możliwość badania małych próbek,
- łatwy do użycia i skonstruowania,
- możliwość przeprowadzenia szybkiej analizy próbek z zawartością oleju napędowego jak i benzyny,
- pracować poprawnie w warunkach warsztatowych,
- stanowić konstrukcję zwartą i estetyczną,
- nie zagrażać warunkom p-poż.

Na rysunku 41 przedstawiono schemat ideowy urządzenia do pomiaru ilości paliwa w oleju silnikowym. Część dozująca powinna zapewniać niezmienną i stałą dla poszczególnych pomiarów ilość powietrza, która zostanie przetłoczona do cylinderka szklanego, w którym znajduje się także określona i stała dla każdego oznaczenia objętość badanych próbek. Jako element pomiarowy został zastosowany półprzewodnikowy czujnik reagujący na obecność w powietrzu związków węglowodorowych, takich jak: benzyna, olej napędowy, metan, propan, butan itp. W układzie tym dokonuje się pomiaru rezystancji różniczkowej pomiędzy elektrodami pomiarowymi czujnika pracującego w stałej podwyższonej temperaturze, a zmienny w czasie sygnał elektryczny poddaje się procesowi linearyzacji.



źródło: opracowanie własne

Rys. 41. Schemat przyrządu do określania zawartości paliwa w oleju silnikowym, gdzie 1 - zespół pompki powietrza, 2 - próbka badanego oleju, 3 - pojemnik na próbkę oleju, 4 - zawór kulowy, 5 - grzałka, 6 - czujnik węglowodorów, 7 - moduł pomiarowy i wskaźnik

Wyjście układu pomiarowego połączone jest z cyfrowym woltomierzem. Jako część dozującą powietrze wykorzystano pompkę tłokową, która połączona jest rurką z cylindrem szklanym. Zastosowany zaworek umożliwia zassanie do pompki powietrza, a także zaworek zwrotny uniemożliwiający przepływ badanej próbki do przewodu łączącego /rurki/. U wylotu oparów z cylinderka zastosowano filtr siatkowy który zapobiega zawi-

goceniu czujnika pomiarowego kroplami przedmuchiwanego oleju. Przetłaczane powietrze może być ogrzewane za pomocą zainstalowanej na przewodzie powietrznym grzałki.

Przy doborze ilości powietrza przedmuchiwanego przez próbkę oleju kierowano się zasadą aby włączana objętość powietrza przekraczała 4 krotnie objętość całkowitą cylinderka pomiarowego wraz z przewodami łączącymi. Użyty półprzewodnikowy czujnik MGD-03 umieszczony jest u wylotu oparów z cylinderka szklanego. Odległość czujnika od krawędzi cylinderka powinna być ustalona metodą prób i w czasie badań nie ulegać zmianie.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 42. Wykres kalibracyjny przyrządu, zależność napięcia na wyjściu modułu pomiarowego [mV] w funkcji procentowej zawartości paliwa w oleju

Próbki oleju do badań wstępnych mających na celu weryfikację słuszności przyjętej metody pomiarowej, sporządzono z oleju świeżego do którego dodawano odpowiednie ilości benzyny lub oleju napędowego.

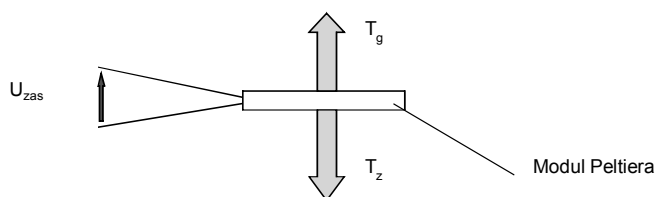
Z uwagi na niewielkie dopuszczalne zawartości paliw w olejach silnikowych, do badań sporządzone roztwory benzyny lub oleju napędowego w oleju silnikowym miały stężenia od 0.1 do 5%. Próbki przedmuchiwało się powietrzem o temperaturze pokojowej. O ile w przypadku benzyn opary nawet dla najmniejszych stężeń były jednoznaczne do wykrycia, to w przypadku oleju napędowego rozdzielczość pomiarowa przyrządu była zbyt niska. Spowodowane to jest znacznie wyższymi temperaturami parowania oleju napędowego. Dlatego też do badań zawartości oleju napędowego w oleju silnikowym powietrze powinno być podgrzane do temperatury 60-70°C, co w dużym stopniu ułatwiło odparowywanie lżejszych frakcji oleju napędowego. Wyniki badań sprawdzających przedstawiono na rysunku 42. Przeprowadzone badania testowe wykazały prawidłowość przyjętego rozwiązania konstrukcyjnego oraz wykazały konieczność opracowania układu do podgrzewania powietrza zwłaszcza przy badaniach oleju pochodzącego z silników wysokoprężnych. Chcąc uzyskiwać miarodajne wyniki układ podgrzewania winien zapewniać stałą temperaturę powietrza w kolejno po sobie następujących badaniach. W związku

z tym zachodzi konieczność dokładnych badań mających na celu wycechowanie tego przyrządu w jednostkach stosowanych (zalecanych przez normy).

8.3. Przykład diagnostyki on-line

8.3.1. Moduł Peltiera

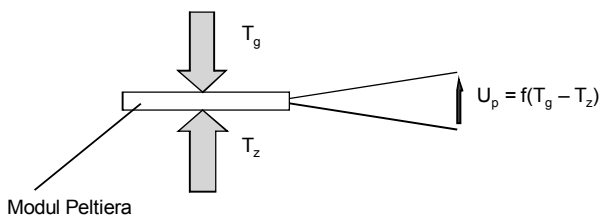
Moduł Peltiera, dzięki spadkowi jego ceny, jest wykorzystywany w wielu urządzeniach, gdzie potrzebujemy oziębienia grzejących się elementów. Ma on przewagę nad klasycznymi, sprężarkowymi układami chłodniczymi polegającą na tym, iż nie posiada on żadnych ruchomych części mechanicznych oraz nie potrzebuje do swej pracy żadnego czynnika chłodniczego. Zasilając moduł Peltiera prądem stałym o określonym natężeniu jedna strona tego modułu ogrzewa się natomiast druga strona jest oziębiana (rys. 43).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 43. Schemat modułu Peltiera pracującego w trybie półprzewodnikowej pompy ciepła: U_{zas} – napięcie zasilające, T_g – temperatura strony gorącej, T_z – temperatura strony zimnej

Moduł Peltiera jest półprzewodnikową pompą ciepła, zbudowaną z elementów półprzewodnikowych typu (p) oraz (n) odpowiednio ze sobą połączonych. Podobnie jak inne elementy półprzewodnikowe np. diody impulsowe, tranzystory bipolarne, może on pracować jako element termoelektryczny, indukując na swoich zaciskach napięcie proporcjonalne do różnicy temperatur po obu stronach modułu (rys. 44).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 44. Schemat modułu Peltiera pracującego jako czujnik różnicowy temperatur. Napięcie U_p uzyskane na zaciskach modułu jest funkcją różnicy temperatur powierzchni modułu po stronie gorącej T_g i stronie zimnej T_z

8.3.2. Diagnostyka on-line modułu Peltiera

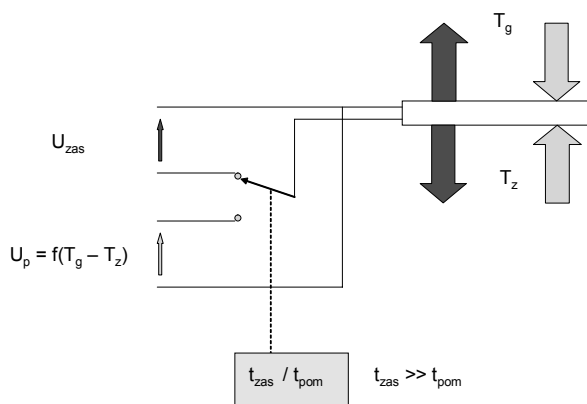
W procesie diagnozowania modułu Peltiera w czasie jego pracy sygnałami diagnostycznymi, które w sposób jednoznaczny określają jego stan techniczny, są:

- wielkość prądu pobieranego przez moduł przy określonym napięciu zasilania,
- temperatura powierzchni modułu po jego stronie gorącej,
- temperatura powierzchni modułu po jego stronie zimnej.

Do pomiarów temperatur po obu stronach modułu wykorzystuje się czujniki temperatury umieszczone w radiatorze współpracującym z powierzchnią modułu tak, aby powierzchnia czynna czujnika miała bezpośredni kontakt z powierzchnią, której temperaturę trzeba mierzyć. Równocześnie sam czujnik temperatury powinien być izolowany od samego radiatora, aby wyeliminować wpływ masy radiatora na pomiar temperatury powierzchni modułu. Stosowanie dwóch odrębnych czujników temperatury oddzielnie dla strony gorącej i zimnej modułu Peltiera wymaga zbudowania dwóch niezależnych torów pomiarowych oraz zastosowanie układu określającego różnicę tych dwóch zmierzonych wielkości temperatur (wykonanych najczęściej w technice mikroprocesorowej), co znacznie komplikuje budowę układu diagnostycznego pracującego w trybie *on – line*.

Do pomiaru różnicy temperatur na obu stronach modułu Peltiera postanowiono wykorzystać termoelektryczny efekt tegoż modułu. W tym celu opracowano układ do diagnostyki modułu Peltiera w czasie jego pracy, bez konieczności zabudowywania na nim dodatkowych czujników temperatury.

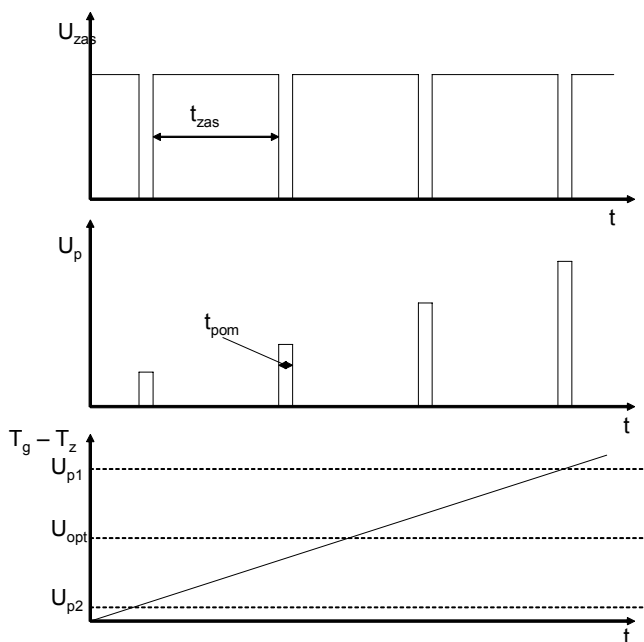
Na rysunku 45 przedstawiono schemat ideowy układu do diagnostyki modułu Peltiera. Moduł Peltiera połączony jest ze źródłem zasilania poprzez przełącznik.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 45. Schemat ideowy układu, pozwalającego na diagnostykę on-line modułu Peltiera podczas jego pracy: U_{zas} – napięcie zasilania, U_p – napięcie na zaciskach modułu powstałe na skutek różnicy temperatur, t_{zas} – czas zasilania modułu, t_{pom} – czas pomiaru różnicy temperatur (przy braku zasilania), T_g – temperatura strony gorącej, T_z – temperatura strony zimnej

Umożliwia on odłączanie modułu cyklicznie po upływie czasu t_{zas} i przez czas t_{pom} do zacisków modułu podłączany jest miernik napięcia (rys. 46). Odłączony od źródła zasilania moduł pracuje jako ogniwo termoelektryczne, indukując na zaciskach napięcie proporcjonalne do różnicy temperatur obu stron modułu Peltiera. Po upływie czasu t_{pom} moduł za pomocą przełącznika podłączany jest do źródła zasilania. Czas t_{zas} jest wielokrotnie większy od czasu t_{pom} , dlatego też podczas odłączenia od źródła zasilania temperatury po stronie gorącej i zimnej nie zmieniają się w sposób istotny na skutek przewodnictwa ciepła elementów składowych modułu Peltiera.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 46. Wykresy czasowe zasilania modułu Peltiera, napięcia na zaciskach U_p przy braku zasilania oraz różnicy temperatur ($T_g - T_z$) po stronie gorącej i zimnej: U_{zas} – napięcie zasilania, U_p – napięcie na zaciskach modułu powstałe na skutek różnicy temperatur, t_{zas} – czas zasilania modułu, t_{pom} – czas pomiaru różnicy temperatur (przy braku zasilania), T_g – temperatura strony gorącej, T_z – temperatura strony zimnej, U_{p1} , U_{p2} , U_{opt} napięcie na zaciskach modułu przy braku zasilania odpowiadające kolejno zbyt dużej różnicy temperatur po stronie gorącej i zimnej, zbyt małej różnicy temperatur, optymalnej różnicy temperatur

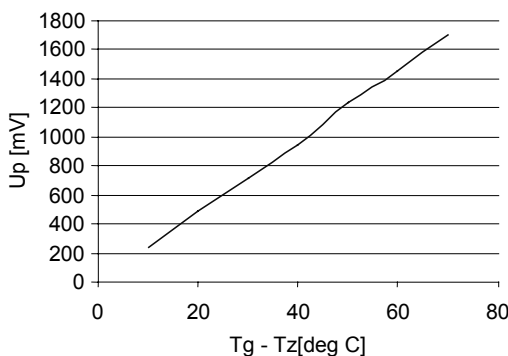
Podczas prawidłowego działania modułu Peltiera różnica temperatur po jego obydwu stronach powinna wynosić ok. 20–60 [°C]. Świadczy to o dobrym odprowadzaniu ciepła po stronie gorącej i o dominacji zjawiska Peltiera nad zjawiskiem Joula. Takiej różnicy temperatur odpowiadać będzie napięcie U_{popt} na zaciskach modułu przy odłączonym napięciu

zasilania w czasie t_{pom} , co świadczy o stanie sprawności układu chłodniczego zbudowanego z wykorzystaniem modułu Peltiera.

