

METODA DIAGNOZOWANIA UKŁADU HYDRAULICZNEGO MASZYNY ROBOCZEJ

Arkadiusz RYCHLIK

Katedra Budowy, Eksploatacji Pojazdów i Maszyn, Wydział Nauk Technicznych, UWM w Olsztynie
ul. Oczipowskiego 11, 10-719 Olsztyn, e-mail: rychter@uwm.edu.pl

Streszczenie

W pracy przedstawiono metodykę diagnozowania układu hydraulicznego kombajnu do zbioru zbóż Bizon Z058 w której wykorzystano analizę przebiegu ciśnienia oleju hydraulicznego w układzie. Na podstawie wykonanych serii eksperymentów diagnostycznych dla podstawowych stanów niezdatności, wyznaczono relacje diagnostyczne w postaci: „jeżeli symptom to stan niezdatności”. Badania weryfikacyjne, wykonane w warunkach eksploatacyjnych, potwierdziły słuszność pozyskanych relacji diagnostycznych, jak również przydatność prezentowanej metody do diagnozowania stanu technicznego układu hydraulicznego.

Słowa kluczowe: układ hydrauliczny, algorytm diagnozowania, metoda diagnozowania, system diagnostyczny, oscylogram ciśnienia.

DIAGNOSING METHOD OF HYDRAULIC SYSTEM OF WORKING MACHINE

Summary

The paper contains the diagnosing methodology of the hydraulic system of a combine harvester Bizon Z058, where the pressure time courses analysis of hydraulic oil in the system was used. On the basis of the diagnostic experiments carried out, including identification of the particular diagnostic symptoms (pressure courses in the hydraulic system), the diagnostic relations in the form of “if symptom then non-operational state” for the main non-operational states were established. The verifying research, carried out in the exploitation conditions, confirmed rightness of received diagnostic relations, and usefulness of the presented method for diagnosing of the technical state of the hydraulic system as well.

Keywords: hydraulic system, diagnostic algorithm, diagnosing method, diagnostic set.

1. WPROWADZENIE

Współczesne maszyny robocze to głównie maszyny samojezdne posiadające złożone układy, zarówno pod względem konstrukcyjnym jak i funkcjonalnym. Przykładowo, w kombajnie do zbioru zbóż czy ciągniku rolniczym można wyróżnić elementy: mechaniczne, elektryczne, elektroniczne, hydrauliczne, pneumatyczne, a cena takiej maszyny jest kilkakrotnie większa od ceny dobrej klasy osobowego samochodu. Prawdą jest, że układy te są coraz bardziej niezawodne, ale także podlegają one procesom zużycia, nieuchronnie prowadzącym do zużycia granicznego, po przekroczeniu którego powstaje zagrożenie dla ludzi, środowiska naturalnego, jak także rachunku ekonomicznego.

Układy hydrauliczne, często są jednym z najważniejszych układów maszyn. Uszkodzenie układu hydraulicznego wpływa znacząco na funkcjonowanie całej maszyny, aż do jej zatrzymania włącznie. Ocena stanu technicznego układów hydraulicznych lub lokalizacja powstałego uszkodzenia w starszych maszynach dokonywana jest z dużą dozą subiektywizmu, a ewentualne

badania techniczne dokonywane są po utracie przez nie zdatności użytkowych. Nie dotyczy to nowoczesnych maszyn roboczych wyprodukowanych lub zmodernizowanych na przełomie ostatnich wieków. Maszyny te, mają wbudowane pokładowe lub pokładowo-zewnętrzne systemy rozpoznawania stanu technicznego układu hydraulicznego [6]. Systemy te zostały wprowadzone przez producentów i zalecone przez normy bezpieczeństwa, początkowo w celu kontroli stanu i lokalizacji uszkodzeń, a obecnie także - prognozowania stanu.

Wdrożenie takich systemów w starszych maszynach jest utrudnione ze względów konstrukcyjnych, jak również braku pełnej i precyzyjnej wiedzy o sygnałach i relacjach diagnostycznych, lub jest po prostu - nieopłacalne. Z kolei bieżąca i wiarygodna obserwacja stanu technicznego układu hydraulicznego tych maszyn, dostępnymi standardowymi pokładowymi urządzeniami diagnostycznymi jest w zasadzie niemożliwe.

Jednym z prostszych i tańszych a zarazem skutecznym sposobów podniesienia podatności

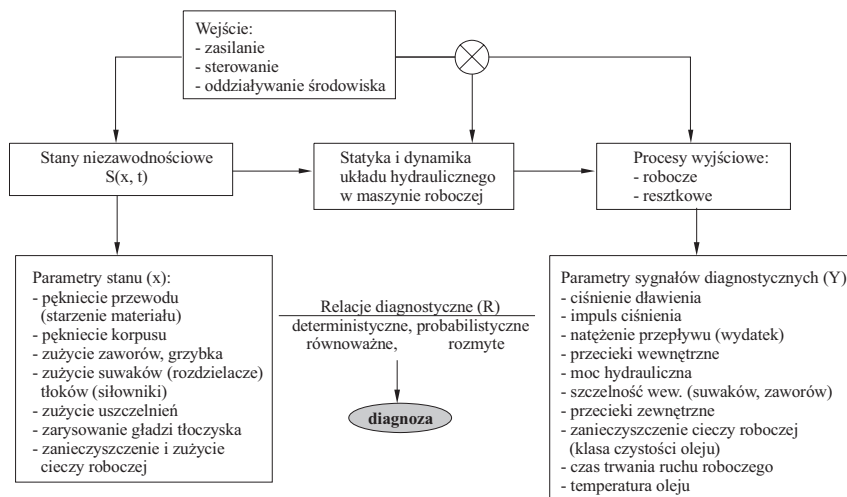
diagnostycznej mogą być zewnętrzne systemy diagnostyczne, podłączane okresowo do badanego układu hydraulicznego.

2. ZMIANA CIŚNIENIA JAKO