W sytuacji gdy odprowadzanie ciepła po stronie gorącej będzie niewłaściwe, czyli różnica temperatur po stronie gorącej i zimnej będzie przekraczała ΔT_{opt} , napięcie na zaciskach modułu przy odłączonym zasilaniu będzie większe od wartości U_{popi} i będzie wynosić U_{p1} , co będzie świadczyć o wystąpieniu stanu awaryjnego w układzie chłodniczym, polegającym na uszkodzeniu radiatora lub wentylatora współpracującego z radiatorem po stronie gorącej.

W przypadku zasilania modułu Peltiera prądem o zbyt małym natężeniu efekt chłodzący modułu jest niski, co może objawiać się małą różnicą temperatur po stronie gorącej i zimnej. Przejawia się to napięciem na zaciskach modułu Peltiera i wynoszącym U_{p2} niższym od U_{opt} .

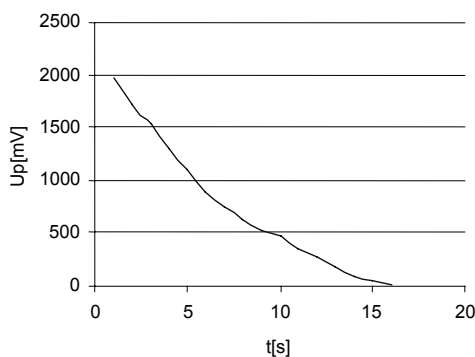
Na rysunku 47 przedstawiono krzywą cechowania modułu Peltiera pracującego w trybie ogniwa termoelektrycznego. Jak widać, zakresy zmian napięcia na zaciskach modułu Peltiera pracującego w trybie ogniwa termoelektrycznego są dostatecznie duże, aby były mierzalne przy pomocy ogólnie dostępnych mierników napięcia lub za pomocą prostych komputerowych systemów pomiarowych wyposażonych w 8 bitowy przetwornik analogowo – cyfrowy. Przyrost różnicy temperatur po stronie gorącej i zimnej o ok. 20°C powoduje zmiany napięcia indukowanego na wyjściu modułu o ok. 400 mV, czyli czułość pomiarowa badanego modułu wynosi ok. $20\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$. Wyznaczona czułość pomiarowa modułu Peltiera pracującego jako różnicowy czujnik temperatury jest dwukrotnie wyższa niż popularnego linearyzowanego półprzewodnikowego czujnika temperatury LM35, która dla tego czujnika wynosi $10\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$. W badanym układzie diagnostycznym przyjęto stosunek czasu zasilania t_{zas} do czasu odłączenia od źródła zasilania t_{pom} równy 10, czyli czas odłączenia modułu Peltiera od źródła zasilania i wykorzystanie go jako różnicowego czujnika temperatury jest 10 krotnie krótszy niż czas zasilania go ze źródła prądu.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 47. Napięcie na zaciskach modułu Peltiera w funkcji różnicy temperatur po stronie gorącej i zimnej

Rysunek 48 przedstawia charakterystykę badanego modułu pokazującą zmiany różnicy temperatur po stronie gorącej i zimnej w funkcji czasu na skutek przewodnictwa cieplnego elementów składowych modułu odłączonego od źródła zasilania. W badanym układzie czas odłączenia od źródła prądu wynosił 0,5 sekundy, co było wystarczające na dokonanie 4 pomiarów indykowanego napięcia na zaciskach modułu Peltiera. Wielokrotny pomiar konieczny był celem eliminacji mogących powstać podczas pomiaru zakłóceń. Rejestracja różnicy temperatur realizowana była za pomocą układu pomiarowego wykonanego w oparciu o mikrokontroler AT89C2051 współpracujący z 8 bitowym przetwornikiem analogowo–cyfrowym PCF8591. Oprogramowanie mikrokontrolera zostało napisane w języku Bascom.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 48. Napięcie na zaciskach modułu Peltiera po odłączeniu napięcia zasilającego podczas wyrównywania temperatur po stronie gorącej i zimnej w funkcji czasu

9. ZASTOSOWANIE SZTUCZNYCH SIECI NEURONOWYCH W DIAGNOSTYCE I ELIMINACJI ZAKŁÓCEŃ W PROCESACH POMIAROWYCH

Jednym z wielu problemów, na który napotyka się podczas opracowywania wyników badań jest formalizacja zapisu badanego zjawiska lub procesu. Opis analityczny nie zawsze jest możliwy z uwagi na nieliniowe zależności między wielkościami opisującymi a wielkościami opisywanymi. Niektóre z nich mogą być rozwiązane z użyciem sztucznych sieci neuronowych. Dysponując zbiorem danych pomiarowych określających badane zjawisko bądź proces można w trakcie procesu uczenia sztucznej sieci neuronowej odwzorować dane zjawisko lub proces. Odwzorowanie odbywa się poprzez określenie zbioru wag przypisanych poszczególnym połączeniom międzyneuronowym.

Najbardziej rozbudowanym modułem każdego oprogramowania systemowego służącego do diagnostyki urządzeń technicznych jest moduł logiki wnioskowania diagnostycznego.

Moduł ten odpowiada za prawidłowość przeprowadzenia całego procesu diagnostycznego. W dużych systemach diagnostycznych najczęściej zrealizowany jest w oparciu o systemy ekspertowe.

W systemach ekspertowych wiedza niezbędna do przeprowadzenia procesu diagnostycznego zawarta jest w bazie wiedzy w postaci jawnej. Znaczy to, że znajduje się ona w systemie w postaci reguł i faktów, które w prosty sposób mogą być modyfikowane i rozbudowywane.

Implementacja systemu ekspertowego jako bloku logiki i wnioskowania wymaga zainstalowania w systemie pojemnych nośników informacji, na których przechowywana będzie baza wiedzy. Potwierdzeniem tego faktu może być rozwiązanie prezentowane w pracy Michalskiego i in. [1997], gdzie w komputerze pokładowym przeznaczonym dla kombajnu zbożowego (z systemem wnioskowania opartym na systemach ekspertowych) zaszła konieczność zainstalowania pamięci o pojemności 1 Mb. W neuronowych sieciach natomiast wiedza niezbędna do przeprowadzenia procesu diagnostycznego zawarta jest w formie niejawnej, w postaci zbioru wag połączeń między warstwami neuronów.

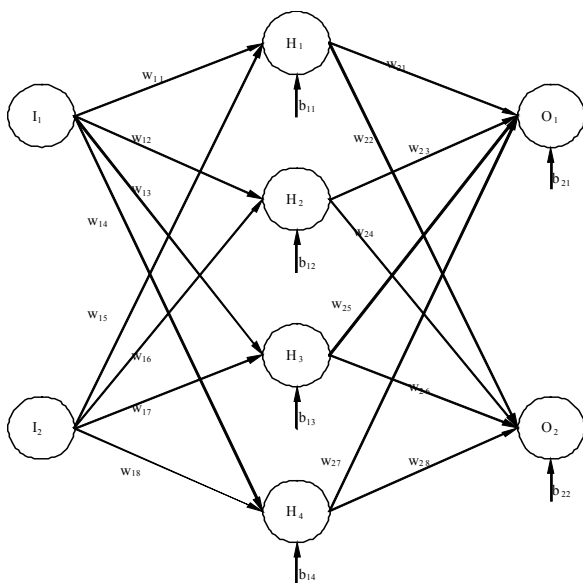
Proces uczenia sieci jest w zasadzie procesem implementacji wiedzy do struktury sieci z jednoczesną zamianą jej postaci z postaci jawnej (przykłady uczące) do postaci niejawnej (wagi przypisane konkretnym połączeniom neuronów ze sobą). Oprócz zamiany postaci wiedzy w procesie uczenia zachodzi jeszcze proces kompresji wiedzy. Tak więc wielkość pliku zawierającego zbiór wag, a będącego w zasadzie zbiorem odpowiedniej wiedzy w postaci niejawnej, jest bardzo mały w porównaniu z odpowiadającą mu bazą wiedzy systemu ekspertowego. Jest to idealne rozwiązanie dla prostych systemów diagnostycznych realizowanych w oparciu o mikrokomputery 8-bitowe, bądź dla pokładowych komputerów diagnostycznych maszyn rolniczych.

W wypadku sieci neuronowej zastosowanej jako układ logiki i wnioskowania diagnostycznego nie występuje problem identyfikacji pozyskanego z czujnika sygnału diagnostycznego, gdyż każdy sygnał ma swoje indywidualne wejście. Jest to istotne ułatwienie w procesie opracowywania algorytmu całego systemu diagnostycznego.

Ważnym problemem w projektowaniu optymalnej struktury sieci jest dobór liczby neuronów w warstwie ukrytej. Liczba neuronów wejściowych oraz wyjściowych jest zdeterminowana liczbą objawów uszkodzeń oraz liczbą stanów niesprawności obiektu. Zbyt mała liczba neuronów może doprowadzić do sytuacji, iż taka sieć nie będzie w stanie się nauczyć przetwarzania pokazywanych wzorców w procesie uczenia. Objawia się to brakiem spadku lub bardzo nikłym spadkiem wartości błędu przetwarzania w miarę postępującego procesu uczenia sieci. Z kolei zbyt duża liczba neuronów ukrytych powoduje, że taka sieć „uczy się na pamięć” pokazywanych wzorców. Proces uczenia takiej sieci jest krótki, ale próby przetwarzania informacji nie wchodzącej w skład pliku uczącego nie przynoszą zadowalających rezultatów. W takiej sieci nie zachodzi proces uogólniania. Jest to związane z istnieniem dużej (nadmiernej) liczby powiązań pomiędzy poszczególnymi neuronami.

Prawidłowo nauczona sieć na swoim wyjściu generuje liczby z zakresu (0, 1).

Istotnym problemem jest przyporządkowanie wartości pojawiających się na wyjściu do stanu: sprawności bądź niesprawności. W literaturze nie opisano sztywnych reguł takiego przyporządkowania. Pojawianie się takich wartości na wyjściu sieci jest związane z oddziaływaniem na każde wyjście wszystkich neuronów znajdujących się w warstwie wyjściowej.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 49. Schemat sieci neuronowej o 2 wejściach, 2 wyjściach, 4 neuronach w warstwie ukrytej: I_i – wejścia, H_i – warstwa ukryta, O_i – wyjścia, w_{ji} – wagi połączeń, b_{ji} – przesunięcie

Określenie wartości progów rozgraniczającego odpowiedzi sieci i przyporządkowujące je do dwóch klas – sprawności lub niesprawności przeprowadza się, minimalizując błąd odpowiedzi sieci, przy różnych wartościach progów rozdzielających te dwie klasy odpowiedzi. Operację tę przeprowadza się na sieci wytrenowanej, przetwarzającej ten sam zestaw danych wejściowych.

Wartości liczbowe, które zostaną zakwalifikowane do klasy określającej stan niesprawności obiektu, można potraktować jako wagi diagnostyczne, hierarchizujące odpowiedzi sieci [Langman 1996]. Można to wyjaśnić w następujący sposób: powiązania wejść i wyjść sieci są zrealizowane poprzez podłączenie neuronów typu „każdy z każdym” między poszczególnymi warstwami.

Wartość pobudzenia warstwy (P) ukrytej pochodzące od poszczególnych wejść można określić zależnością:

$$P_1 = I_1 \cdot w_{11} + b_{11} \quad P_5 = I_2 \cdot w_{15} + b_{11}$$

$$P_2 = I_1 \cdot w_{12} + b_{12} \quad P_6 = I_2 \cdot w_{16} + b_{12}$$

$$P_3 = I_1 \cdot w_{13} + b_{13} \quad P_7 = I_2 \cdot w_{17} + b_{13}$$

$$P_4 = I_1 \cdot w_{14} + b_{14} \quad P_8 = I_2 \cdot w_{18} + b_{14}$$

Wartość impulsu wyjściowego z warstwy ukrytej można przedstawić następująco:

$$H_1 = F_1 (P_1 + P_5)$$

$$H_2 = F_1 (P_2 + P_6)$$

$$H_3 = F_1 (P_3 + P_7)$$

$$H_4 = F_1 (P_4 + P_8)$$

Wartość wyjściowa sieci jest określona jako:

$$O_1 = F_2 ((H_1 \cdot w_{21} + b_{21}) + (H_2 \cdot w_{23} + b_{21}) + (H_3 \cdot w_{25} + b_{21}) + (H_4 \cdot w_{27} + b_{21}))$$

$$O_2 = F_2 ((H_1 \cdot w_{22} + b_{22}) + (H_2 \cdot w_{24} + b_{22}) + (H_3 \cdot w_{26} + b_{22}) + (H_4 \cdot w_{28} + b_{22}))$$

Jak widać z przytoczonych zależności poszczególne wyjścia z sieci są powiązane z każdym wejściem sieci. Wielkość powiązania jest uzależniona od wartości wag określonych w procesie uczenia.

W zależności od stanu na wejściu sieci wartości wyjściowe mogą być „wzmocniane” bądź też „osłabiane” na skutek istniejących powiązań. Dlatego wartość wyjściową można uznać za odzwierciedlenie siły powiązań między stanami wejść a odpowiedzią na danym wyjściu i ta wartość może być podstawą do hierarchizacji odpowiedzi sieci, a tym samym hierarchizacji stanów diagnozowanego obiektu.

Uogólniając, można stwierdzić, że opierając się na wynikach badań symulacyjnych oraz na powyższych zależnościach, każdy z wcześniej zdefiniowanych problemów wnioskowania diagnostycznego można przedstawić w formie zależności:

$$O_j = F_2 \left(\sum_{i=1}^{hid} (F_1 \left(\sum_{k=1}^{inp} (I_k \cdot W_{ik} + b_i) \right) \cdot W_{ij} + b_j) \right) \quad (15)$$

gdzie:

F_1, F_2 – funkcje aktywacji warstwy ukrytej (sigmoidalna) oraz warstwy wyjściowej (tagenshiperboliczny),

I_k – wartość na k -tym wejściu,

O_j – wartość na j -tym wyjściu,

W_{ik} – wagi połączeń między warstwą wejściową a ukrytą,

b_i – wartość przesunięcia (ang. bias) warstwy ukrytej,

W_{ij} – wagi połączeń między warstwą ukrytą a wyjściową,

b_j – przesunięcie (ang. bias) warstwy wyjściowej,

hid – liczba neuronów w warstwie ukrytej,

inp – liczba neuronów w warstwie wejściowej,

j – liczba neuronów w warstwie wyjściowej,

oraz mając wcześniej określone w procesie uczenia sieci zbiory wag połączeń W_{ik} , W_{ij} i wartości przesunięć b_i , b_j dla konkretnego przypadku diagnozowania.

Prawidłowość odwzorowania zjawiska lub procesu w zbiorze wag, a tym samym jakość procesu uczenie i powiązana z tym zdolność sieci do uogólniania zależy od wielu czynników. Są nimi:

1. odpowiedni dobór danych tworzących zbiór uczący sieć,
2. kolejność występowania poszczególnych danych w tym zbiorze,
3. architektura sieci,
4. dobór rodzajów funkcji aktywacji dla poszczególnych warstw,
5. sposób generacji wartości początkowej wag połączeń międzyneuronowych.

Dane liczbowe podawane na wejście sieci przyjmują wartości należące do różnych przedziałów. Z punktu widzenia efektywności procesu uczenia sieci najkorzystniej jest podawać na wejście sieci dane z przedziału (0,1). Jest to spowodowane lepszym wykorzystaniem nieliniowego fragmentu przebiegu funkcji aktywacji poszczególnych warstw sieci, a zwłaszcza warstwy ukrytej.

W tym celu dokonano normalizacji danych wejściowych wykorzystując zależność (1).

$$x_n = \frac{x_{max} - x_i}{x_{max} - x_{min}} \quad (16)$$

gdzie:

x_n – wartość znormalizowana,

x_{max} – wartość maksymalna należąca do zbioru,

x_{min} – wartość minimalna należąca do zbioru,

x_i – wartość podlegająca normalizacji.

9.1. Diagnostyka objawowa siewnika pneumatycznego

Celem badań było określenie najlepszej struktury sieci neuronowej służących do rozwiązywania trzech podstawowych problemów wnioskowania diagnostycznego są to:

- problem identyfikacji stanu obiektu na podstawie objawów niesprawności,
- problem przetwarzania analogowych sygnałów diagnostycznych i ich klasyfikacja,
- problem przetwarzania charakterystyk i ich klasyfikacja.

Miarą prawidłowego doboru struktury będzie błąd przetwarzania plików testowych przez wytrenowaną sieć neuronową. W kolejnych symulacjach warunki uczenia sieci są stałe. Zmiennymi są:

- liczba neuronów w warstwie ukrytej,
- sposób inicjacji sieci (sposób doboru początkowych wag),
- rodzaj funkcji aktywującej poszczególne warstwy [Langman 1998].

Na podstawie analizy modelu funkcjonalnego siewnika precyzyjnego opracowano tabelę diagnostyczną ujmującą objawy niesprawności w zależności od przyczyn powodujących te objawy.

Objawy:

- O1 – liczne niedobory ziarna,
- O2 – liczne nadmiary ziarna,
- O3 – nieregularny wysiew (niedobory – nadmiary – pakiety ziarna),
- O4 – nierówna gęstość wysiewu,
- O5 – rozłączenie sprzęgła,
- O6 – przerywanie blokowanie się napędu.

Przyczyny:

- P1 – płytki rozdzielająca zbyt nisko,
- P2 – płytki rozdzielająca zbyt wysoko,
- P3 – płytki rozdzielająca zdeformowana,
- P4 – płytki rozdzielająca zużyta,
- P5 – tarcza wysiewająca zdeformowana lub zużyta,
- P6 – otwory tarcz zbyt małe,
- P7 – otwory tarcz zbyt duże,
- P8 – zbyt wysoka prędkość robocza,
- P9 – uszkodzony przewód zasysający,
- P10 – zbyt mała prędkość obrotowa WOM,
- P11 – zbyt wysoka prędkość obrotowa WOM,
- P12 – obce ciała w ziarnie,
- P13 – zużyte redlice lub zapchane,
- P14 – zbyt duża ilość ziarna w aparacie wysiewającym,
- P15 – nie przestawiona przepustnica poziomu ziarna,
- P16 – uszkodzony eżektor,
- P17 – zatarcie sekcji rozdzielającej,
- P18 – zablokowanie na poziomie przekładni,
- P19 – zahaczanie się części ruchomych i zamocowanych,
- P20 – brak wymaganego ciśnienia w ogumieniu (1 bar).

Tabela 6. Tabela diagnostyki symptomowej (objaw-przyczyna)

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20
Przyczyny	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Uszkodzenia	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Liczne niedobory ziarna (O1)	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0
Liczne nadmiary ziarna (O2)	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Nierówny wysiew (O3)	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0
Nierówna gęstość wysiewu (O4)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Rozłączanie sprzęgła (O5)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0
Przerywanie napędu (O6)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

Źródło: opracowanie własne

W oparciu o powyższą tabelę 6 zbudowano sieć składającą się z 6 neuronów wejściowych (tzw. sygnałów diagnostycznych) i 20 neuronów warstwy ukrytej (miejsc niesprawności).

Jest wiele programów w których można przeprowadzić proces uczenie sieci neuronowych. W niniejszej pracy obliczeń dokonano w programie MATLAB.

Poniżej przedstawiono plik wsadowy programu MATLAB do uczenia i testowania sieci neuronowej:

```
clear                                     kasowanie zmiennych
load oprwe;                               ładowanie plików
load oprwy;                               uczących
load oprtes;                              i testujących
warukr=11;                                ilość neuronów w warstwie ukrytej
[w1,b1,w2,b2]=initff(oprwe,warukr,'tansig',oprwy,'logsig');  inicjacja sieci
save oprw1i w1 -ascii;
save oprw2i w2 -ascii;                   zapis wag inicjujących sieć
save oprb1i b1 -ascii;
save oprb2i b2 -ascii;
df=500;
me=15000;                                parametry uczenia sieci
eg=0.001;                                i przedstawienie ich na monitorze
lr=0.02;
tp=[df me eg lr];
[w1,b1,w2,b2,ilosc,blad]=trainbpx(w1,b1,'tansig',w2,b2,'logsig',oprwe,oprwy,tp);  uczenie sieci
wynik=(simuff(oprtes,w1,b1,'tansig',w2,b2,'logsig'))          testowanie sieci
save oprw1l w1 -ascii;                               zapis na dysku
save oprw2l w2 -ascii;                               wag sieci nauczonej
save oprb1l b1 -ascii;                               oraz wyników
save oprb2l b2 -ascii;                               uzyskanych w procesie
save oprdia wynik -ascii;                            testowania
```

Liczba elementów wejściowych uzależniona jest od liczby objawów diagnozowanego obiektu.

Przykładowy plik uczący – wejście:

O1	1	0	0	0	0	0
O2	0	1	0	0	0	0
O3	0	0	1	0	0	0
O4	0	0	0	1	0	0
O5	0	0	0	0	1	0
O6	0	0	0	0	0	1

Liczba wyjść jest równa liczbie stanów niesprawności obiektu.

Przykładowy plik uczący - wyjście:

P1	1	0	0	0	0	0
P2	0	1	0	0	0	0
P3	1	0	0	0	0	0
P4	0	1	0	0	0	0
P5	1	0	0	0	0	0
P6	1	0	0	0	0	0
P7	0	1	1	0	0	0
P8	1	1	1	1	0	0
P9	1	0	0	0	0	0
P10	1	0	0	0	0	0
P11	0	1	0	0	0	0
P12	1	0	0	0	1	0
P13	0	0	1	0	1	0
P14	0	1	0	0	0	0
P15	0	0	1	0	0	0
P16	0	0	1	0	0	0
P17	0	0	0	0	1	0
P18	0	0	0	0	1	0
P19	0	0	0	0	0	1
P20	0	0	0	1	0	0

Liczba neuronów w warstwie ukrytej musi być określona na podstawie kolejnych symulacji pracy sieci neuronowej [Korbicz i in. 1994; Langman 1998].

Oprócz wymienionych wcześniej wytycznych, dotyczących projektu sieci neuronowych, w przypadku przetwarzania sygnału analogowego zachodzi konieczność normalizacji danych wejściowych. Sieć neuronowa przetwarza dane wejściowe, których zakres musi mieścić się w przedziale (0, 1) [Korbicz i in. 1994.]

Przy wyborze liczebności warstwy ukrytej kierujemy się ogólnymi zasadami stosowanymi dla przetwarzania binarnego. Cały zbiór próbek należy poddać procesowi normalizacji tak, aby wartości liczbowe określające każdą próbkę zawierały się w przedziale (0,1). Po przeprowadzonym procesie uczenia sieci należy przeprowadzić jej sprawdzenie z użyciem zbioru testowego charakterystyk [Baszura 1996; Langman 1998].

Przykładowy plik testujący:

O1	0	1	0	0	1	0
O2	0	1	0	0	0	1
O3	0	0	1	0	1	0
O4	1	0	0	1	0	0
O5	0	1	0	0	1	0
O6	1	0	0	0	0	1

W celu sprawdzenia poprawności działania sieci, dla każdego przypadku obliczany był błąd z wykorzystaniem zależności:

$$\varepsilon = \frac{\sum_{i=1}^M (y_{zi} - y_{pi})^2}{M} \quad (17)$$

gdzie:

- y_{pi} – wartość która powinna pojawić się na i -tym wyjściu sieci,
- M – ilość przykładów testujących,
- y_{zi} – wartość uzyskana na i -tym wyjściu sieci.

Odpowiedzi na wyjściu rzadko przyjmują dokładne wartości 0 lub 1. Najczęściej na wyjściu otrzymuje się wartości zawarte w przedziale (0,1).

Zostały przeprowadzone dwuetapowe symulacje:

- w pierwszym etapie ustalono wielkości błędu przetwarzania przy ustalonym współczynniku uczenia $\eta = 0.05$, dla różnych rodzajów generatorów liczb losowych
- w drugim etapie po ustaleniu, która metoda inicjacji wag daje najmniejszy błąd, zmieniano liczbę neuronów w warstwie ukrytej oraz rodzaje funkcji aktywujących poszczególne warstwy przy ustalonych wartościach początkowych wag [Langman 1998].

Ważnym problemem w projektowaniu optymalnej struktury sieci neuronowej jest dobór liczby neuronów w warstwie ukrytej. Liczba neuronów wejściowych oraz wyjściowych jest zdeterminowana liczbą objawów uszkodzeń oraz liczbą stanów niesprawności obiektu. Zbyt mała liczba neuronów może doprowadzić do sytuacji, iż taka sieć nie będzie w stanie się nauczyć przetwarzania pokazywanych wzorców w procesie uczenia. Objawia się to brakiem spadku lub bardzo nikłym spadkiem wartości błędu przetwarzania w miarę postępującego procesu uczenia sieci. Z kolei zbyt duża liczba neuronów ukrytych powoduje, że taka sieć uczy się na pamięć pokazywanych wzorców. Proces uczenia takiej sieci jest krótki, ale próby przetwarzania informacji nie wchodzącej w skład pliku uczącego nie przynoszą zadowalających rezultatów [Langman 1998].

W trakcie procesu uczenia przebieg zmian błędu uczenia sieci malał liniowo w miarę postępującego procesu, a przy kolejnych powtórzeniach nie wykazywał gwałtownych zmian. Świadczy to o dobrym doborze początkowych parametrów sieci, takich jak wagi początkowe, funkcje aktywujące i liczba neuronów w warstwie ukrytej.

Jako najlepszą sieć wybrano sieć o następujących parametrach:

- liczba neuronów w warstwie wejściowej: 6,
- liczba neuronów w warstwie wyjściowej: 20,
- liczba neuronów w warstwie ukrytej: 22,
- funkcje aktywacji,
- warstwa ukryta tangens hiperboliczny,
- warstwa wyjściowa sigmoidalna (logistyczna),
- sieć uczona aż do osiągnięcia błędu średniokwadratowego wynoszącego 0.01.

9.2. Diagnostyka skrzyń przekładniowych maszyn rolniczych

Problematyka oceny kąta względnego skręcania wałów skrzyni przekładniowej kombajnu w trakcie prac polowych skłania do wykonania badań wstępnych w warunkach stacjonarnych w celu poznania zmienności cech analizowanego parametru diagnostycznego. Równocześnie zaznacza się brak skutecznych metod i procesów diagnozowania zespołów przekładniowych możliwych do realizacji przez komputer pokładowy kombajnu w systemie diagnostyki ciągłej.

Istotnym problemem jest nie tylko ustalenie wartości granicznych parametru diagnostycznego, lecz również określenie zmienności tego parametru w funkcji czasu eksploatacji kombajnu [Michalski i in. 1997]. W tym celu dokonano pomiaru wartości kąta skręcania pomiędzy wałem wejściowym skrzyni i położeniem kątowym bębna hamulca postojowego na wale wyjściowym skrzyni przekładniowej w warunkach obciążeń statycznych. Zadawano obciążenia momentem skręcającym o wartościach mających swoje odniesienie do rzeczywistych obciążeń eksploatacyjnych skrzyni przekładniowej w warunkach prac polowych kombajnu. Pomiary wartości kąta skręcania względnego wałów stanowią bazę danych wejściowych pozwalających na sprecyzowanie wartości granicznych analizowanego parametru i poznania przebiegu zmienności tego parametru pomiędzy wartościami granicznymi.

Przeprowadzone analizy zmierzają do dostosowania komputera pokładowego LH 965 AGRO kombajnu Z-058 dla celów diagnostyki funkcjonalnej skrzyni przekładniowej kombajnu w systemie pokładowym.

Ocenę parametryczną przeprowadzono na podstawie wyznaczenia przebiegu skręcania względnego wałów skrzyni kombajnów Z-058 wyposażonych w klasyczne zespoły przekładniowe, tj. bez silnika hydrostatycznego na wejściu dla 3-ech rozpoznanych stanów eksploatacyjnych obiektu:

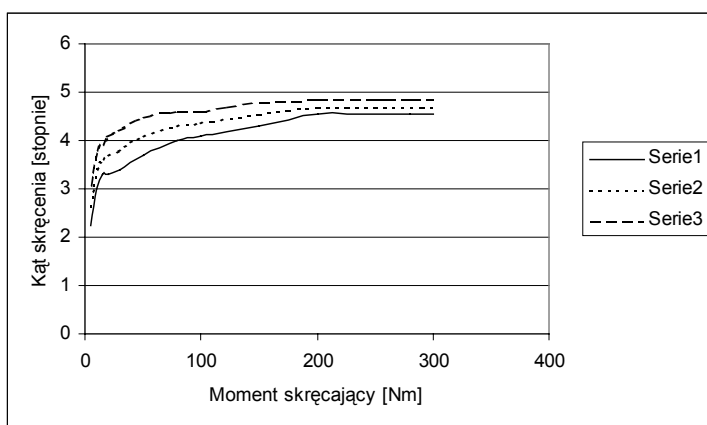
- kombajn wyposażony w skrzynię przekładniową po naprawie głównej przy pełnej weryfikacji montowanych elementów,
- kombajn skierowany do naprawy głównej podzespołów - w tym również skrzyni przekładniowej ze względu na głośną pracę na biegach roboczych i utrudnioną zmianę przełożeń,
- kombajn o znanym czasie eksploatacji uznany za sprawny technicznie.

Proces skręcania wałów obejmuje zarówno odkształcenia sprężyste skręcanych wałów na odległościach wyznaczonych położeniem kół zębatach poszczególnych przełożeń, jak również odkształcenia wieńców kół zębatach, ukosowanie piast względem wałów oraz odkształcenia sprzęgieł kłowych i łożysk. Pomiary statyczne przeprowadzono przy zablokowanym położeniu sprzęgła głównego kombajnu względem obudowy zadając moment skręcający dźwignią z zabierakiem na bęben hamulca postojowego kombajnu. Obciążniki o stopniowanych wartościach zestawu mocowane były do ramienia dźwigni w pozycji poziomego położenia. Koła napędowe kombajnu zostały uniesione w trakcie wykonywania pomiarów z wykorzystaniem podnośników do podparcia zespołu napędowego. Pomiary przeprowadzano każdorazowo po uzyskaniu stanu równowagi cieplnej zespołu przekładniowego w wyniku przejazdu na wyznaczonym odcinku drogi. Stan równowagi cieplnej przyjęto wg wytycznych producenta odpowiadający temperaturze 40⁰ C, jako wynik po-

miaru temperatury korpusu skrzyni przekładniowej w strefie zbiornika oleju przekładniowego] Pomiar temperatury wykonano z wykorzystaniem zestawu pomiarowego o niskiej inercyjności z czujnikiem temperatury PT 100.

Przykłady uzyskanych charakterystyk zmienności kątów skręcania wałów skrzyni biegów kombajnu Z-058 przedstawiono na rys.50 dla I-ego biegu roboczego oraz na rys. 51 dla II-go biegu roboczego wg numeracji:

- „seria 1” - dla skrzyni po przeprowadzonej naprawie głównej,
- „seria 2” - dla skrzyni uznanej za sprawną,
- „seria 3” - dla skrzyni skierowanej o znacznym stopniu zużycia.

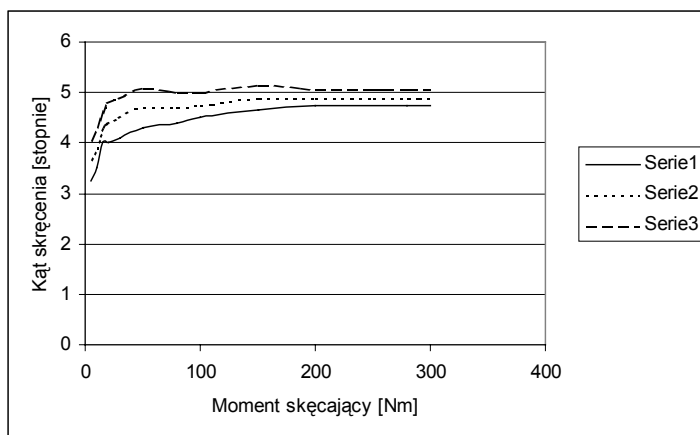


Źródło: opracowanie własne

Rys. 50. Względny kąt skręcania wałów skrzyni przekładniowej kombajnu Z-058 dla I-go biegu roboczego

Ogólny stan zużycia zespołu przekładniowego sygnalizowany jest stopniowym przyrostem kąta skręcania wałów przy narastającym momencie napędowym [Müller 1984]. Uzasadnienie stopniowego przyrostu kąta skręcania wałów jest wynikiem nakładania się przemieszczeń kątowych na zniekształconym zarysie sprzęgieł kłowych piast kół zębatach, przemieszczeń elementów tocznych łożysk oraz niekontrolowanej pracy ząbów na zastępczych średnicach podziałowych. W przypadku sprawnej skrzyni przekładniowej dominuje efekt skręcania wałów i stabilizacji położenia wieńców kół zębatach o przebiegu proporcjonalnym do przyrostu momentu skręcającego, a następnie zakres stabilizacji kątów skręcania jako wynik wyłącznie skręcania wałów na odcinkach pomiędzy piastami kół zębatach.

Przebiegi charakterystyk na powyższych wykresach wskazują na ścisłą zależność między stopniem zużycia skrzyni biegów a kątem skręcania wału wyjściowego dla całego zakresu obciążeń momentem skręcającym. Powyższa zależność jest podstawą stwierdzenia, iż kąt skręcania wału wyjściowego skrzyni biegów kombajnu zbożowego przy zadanej wartości momentu skręcającego może być miarą stopnia zużycia skrzyni biegów, a tym samym jest istotnym sygnałem diagnostycznym.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 51. Względny kąt skręcenia wałów skrzyni przekładniowej kombajnu Z-058 dla II-go biegu roboczego

Wykorzystując powyższe charakterystyki w komputerowym systemie diagnostycznym zachodzi konieczność analitycznego ich przedstawienia. W tym celu najwygodniej jest zastosować sztuczne sieci neuronowe. Jak wykazano [Langman 1998] do celów diagnostycznych można wykorzystać sztuczne sieci neuronowe uczone metodą wstecznej propagacji błędu. Architektura wykorzystywanej w badaniach sieci przedstawia się następująco:

- 2 neurony wejściowe,
- 2–5 neuronów w warstwie ukrytej
- 1 neuron w warstwie wyjściowej
- funkcje aktywacji: tangens hiperboliczny i logistyczna (sigmoidalna).

W wyniku uczenia i testowania sieci określono najlepszą ilość neuronów w warstwie ukrytej. Jako kryterium wyboru ilości neuronów w warstwie ukrytej wybrano:

- najmniejsza ilość powtórzeń w procesie uczenia,
- najmniejszy błąd podczas przetwarzania pliku testowego.

Średni błąd kwadratowy uzyskany podczas przetwarzania pliku testowego nie przekroczył 7% przy 3 neuronach w warstwie ukrytej, natomiast pozostałe elementy architektury sieci pozostały bez zmian.

9.3. Sterowanie zespołami ciągnika z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych

Podczas pracy agregatu ciągnikowego staramy się tak sterować zespołami ciągnika aby w najlepszym stopniu wykorzystać siłę uciążu przy poślizgach kół napędowych mieszczących się w określonym przedziale. W technice motoryzacyjnej jest zrealizowany system, który w momencie wystąpienia poślizgu kół napędowych, według odpowiedniego algorytmu

mu, niezależnie od woli kierowcy, w taki sposób oddziałuje na układ sterowania silnikiem spalinowym, aby wyeliminować poślizg kół (system ASR). Przerobienie silnika spalinowego polega na zmniejszeniu dawki paliwa podawanego do silnika i często również przyhamowanie za pomocą układu hamulcowego koła napędowego realizującego poślizg. W przypadku agregatu ciągnikowego wielkość poślizgu zależy od takich parametrów, na które ma wpływ operator ciągnika, jak wielkość siły uciągu, prędkość jazdy, dociążenie kół napędowych, oraz parametrów podłoża, na które nie mamy większego wpływu. Powiązane ze sobą tych, często silnie nieliniowo zmieniających się parametrów i odniesienie ich do wielkości realizowanego poślizgu, możliwych do pomiaru wielkości za pomocą zależności analitycznych może okazać się trudne w realizacji i implementacji w komputerze pokładowym ciągnika. Pomiar i przetwarzanie zmierzonych wielkości powinno odbywać się w czasie rzeczywistym, a algorytm ich przetwarzania nie powinien w istotny sposób obciążać procesora komputera pokładowego. Przetworzone sygnały podawane na wejście układu logiki, którego wyjścia służą do sterowania zespołami ciągnika, które mają wpływ na wielkość poślizgu (np. wielkość dawki paliwa, stan podnośnika hydraulicznego). Zarówno moduł przetwarzania mierzonych sygnałów, jak też moduł logiki można zrealizować za pomocą sztucznych sieci neuronowych.

W ciągniku rolniczym z jedną osią napędową na której może być realizowany poślizg, układem odniesienia może być przednia oś ciągnika. Z niewielkim błędem można przyjąć iż przednie koła ciągnika przetaczają się po podłożu bez poślizgu. Mierząc prędkości obrotowe przednich kół podczas pracy agregatu ciągnikowego i porównując je z prędkościami obrotowymi kół napędowych (tylnych) możemy określić rzeczywistą wartość poślizgu realizowanego na kołach napędowych.

Prędkość obrotowa przednich kół ciągnika zredukowana do średnicy dynamicznej równej średnicy dynamicznej tylnych kół (napędowych):

$$n_{pz} = n_p \cdot \frac{r_p}{r_t} \quad (18)$$

gdzie:

- n_{pz} – zredukowana prędkość obrotowa kół nienapędzanych do średnicy dynamicznej kół napędzanych,
- n_p – prędkość obrotowa kół nienapędzanych (przednich) ciągnika,
- r_p – promień dynamiczny kół przednich,
- r_t – promień dynamiczny kół napędzanych (tylnych) ciągnika.

Poślizg kół napędzanych (tylnych) ciągnika:

$$S = 1 - \frac{n_{pz}}{n_t} \quad (19)$$

gdzie:

- n_t – prędkość obrotowa kół napędzanych (tylnych) ciągnika.

W czasie ruchu po łuku ciągnika prędkości obrotowe przednich kół ciągnika są różne:

$$n_{pzl} < n_{pzp}$$

gdzie:

- n_{pzl} – zredukowana prędkość obrotowa przedniego koła lewego,
- n_{pzp} – zredukowana prędkość obrotowa przedniego koła prawego.

Wykrywanie ruchu po prostej:

W czasie ruchu po prostej prędkości obrotowe kół przednich są równe:

$$n_{pzi} = n_{pzp} \quad (20)$$

Wykrywanie poślizgu kół napędzanych podczas ruchu po łuku:

Gdy w czasie ruchu po łuku wystąpią różnice w prędkości obrotowej koła napędzanego i zredukowanej prędkości obrotowej koła nienapędzanego znajdujących się po jednej stronie ciągnika, czyli:

$$n_{ti} < n_{pzi} \quad \text{lub} \quad (21)$$

$$n_{tp} < n_{pzp}$$

wówczas wystąpi poślizg koła napędzanego po jednej stronie ciągnika.

Gdy wystąpi przypadek:

$$n_{ti} < n_{pzi} \quad \text{i} \quad (22)$$

$$n_{tp} < n_{pzp}$$

wówczas wystąpi poślizg obu kół napędzanych ciągnika podczas jazdy po łuku.

Wykrywanie poślizgu kół napędzanych podczas jazdy po prostej:

Gdy poślizg występuje na jednym kole napędowym wówczas:

$$n_{pzi} = n_{pzp} < n_{ti} \quad \text{lub} \quad (23)$$

$$n_{pzi} = n_{pzp} < n_{tp}$$

czyli:

$$n_{ti} < n_{tp}$$

Gdy poślizg występuje na obu kołach napędowych wówczas:

$$n_{pzi} = n_{pzp} < n_{ti} \quad \text{i} \quad (24)$$

$$n_{pzi} = n_{pzp} < n_{tp} \quad \text{i}$$

$$n_{ti} = n_{tp} \quad \text{lub}$$

$$n_{ti} < n_{tp}$$

Algorytm sterowania poślizgiem kół ciągnika

W przypadku gdy na którymś z kół napędowych zostanie wykryty poślizg, wówczas jest sprawdzana wartość poślizgu czy przekracza on wartość dopuszczalną. Jeśli jest mniejsza od wartości dopuszczalnej wówczas nie podejmowane są żadne działania. Gdy wartość poślizgu przekroczy wartość dopuszczalną wówczas system będzie reagował według następującego algorytmu. Algorytm został przedstawiony w postaci tzw. pseudokodu:

0) Ustawienie wszystkich serwomechanizmów w pozycji wyjściowej,

1) Pomiar poślizgu kół napędowych,

- 1a) Jeśli wystąpił poślizg to realizowana instrukcja 2, jeśli nie to 1,
- 2) Określenie czy poślizg wystąpił na jednym kole napędowym jeśli tak to 2a, przeciwnie to 3,
- 2a) Jeśli tak to sprawdzenie czy mieści się w dopuszczalnych granicach i realizowana instrukcja 1,
- 2b) Jeśli nie to następuje przyhamowanie koła i realizowana jest powtórny pomiar poślizgu,
- 2c) Jeśli poślizg zmniejsza się to realizowana instrukcja 1, jeśli nie to następuje zmniejszenie dawki paliwa dostarczanego do silnika i realizowana instrukcja 1,
- 2d) Sprawdzenie wartości poślizgu,
- 2e) Jeśli mieści się w granicach dopuszczalnych to realizowana instrukcja 0, jeśli nie to 2c,
- 3) Określenie czy poślizg wystąpił na obu kołach,
- 4) Określenie czy mieści się w dopuszczalnych granicach,
- 4a) Jeśli tak to realizowana jest instrukcja 0, jeśli nie to instrukcja 4b,
- 4b) Określenie które koło pracuje z większym poślizgiem,
- 4c) Przyhamowanie koła realizującego większy poślizg,
- 4d) Zmniejszenie dawki paliwa,
- 4e) Realizacja instrukcji 1.

Sieć neuronowa jako moduł sterujący

Jako moduł sterujący postanowiono użyć sztuczną sieć neuronową wytrenowaną do rozwiązywania wcześniej przedstawionego problemu na podstawie danych uzyskanych na drodze analityczne kierując się zaleceniami agrotechnicznymi odnośnie warunków przeprowadzania prac polowych z wykorzystaniem agregatów rolniczych.

Zastosowanie sztucznych sieci neuronowych jako modułu sterującego w znaczący sposób upraszcza implementację jego w komputerze pokładowym ciągnika. Cała informacja o realizowanym procesie sterownia znajduje się w zbiorze wag połączeń między neuronowych, i w przypadku modernizacji modułu sterowania wystarczy go wymienić, bez naruszania fragmentu oprogramowania realizującego obliczenia odpowiedzi sieci. Nie bez znaczenia jest fakt iż prawidłowo nauczona sieć posiada zdolność do generalizacji, a tym samym do podania na jej wyjściach prawidłowej odpowiedzi na stan wejść, który nie znajdował się w zbiorze uczącym.

Przyjęto następującą architekturę sieci:

Sieć posiada 4 wejścia, na które podawane będą wartości zmierzonych prędkości obrotowych kół ciągnika, 3 wyjścia, które posłużą do sterowania:

- jedno wyjście połączone z serwomechanizmem korekty dawki paliwa,
- dwa połączone z serwomechanizmami odpowiednio strony lewej i prawej układu hamulcowego ciągnika.

Z uwagi na konieczność zapewnienia odpowiedniej pojemności informacyjnej sieci przewidziano jedną warstwę ukrytą, której wielkość zostanie określona w procesie uczenia sieci.

Jako funkcje aktywacji zastosowano następujące funkcje dla poszczególnych warstw:

- warstwa ukryta tangens hiperboliczny,
- warstwa wyjściowa funkcja sigmoidalna z uwagi na fakt iż odpowiedzi sieci muszą być dodatnie.

Przygotowanie danych wejściowych.

Wartości sygnałów pochodzących z czujników pomiarowych służących do pomiaru prędkości obrotowych mieszczą się w przedziałach $0..n_{pzmax}$ i $0..n_{tmax}$, gdzie:

- n_{pzmax} – maksymalna zredukowana prędkość obrotowa kół przednich,
- n_{tmax} – maksymalna prędkość obrotowa kół tylnych.

Z uwagi na fakt, iż sieć neuronowa najlepiej się uczy gdy wykorzystujemy nieliniowe odcinki funkcji aktywacji, na wejście sieci powinno wprowadzać się dane mieszczące się w przedziale (0,1). W tym celu wprowadzane dane wejściowe powinny być znormalizowane z przedziałów $(0, n_{pzmax})$ oraz $(0, n_{tmax})$ do przedziału (0,1).

Zaproponowana metodyka sterowania zespołami ciągnika w celu wyeliminowania nadmiernych poślizgów kół napędowych ciągnika ma na celu lepsze wykorzystanie możliwości trakcyjnych ciągnika. Unika się w ten sposób strat mocy na realizację poślizgów.

9.4 Eliminacja zakłóceń pomiarowych z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych

Prowadząc badania maszyn rolniczych w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych spotykamy się z występowaniem zakłóceń parametrów opisujących funkcjonowanie tych obiektów. Zakłócenia mogą mieć charakter losowy np. spowodowane przemieszczaniem się maszyny rolniczej po nierównym podłożu bądź ciągle spowodowane wpływem otoczenia na aparaturę pomiarową (np. silnymi polami elektromagnetycznymi panującymi w pobliżu linii przesyłowych WN).

Eliminacja zakłóceń może być przeprowadzana na wiele sposobów:

- mogą to być działania obejmujące swym zasięgiem tylko sprzęt i polegająca na wprowadzeniu elementów ekranujących bądź izolujących tory pomiarowe od wpływu czynników zakłócających wyniki pomiarów,
- wprowadzenie do torów pomiarowych zespoły filtrów eliminujących te składowe mierzone sygnały, które są źródłem zakłóceń,
- eliminacja zakłóceń na drodze programowej podczas obróbki numerycznej wyników pomiarów zawierających zakłócenia.

O ile eliminacja zakłóceń ciągłych na drodze sprzętowej i programowej nie nastęca wielu problemów, to eliminacja zakłóceń losowych prostymi metodami jest trudna. Istnieją algorytmy pozwalające na programowe usuwanie z danych pomiarowych już zarejestrowanych i obrabianych w trybie "off line" zakłóceń o charakterze losowym. Jednak programowa obróbka danych pomiarowych z zakłóceniami w czasie rzeczywistym lub inaczej w trybie "on line" jest trudna, a w literaturze nie spotyka się prostych i wydajnych algorytmów eliminacji zakłóceń losowych. Przypadek obróbki danych pomiarowych z zakłóceniami losowymi w trybie "on line" występuje w systemach diagnostycznych implementowanych w komputerach pokładowych maszyn rolniczych.

Podczas opracowywania założeń do pokładowego systemu diagnostycznego zawieszanego rozsiewacza nawozów ustalono, iż jednym z sygnałów diagnostycznych opisujących jakość pracy zespołu wysiewającego jest prędkość opróżniania zbiornika nawozowego. Przy prawidłowo działającym zespole wysiewającym prędkość ta będzie stała. Wahania wartości tego parametru sygnalizować będą nieprawidłowości w pracy zespołu wysiewają-

cego. Prędkości opróżniania zbiornika można wyznaczyć jako spadek wagi napełnionego zbiornika, w określonych przedziałach czasu, podczas jego opróżniania.

Wagę zbiornika można określić na podstawie składowej pionowej reakcji w punkcie zawieszenia rozsiewacza nawozów na dolnych cięglach podnośnika hydraulicznego ciągnika:

$$R_{y1} = f(Q_r + Q_n) \quad (25)$$

gdzie:

- R_{y1} – składowa pionowa reakcji w punkcie zawieszenia rozsiewacza nawozów na dolnych cięglach podnośnika hydraulicznego ciągnika,
- Q_r – waga pustego rozsiewacza nawozów,
- Q_n – waga nawozu w zbiorniku rozsiewacza.

Powyższa zależność jest słuszna w dwóch przypadkach:

- gdy ciągnik z zawieszonym rozsiewaczem jest nieruchomy,
- gdy ciągnik z zawieszonym rozsiewaczem porusza się po gładkiej płaszczyźnie ruchem jednostajnym.

W przypadku, gdy ciągnik porusza się po podłożu nierównym, wówczas wielkość składowej pionowej reakcji będzie zależęć jeszcze dodatkowo od sił wynikających z ruchu w płaszczyźnie pionowej rozsiewacza zawieszonego:

$$R_{y2} = f(Q_r + Q_n + Q_d) \quad (26)$$

gdzie:

- R_{y2} – składowa pionowa reakcji w punkcie zawieszenia rozsiewacza nawozów na cięglach podnośnika hydraulicznego ciągnika,
- Q_r – masa pustego rozsiewacza nawozów,
- Q_n – masa nawozu w zbiorniku rozsiewacza,
- Q_d – składowa pionowa siły wynikającej z ruchu w płaszczyźnie pionowej rozsiewacza zawieszonego poruszającego się po nierównym podłożu.

Chcąc wyznaczyć prędkość opróżniania zbiornika za pomocą zmierzonej składowej pionowej reakcji w punkcie zawieszenia rozsiewacza R_{y2} poruszającego się po nierównym podłożu należy wyeliminować składową pionową Q_d , którą należy potraktować jako losowo pojawiające się zakłócenie wyniku pomiaru masy nawozu znajdującego się w zbiorniku rozsiewacza.

W celu eliminacji zakłóceń losowych zastosowano odpowiednio wytrenowaną sztuczną sieć neuronową. Przyjęto następującą architekturę sieci: 1 warstwa wejściowa, 1 warstwa ukryta, 1 warstwa wyjściowa. Do uczenia sieci wybrano metodę wstecznej propagacji błędu. Funkcją aktywacji poszczególnych warstw były: logistyczną dla warstwy ukrytej oraz tangens hiperboliczny dla warstwy wyjściowej.

Zastosowanie 1 wejścia i 1 wyjścia sieci nie pozwala na nauczanie sieci rozwiązywania problemu eliminacji zakłóceń losowych, gdyż wytrenowana sieć nie jest w stanie zidentyfikować czy wartość podana na wejście jest zakłócona czy nie. W celu rozwiązania tego problemu posłużono się metodą "ślizgającego się okienka" [Masters 1996]. Na n wejście sieci podaje się n kolejnych wyników pomiarów sygnału zawierających zakłócenia losowe, gdzie n jest szerokością okienka. Wykonanie kolejnego pomiaru powoduje przesunięcie

o jeden pomiar okienka o szerokości n . Tak więc i -ty pomiar znajduje się n razy w okienku za każdym razem na innej pozycji (rys.52a) Na wyjściu sieci możemy zastosować 1 neuron wyjściowy obrazujący i -ty pomiar z usuniętym zakłóceniem losowym.. Kolejnych n pomiarów, którym odpowiada n wejść sieci, pozwala na określenie trendu określającego położenie kolejnego odfiltrowanego wyniku pomiaru. Zastosowanie sieci zawierającej n wyjść pozwala na wyznaczenie wartości wyniku pomiaru jako średniej z n przetworzeń n wyników pomiarów zawierających zakłócenia losowe, co umożliwi uzyskanie niższych błędów przetwarzania sieci (rys.52b). Odpowiedź sieci w wyniku przetworzenia n pomiarów wyznacza się z zależności:

$$O(k) = [W_y(n,k)+W_y(n-1,k+1)+W_y(n-2,k+2)]/3 \quad \text{dla 3 pomiarów w okienku} \quad (27)$$

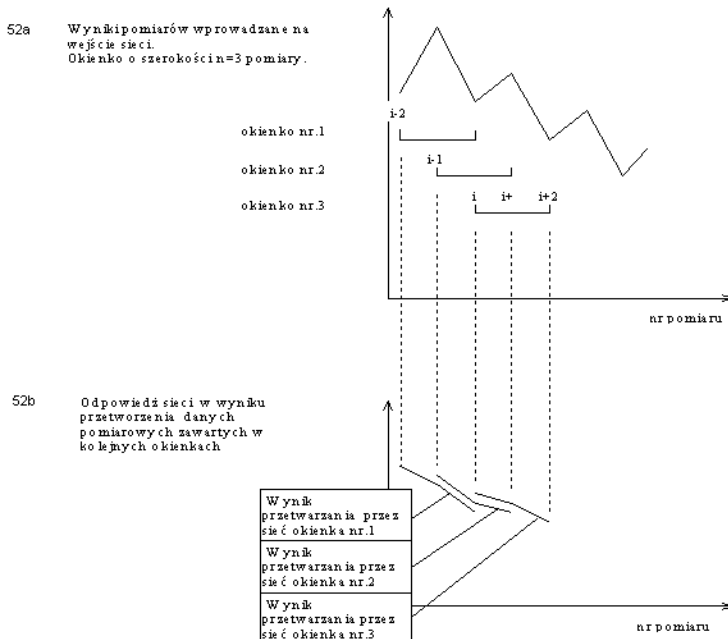
gdzie:

n – liczba pomiarów w okienku (szerokość okienka),

k – liczba okienek (numer kolejnego okienka),

$W_y(n, k)$ – wyjście sieci.

Ponieważ każde okienko jest przesunięte względem poprzedniego o 1 element (pomiar), to wyznaczona wartość odpowiedzi sieci na n -tym wyjściu będzie znajdować się w n tablicach $W_y(n, k)$ kolejno na pozycjach (n, k) , $(n-1, k+1)$, $(n-2, k+2)$ itd. dotąd aż 1-szy indeks nie będzie równy 1.

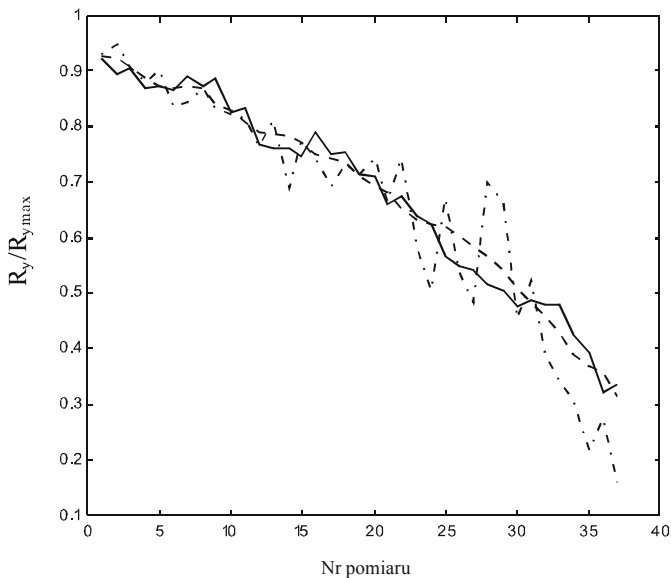


Źródło: opracowanie własne

Rys. 52a,b Wprowadzanie danych do sieci metodą ślizgającego się okienka, oraz wyznaczenie odpowiedzi sieci

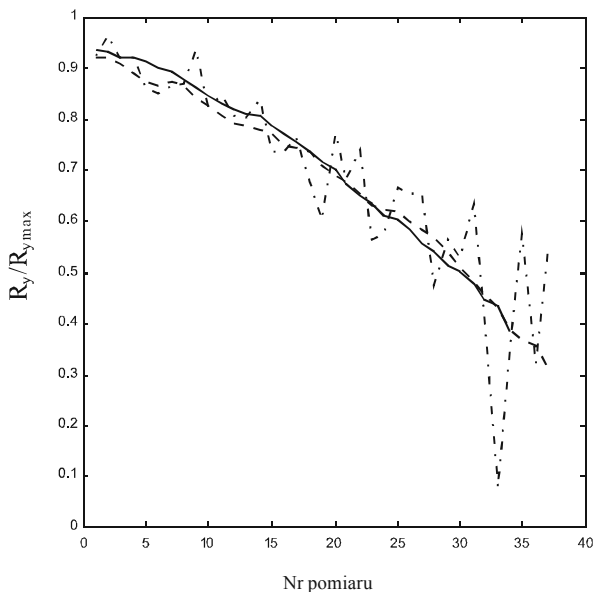
Na rysunkach 53 i 54 przedstawiono wyniki badań symulacyjnych przeprowadzonych dla różnych konfiguracji sieci neuronowych, różniących się ilością wyjść. Materiałem wyjściowym do tworzenia plików uczących i testujących sieć neuronową były charakterystyki $R_{y1} = f(Q_r + Q_n)$ otrzymane podczas opróżniania zawieszanego rozsiewacza nawozów podczas postoju. Zdecydowano się na takie rozwiązanie, gdyż uzyskane w ten sposób charakterystyki zawierają wyniki pomiarów pozbawione zakłóceń losowych wynikających z poruszania się ciągnika po nierównym podłożu (zależność (25)).

Natomiast wprowadzenie modyfikacji sieci polegającej na zwiększeniu liczby wyjść do 3, czyli wartości odpowiadającej szerokości okienka, pozwoliło na uzyskanie widocznej poprawy zdolności sztucznej sieci neuronowej do eliminacji zakłóceń losowych. Uzyskany dla tego przykładu błąd przetwarzania sieci neuronowej był mniejszy od 5%. Spowodowane jest to uśrednianiem wartości odpowiedzi sieci według zależności (26), wynikających z przetwarzania przez sieć zawartości kolejnych 3 okienek zawierających rozpatrywany punkt pomiarowy na 3 różnych pozycjach.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 53. Wyniki testów sieci o jednym wyjściu. Linia osiowa – wyniki pomiarów zmian składowej pionowej siły działającej na układ zawieszenia rozsiewacza z zakłóceniami losowymi, linia przerywana - wyniki pomiarów bez zakłóceń, linia ciągła – odpowiedź sieci



Źródło: opracowanie własne

Rys. 54. Wyniki testów sieci o trzech wyjściach. Linia osiowa – wyniki pomiarów zmian składowej pionowej siły działającej na układ zawieszenia rozsiewacza z zakłóceniami losowymi, linia przerywana - wyniki pomiarów bez zakłóceń, linia ciągła – odpowiedź sieci: $R_y/R_{y,max}$ – stosunek składowej pionowej siły działającej na układ zawieszenia rozsiewacza do jego wartości maksymalnej

Zaprezentowana metoda posiada pewną wadę, a mianowicie pierwszy punkt pomiarowy jest przetwarzany przez sieć tylko raz, drugi odpowiednio 2 razy i dopiero 3 punkt pomiarowy (przy szerokości okienka $n=3$) jest wyznaczony jako średnia wg zależności (26). Analogiczna sytuacja występuje dla 2 ostatnich punktów pomiarowych. Analizując sposób obliczeń odpowiedzi sieci można zauważyć, że wyznaczona wartość wg zależności (26) jest “opóźniona” o 2 pomiary. Jednak ta wada nie ma istotnego znaczenia przy przetwarzaniu danych w trybie “on line” w warunkach rzeczywistych przy częstym próbkowaniu (np. co 1-10 sek) przez układ pomiarowy komputera pokładowego, gdyż spowoduje faktycznie utratę 2 pierwszych i ostatnich pomiarów, co w odniesieniu do czasu pracy rozsiewacza podczas opróżniania pełnego zbiornika (od kilkunastu do kilkudziesięciu minut) jest zagadnieniem pomijalnym.

Zaproponowana metoda eliminacji zakłóceń losowych jest przydatna do zastosowań w komputerach pokładowych przetwarzających dane pomiarowe w trybie “on line”. Zastosowana sztuczna sieć neuronowa o 3 wejściach, 3 wyjściach i jednej warstwie ukrytej najlepiej spełnia postawione zadanie. Sieci o innych konfiguracjach podczas ich testowania wykazywały wyższe błędy przetwarzania.

9.5. Diagnostyka procesów przetwórczych

Każdy proces przetwórczy możemy potraktować jako niezależny system, który posiada wejścia (produkty do przetworzenia), wyjścia (gotowy przetworzony produkt). Na każdy system podczas jego działania oddziałują różnorakie zakłócenia, które w zależności od ich siły oddziaływania mogą mieć większy lub mniejszy wpływ na końcową jakość gotowego wyrobu. Zakłócenia mogą być zewnętrzne lub generowane wewnątrz systemu przetwarzania na skutek zmian zachodzących w urządzeniach technicznych biorących udział w tym procesie. Zmiany te mogą być spowodowane procesami zużyciowymi, zmianami własności fizycznych w elementach aparatury używanej w przetwarzaniu, bądź zmianami w nastawach poszczególnych elementów aparatury przetwórczej. Chcąc uzyskać właściwą jakość przetworzonego produktu poszczególne węzły funkcjonalne aparatury przetwórczej winny być okresowo lub w trybie „*on-line*” diagnozowane, tak aby w momencie zaistnienia krytycznych zmian parametrów procesu przetwórczego można było zidentyfikować miejsce powstania sytuacji nieprawidłowej dla całego procesu przetwórczego.

9.5.1. Sztuczna inteligencja w procesie diagnostycznym

W trakcie realizacji dowolnego procesu przetwórczego dokonywane są pomiary wartości zmiennych procesowych, które wykorzystywane są zarówno do sterowania, jak i ciągłej kontroli przebiegu całości lub wyodrębnionych technologicznie fragmentów procesu.

Opis analityczny przebiegu procesu przetwórczego, z uwagi na silne nieliniowości pomiędzy parametrami wejściowymi, wyjściowymi i zakłóceniami, nie zawsze jest możliwy do wykonania. Dlatego też w celu formalizacji opisu procesu przetwórczego można wykorzystać metody sztucznej inteligencji. W skład sztucznej inteligencji wchodzi następujące metody:

- sztuczne sieci neuronowe,
- systemy ekspertowe,
- logika rozmyta,
- algorytmy genetyczne.

Wykorzystując poszczególne metody sztucznej inteligencji możemy dokonać formalizacji zapisu przebiegu procesu przetwórczego z uwzględnieniem szerokiego zakresu zmian wartości zmiennych procesowych występujących podczas jego realizacji, jak też i możliwych zakłóceń. Uwzględnianie zakłóceń w zapisie formalnym przebiegu procesu pozwala na opracowanie skutecznego modułu wnioskowania diagnostycznego procesu przetwórczego.

System ekspertowy w oparciu o bazę wiedzy i system reguł dotyczących analizowanego problemu wygeneruje odpowiedni sygnał diagnostyczny. W SSN wiedza o danym zagadnieniu jest zawarta w zbiorze wag połączeń między neuronowych danej sieci. O ile w systemach ekspertowych wiedza zawarta jest w postaci jawnej w formie opisowej, to w przypadku sieci neuronowych informacje przetworzone przez sieć mają postać zbiorów liczbowych, w których jest ona skompresowana i zakodowana (w postaci niejawnej). Sztuczne sieci neuronowe oprócz zdolności do uczenia się posiadają jeszcze kluczową cechę jaką jest zdolność do uogólniania. Jest to szczególnie istotna cecha w procesie diagnozowania całego bądź fragmentu procesu przetwórczego.

Stosowanie systemów ekspertowych, jako modułu składowego systemu wnioskowania diagnostycznego, umożliwia jego modyfikację w trakcie jego eksploatacji, gdyż polega ona na rozszerzeniu zapisów w bazie wiedzy i bazie reguł, co może być przeprowadzone „na gorąco” bez konieczności nawet chwilowego wyłączenia go z eksploatacji.

Natomiast modyfikacja sztucznej sieci neuronowej wymaga przeprowadzenia od nowa procesu uczenia sieci na nowym pliku uczącym, uwzględniającym zmiany przebiegu procesu. Pozwoli to na określenie nowego zbioru wag połączeń między neuronowych. Logika rozmyta pozwala na rozróżnianie stanów pośrednich, pojedynczych lub zbiorów zmiennych procesowych, co jest istotne w rozróżnianiu zmian zachodzących w realizowanym procesie przetwórczym. Jest bowiem ona pod pewnym względem rozszerzeniem dwustanowej logiki boolowskiej.

Algorytmy genetyczne pozwalają na określenie zmian wartości zmiennych procesowych w powiązaniu z zaistniałymi wcześniej stanami procesu, wykorzystując takie operatory genetyczne jak dziedziczenie, krzyżowanie i mutacje.

9.5.2. Podstawowe schematy diagnostyki procesów

Wszystkie te metody pozwalają na opis matematyczny procesu przetwórczego oraz na określaniu ilościowym i jakościowym wpływu sygnałów wejściowych i zakłóceń na zbiór sygnałów wyjściowych, czyli na jakość przetworzonego produktu. Jest to potrzebne do określania przyczyn ewentualnych zmian jakości końcowego produktu.

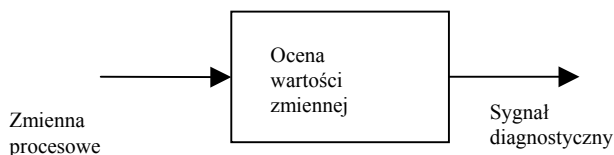
W diagnostyce procesów testy wykonywane są automatycznie przez komputer diagnozujący, wyposażony w specjalny program realizujący algorytmy detekcyjne. Zakładamy, że w wyniku realizacji testu generowany jest jeden sygnał diagnostyczny. Algorytmy testu diagnostycznego, które generują m sygnałów diagnostycznych traktowane są jako m testów.

W najprostszym przypadku sygnałem diagnostycznym może być zmienna procesowa, jednak w celu pozyskania informacji o stanie obiektu diagnostyki, zmienne procesowe poddawane są dalszemu przetwarzaniu. Zmienna procesowa jest mierzalnym sygnałem analogowym, natomiast sygnał diagnostyczny jest, w większości przypadków, wielkością binarną. Najczęściej stosowane są następujące metody pozyskiwania sygnałów diagnostycznych:

- sygnał diagnostyczny wyznaczany jest przez porównanie zmiennej procesowej z wartościami dopuszczalnymi lub granicznymi zmiennej (rys. 55),
- na podstawie przebiegu zmiennej procesowej w czasie wyznaczany jest parametr tej zmiennej (np. gradient, odchylenie standardowe, średnia itp.) (rys. 56),
- na podstawie związków ilościowych i jakościowych między zmiennymi procesowymi wyznaczany jest sygnał diagnostyczny (rys. 57),
- na podstawie modelu analitycznego obiektu wyznaczane są obliczeniowe wartości zmiennych procesowych i porównywane są one z wartościami zmierzonymi zmiennych procesowych (rys. 58). Residuum jest wyznaczane najczęściej jako różnica między wartością zmierzoną a obliczoną zmiennej procesowej. Wyznaczona wartość residuum podlega ocenie na podstawie której generowany jest sygnał diagnostyczny.

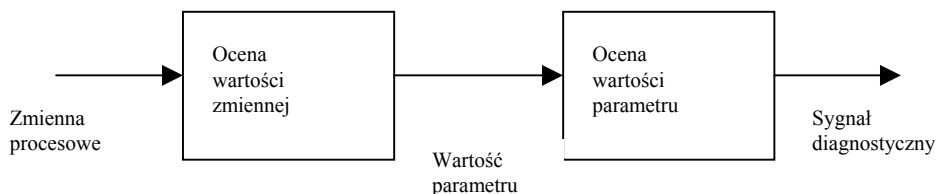
Wykrywanie uszkodzeń sprowadza się w zasadzie do przekształcenia zbioru zmiennych procesowych „X” w zbiór odpowiadających im sygnałów diagnostycznych „S”.

W diagnostyce procesów wykrywanie uszkodzeń winno bazować na mierzalnych sygnałach roboczych oraz ewentualnie na wymuszeniach testowych, które nie mogą zakłócać procesu.



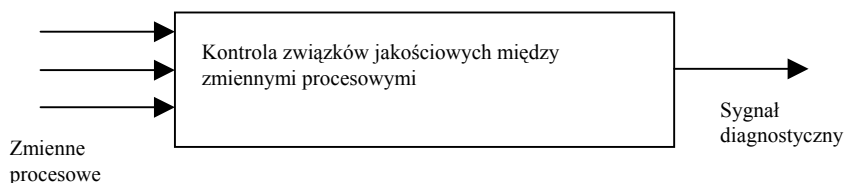
Źródło: opracowanie własne

Rys. 55. Schemat testu diagnostycznego polegającego na kontroli wartości zmiennej procesowej



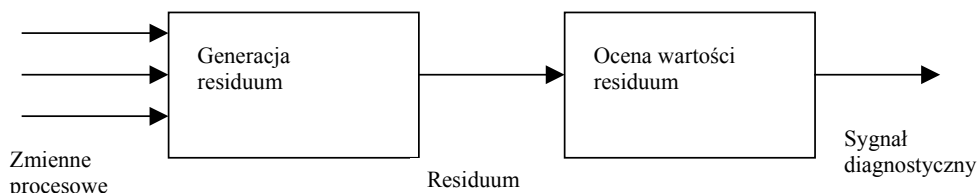
Źródło: opracowanie własne

Rys. 56. Schemat testu diagnostycznego polegającego na kontroli wartości parametru zmiennej procesowej



Źródło: opracowanie własne

Rys. 57. Schemat testu diagnostycznego polegającego na kontroli prostych związków jakościowych i ilościowych między zmiennymi procesowymi



Źródło: opracowanie własne

Rys. 58. Schemat testu diagnostycznego wykorzystującego model analityczny obiektu

Przekształcenia zbioru „X” zmiennych procesowych w zbiór „S” sygnałów diagnostycznych można dokonać wykorzystując metody sztucznej inteligencji. W celu porównania wartości zmiennej procesowej z wartościami dopuszczalnymi, bądź granicznymi i na podstawie tego porównania wygenerowanie odpowiedniego sygnału diagnostycznego można wykorzystać odpowiednio wytrenowane sztuczne sieci neuronowe (SSN) o „1” wejściu, „1” wyjściu i „n” neuronach w warstwie ukrytej.

Natomiast generacja sygnału diagnostycznego na podstawie oceny wartości parametru zmiennej procesowej wymagać będzie porównania bieżącej wartości zmiennej procesowej z poprzednimi, wcześniej zarchiwizowanymi, wartościami zmiennej i na tej podstawie wyznaczenie aktualnej wartości sygnału diagnostycznego. Do realizacji tego zadania można wykorzystać zarówno SSN o „k” wejściach odpowiadających liczbie analizowanych (bieżących i zarchiwizowanych) wartościach zmiennej procesowej, jak i system ekspertywy. W celu formalizacji związków jakościowych lub ilościowych między zmiennymi procesowymi można wykorzystać SSN oraz logikę rozmytą w celu określenia stanów pośrednich w stanie wartości zmiennych procesowych (co nie jest możliwe przy zastosowaniu logiki boolowskiej rozróżniającej dwa stany – prawda i fałsz). SSN powinna posiadać tyle wejść ile jest zmiennych procesowych opisujących dany proces oraz 1 wyjście. Logika rozmyta pozwala na ciągłe przejście między prawdą a fałszem. W zastosowaniach diagnostycznych logika rozmyta może stać się idealnym rozwiązaniem problemów decyzyjnych, gdzie nie zawsze można zdefiniować jednoznacznie stan techniczny obiektu. Logika rozmyta przeznaczona jest dla złożonych systemów nieliniowych, dla których nie można było stworzyć modeli matematycznych lub opracowane modele zawierały zbyt wiele uproszczeń.

11. Bibliografia

- Aleksander M., Klosowicz S., Langman J.** (2003): Wybrane zastosowania kompozytów ciekłokrystalicznych typu PDLC (Polymer- Dispersed Liquid Crystals) do zobrazowania zjawisk cieplnych i optycznych. *Inżynieria Rolnicza*, 11(53), 7-11.
- Aleksander M., Klosowicz S., Langman J., Sułkowski K.** (2004): Badanie możliwości wykorzystania kompozytów ciekłokrystalicznych typu PDLC w budowie maszyn rolniczych. *Prace Instytutu Technicznego Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Nowym Sączu*, 49-56.
- Bartelmus W. Sawicki W. Zimroz R.** (2000): Wspomaganie diagnostyki-wnioskowania diagnostycznego. Etap 3, Raport Instytutu Górnictwa, Politechnika Wrocławska, Maszynopis.
- Basztura C.** (1996): Komputerowe systemy diagnostyki akustycznej. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, ISBN 83-01-12056-8.
- Basista G., Kaczorowski J., Langman J.** (2002): Stanowiskowa diagnostyka rozpylaczy płaskostrumieniowych. *Inżynieria Rolnicza*, 2, 15-22.
- Basista G., Kaczorowski J., Langman J.** (2002): Charakterystyki hydrauliczne rozpylaczy płaskostrumieniowych jako parametr diagnostyczny. *Inżynieria Rolnicza*, 6, 57-63.
- Bień E., Bień J.** (1997): Urządzenia pneumatyczne w rolnictwie. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, ISBN 83-09-00069-3.
- Bernhardt M.** (1970): Badania trakcyjnych silników spalinowych. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- Cempel C.** (1992): Wibroakustyczna diagnostyka maszyn. WNT, ISBN 83-01-09696-9.
- Cempel C.** (1993): Theory of Energy Transforming Systems and their Application in Diagnostics of Operating Systems. *Appl. Math. and Comp. Sci.*, Vol. 3, 3.
- Cholewa W.** (1992): Decision tables and frames in diagnostics expert systems. 8th IMEKO Symposium on Technical Diagnostics, Dresden, 77-84.
- Cholewa W.** (1993): Frames in diagnostics reasoning. *Journal of Applied Mathematics and Comp. Sci.* vol.3, 3.
- Cieślakowski B., Langman J.** (2005): Analiza parametru diagnostycznego zespołu przekładniowego kombajnu zbożowego z użyciem sztucznych sieci neuronowych. *Inżynieria Rolnicza*, 8(68), 57-62.
- Cieślakowski B., Langman J., Ślipek Z.** (2005): The analysis of diagnostic parameters of a transmission unit in a combine-harvester using artificial neural networks. II International Scientific Conference "Information Technologies and Control Engineering in Management of Production Systems", Prague, vol. II, 48-51.
- Cieślakowski B.** (2007): Procesy drganiowe w diagnostyce maszyn rolniczych. Wydawnictwo PTIR, Kraków, ISBN 83-917053-5-8.
- Daniluk A.** (2007): RS 232C praktyczne programowanie. Wydawnictwo Helion, Gliwice, ISBN 978-83-246-0778-5.
- Filin S.** (2002): Termoelektryczne urządzenia chłodnicze. IPPU Masta, Gdańsk, Wyd. 1, ISBN 83-913895-6-1.
- Hebda M., Mazur T., Pelc H.** (1978): Teoria eksploatacji pojazdów. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- Hebda M., Niziński S., Pelc H.** (1980): Podstawy diagnostyki pojazdów mechanicznych. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa, ISBN 83-206-0007-3.

- Jasiński B.** (1995): Stan obecny oraz perspektywy rolniczych układów mechatronicznych, I Krajowa Konferencja Naukowa Zastosowanie Komputerów pokładowych w maszynach rolniczych, Płock. Maszynopis.
- Jasiński B.** (1997): Status and prospects for mikroprocessor systems in agricultural machinery. II Konferencja Naukowa „Systemy mikroprocesorowe w rolnictwie”, Płock, Maszynopis.
- Józefik W.** (1987): Ocena właściwości systemów diagnostycznych. Zagadnienia Eksploatacji Maszyn, Z. 3-4, 11-34.
- Kaczorowski J., Langman J., Wróbel F.** (1994): Model funkcjonalny ciągnika rolniczego do celów diagnostycznych. Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych, Z. 415.
- Kaczorowski J., Langman J.** (1999): Eliminacja zakłóceń pomiarowych w procesie diagnozowania na przykładzie rozsiewacza nawozów. Problemy Inżynierii Rolniczej, 4, 47-52.
- Kaczorowski J., Langman J.:** (2000): Koncepcja systemu operacyjnego komputera pokładowego agregatu rolniczego. Inżynieria Rolnicza, 7, 85-89.
- Korbicz J., Obuchowicz A., Uciński D.** (1994): Sztuczne sieci neuronowe - podstawy i zastosowania. Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa, ISBN 83-7101-197-0.
- Kuczewski J., Waszkiewicz Cz.** (1997): Mechanizacja rolnictwa. SGGW Warszawa, ISBN 83-00-03106-5.
- Kościelny J. M.** (2001): Diagnostyka zautomatyzowanych procesów przemysłowych. Akademicka Oficyna Wydawnicza, Warszawa, ISBN 83-87674-27-3.
- Kwaśniewski J.** (1993): Wprowadzenie do inteligentnych przetworników pomiarowych. Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa, ISBN 82-204-1701-5.
- Langman J.** (1996): Zastosowanie sieci neuronowych w diagnostyce na przykładzie układu smarowania silnik. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, Z. 443, 119-125.
- Langman J.** (1998): Diagnozowanie maszyn rolniczych. Zeszyty Naukowe AR w Krakowie, Z. 243, 77.
- Langman J.** (1999): Zastosowanie sztucznych sieci neuronowych w inżynierii rolniczej. Inżynieria Rolnicza, 1, 153-158.
- Langman J., Pedryc N.** (2003): Ocena rozpylaczy płaskostrumieniowych na podstawie charakterystyki rozkładu poprzecznego cieczy. Inżynieria Rolnicza, 10, 269-276.
- Langman J., Pedryc N.** (2003): Modyfikacja stołu rowkowego do badań rozpylaczy płaskostrumieniowych. Inżynieria Rolnicza, 12(54), 185-191.
- Langman J.** (2005): Rozpoznawanie obrazów z użyciem sztucznych sieci neuronowych. Inżynieria Rolnicza, 10, 263-268.
- Langman J., Pedryc N.** (2005): Device for continuous monitoring of operational quality of spray nozzles in agricultural sprayers. II International Scientific Conference “Information Technologies and Control Engineering in Management of Production Systems”, Prague, vol. II. 133-137.
- Langman J., Pedryc N., Łapczyńska-Kordon B.** (2006): Zastosowanie modułu Peltiera w inżynierii rolniczej. Inżynieria Rolnicza, 12(87), 295-302.
- Langman J., Pedryc N.** (2006): Skaner do badania rozkładu poprzecznego strugi rozpylaczy płaskostrumieniowych. Inżynieria Rolnicza, 13, 287-294.
- Langman J.** (2006): Zastosowanie sztucznej inteligencji w diagnostyce procesów przetwórczych. Inżynieria Rolnicza, 13, 279-285.
- Langman J., Łapczyńska-Kordon B.** (2007): Układ diagnostyki on-line modułu Peltiera podczas jego pracy. Inżynieria Rolnicza, 7, 115-121.
- Łapczyńska B., Langman J., Pedryc N.** (2005): Algorytm rozpoznawania obrazów materiałów biologicznych. Inżynieria Rolnicza, 7, 145-150.
- Masters T.** (1996): Sieci neuronowe w praktyce - programowanie w języku C++. WNT Warszawa, ISBN 83-204-2061-X.
- Marks N.** (1997): Maszyny rolnicze. cz. I, AR w Krakowie, 36-87.
- Michalski R.** (1988): Program diagnozowania maszyny rolniczej. Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej, Mechanika 42, ISSN 0239-4979.

- Michalski R.** (1994): Stan i rozwój diagnostyki w technice rolniczej. IX Konferencja Naukowo-Techniczna Diagnostyka Maszyn Roboczych i Pojazdów, Bydgoszcz, maszynopis.
- Michalski R., Niziński S., Żółtowski B.** (1996): Diagnostyka maszyn rolniczych. Kongres Diagnostyki Rolniczej, Gdańsk, maszynopis.
- Michalski R., Niziński St., Żółtowski B.** (1996): Diagnostyka Maszyn Rolniczych. Kongres Diagnostyki Technicznej, Gdańsk, DIAG 96, maszynopis.
- Michalski R., Petkun Z., Jasiński B., Szreder M., Salej W.** (1997): Mikroprocesorowy system nadzoru stanu technicznego kombajnu zbożowego. II Konferencja Naukowa „Systemy mikroprocesorowe w rolnictwie”, Płock, maszynopis.
- Michalski R.** (2000): Diagnostyczny system sterowania eksploatacją maszyn rolniczych. Sesja naukowo-techniczna, Poznań, maszynopis.
- Mikucki K.** (1995): Zastosowanie komputerów pokładowych w maszynach rolniczych. Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej, 8, 11.
- Młokosiewicz J., Tomkiewicz K.** (1998): Elementy współczesnych systemów diagnozowania. II Wiosenna Szkoła „Komputerowe wspomaganie projektowania, wytwarzania i eksploatacji”, WAT, Żegiestów, maszynopis.
- Mrozek B., Mrozek Z.** (1996): Matlab uniwersalne środowisko do obliczeń naukowo-technicznych, Warszawa, ISBN 83-86547-06-5.
- Mulawka J.** (1996): Systemy ekspertowe. WNT, ISBN 83-204-1890-9.
- Niziński i in.** (1994): Proces badawczo-projektowo-konstrukcyjno-wdrożeniowy a fazy istnienia obiektów mechanicznych. IX Konferencja Naukowo Techniczna „Diagnostyka Maszyn Roboczych i Pojazdów”, Bydgoszcz, maszynopis.
- Niziński S.** (2000): Elementy eksploatacji obiektów technicznych. Wydawnictwo UW-M Olsztyn, ISBN 83-88343-50-5.
- Niziński S.** (1999): Diagnostyka samochodów osobowych i ciężarowych. Wydawnictwo Bellona, ISBN: 83-11-08932-9.
- Niziński S., Michalski R.** (2002): Diagnostyka obiektów technicznych. Wydawnictwo i ZPITE, Warszawa-Sulejówek-Olsztyn-Radom, ISBN 83-7204-290-X.
- Niziński S., Kupicz W., Mikołajczak P., Rychlik A., Szczyglak P., Wierzbicki S.** (2011): Systemy diagnostyczne wojskowych pojazdów mechanicznych, Wyd. NITE-PIB, Sulejówek-Radom, ISBN 978-83-7204-971-1.
- Otmianowski T.** (1986): Diagnostyka w technice rolniczej, I Krajowa Konferencja „Diagnostyka techniczna urządzeń i systemów” Kielce-Sielpia, maszynopis.
- Szablowski K.** (1972): Pompy wyporowe. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Łódź.
- Staruch S.** (1978): Podstawy technologii, eksploatacji i niezawodności pojazdów samochodowych, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- Tarnowski W.** (1995): Komputerowy system symulacji Simulink v.1.2 z wprowadzeniem do Matlab v.4.0. Wydaw. Uczelniane Wyższej Szkoły Inżynierskiej, Koszalin, ISBN 83-86123-22-2.
- Tadeusiewicz R., Gonciarz T., Borowik B., Leper B.** (2007): Odkrywanie właściwości sieci neuronowych przy użyciu programów w języku C+. Polska Akademia Umiejętności, Kraków, ISBN 978-83-60183-53-3.
- Werner J., Wajand J.** (1978): Silniki spalinowe małej i średniej mocy. Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa.
- Wiązania M.** (2004): Programowanie mikrokontrolerów AVR w języku Bascom. Wydawnictwo BTC Warszawa, ISBN 83-921073-2-2.
- Zalewski W.** (1998): Podstawy teoretyczne i przykłady zastosowań. Pompy ciepła. Skrypt, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, ISBN 83-903878-3-2.
- Żółtowski B.** (1996): Podstawy diagnostyki maszyn. Wyd. ATR Bydgoszcz.

Instrukcja obsługi siewnika punktowego NG Plus.

Standard ISO 11783. Dostępny w Internecie: <http://asae.frymulti.com/data/pdf/6/ddp2002/lecture23.pdf>

Platforma załadowcza – dokumentacja techniczno ruchowa. Dostępny w Internecie: www.ama.com.pl/resources/documentations/sl%20sls%20a%20s%20sh.pdf

Hasło Ogrodnicze. Dostępny w Internecie: <http://www.ho.haslo.pl/article.php?id=2056>

EGNOS. Dostępny w Internecie: <http://www.euractiv.pl/>

Materiały informacyjne:

New Holland. Dostępny w Internecie: <http://www.newholland.com>

Agrotronik 2002. Dostępny w Internecie: <http://www.agrotronik.pl>

Agrotronik 2004. Dostępny w Internecie: <http://www.agrotronik.pl>

AGRIO 2003. Dostępny w Internecie: <http://www.gabosc.pl>

Amazone. Dostępny w Internecie: <http://www.amazone.pl>

Amazone. Dostępny w Internecie: <http://info.amazone.de>

CAN in Automation. Dostępny w Internecie: <http://www.can-cia.de>

CLAAS. Dostępny w Internecie: <http://app.claas.com>

WYBRANE ZAGADNIENIA DIAGNOSTYKI TECHNICZNEJ W INŻYNIERII ROLNICZEJ

Streszczenie. Diagnostyka techniczna zajmuje kluczowe miejsce w eksploatacji urządzeń technicznych, a tym samym w eksploatacji maszyn i sprzętu rolniczego. Diagnostyka techniczna służy ocenie stanu technicznego urządzenia, lokalizacji uszkodzeń, prognozowaniu i generowaniu stanu technicznego urządzenia. W obecnym czasie procedury diagnostyczne są realizowane z wykorzystaniem specjalistycznych urządzeń w serwisach obsługowo-naprawczych jak też część procedur diagnostycznych jest implementowana w komputerach pokładowych maszyn i pojazdów rolniczych. O ile proces diagnostyczny realizowany na stanowiskach serwisowych jest w obecnej chwili bardzo dobrze pod względem technicznym i informatycznym rozwinięty, to w dalszym ciągu rozwija się diagnostyka typu on-line wykorzystująca komputery pokładowe stanowiące integralną część diagnozowanego urządzenia. Implementacja w komputerze pokładowym wydajnych i dokładnych procedur diagnostycznych jest działaniem skomplikowanym, gdyż wykorzystywane są zarówno narzędzia stosowane w diagnostyce (procedury i procesy) oraz w informatyce (oprogramowanie czasu rzeczywistego). W chwili obecnej w procesie diagnozowania wykorzystywana jest technologia sztucznej inteligencji, ze szczególnym uwzględnieniem sztucznych sieci neuronowych. Zśród wielu rodzajów sztucznych sieci neuronowych w diagnostyce wykorzystuje się z powodzeniem sieci typu wstecznej propagacji błędu, których implementacja w komputerach pokładowych nie nastręcza większych trudności. Opracowywanie nowych procesów i procedur diagnostycznych wymaga od projektanta dogłębnej wiedzy o budowie, działaniu i procesach zachodzących wewnątrz urządzenia jak też znajomości realizowanej funkcji do jakiej dane urządzenie jest przeznaczone. Zamieszczone w opracowaniu przykłady pozwolą na poznanie i zrozumienie toku postępowania przy projektowaniu procedur diagnostycznych urządzeń wykorzystywanych w inżynierii rolniczej. Wiele zamieszczonych przykładów jest opracowaniami autorskimi.

Słowa kluczowe: diagnostyka techniczna, opryskiwacz polowy, sztuczne sieci neuronowe, komputer pokładowy, ISO-BUS, modele funkcjonalne, układy hydrauliczne, siewnik pneumatyczny, skrzynia biegów, maszyny rolnicze

SELECTED ISSUES OF TECHNICAL DIAGNOSTICS IN AGRICULTURAL ENGINEERING

Summary. Technical diagnostics is crucial for exploitation of technical devices and consequently for exploitation of agricultural machines and equipment. Technical diagnosis is used for assessment of the technical condition of a device, localisation of damages, forecasting and generating the technical condition of a device. Presently, diagnostic procedures are carried out with the use of specialistic devices in servicing and repair workshops and some part of diagnostic procedures is implemented to on-board computers of agricultural machines and devices. Whereas, the diagnostic process, performed on servicing stands, is highly developed on account of technology and IT, the on-line type of diagnostics, which uses on-board computers constituting an integral part of the diagnosed device, has been still developing. Implementation of efficient and precise diagnostic procedures in an on-board computer is complex since both devices used in diagnostics (procedures and processes) as well as in informatics (software of actual time) are applied here. Artificial intelligence technology with special consideration of artificial neural networks is presently used in the process of diagnosing. From among many types of artificial neural networks, back propagation networks, which can be easily implemented to on-board computers, are successfully applied in diagnostics. Working out new diagnostic processes and procedures requires from a designer a deep knowledge on the structure and processes which take place inside a device as well as knowledge on the function of a particular device. Examples included in the paper will allow learning and understanding the course of proceeding at designing diagnostic procedures of devices used in agricultural engineering. Many examples presented in this paper constitute the author's own study.

Key words: technical diagnosis, field spraying machine, artificial neural networks, on-board computer, ISO-BUS, functional models, hydraulic systems, pneumatic seeder, gear box, agricultural machines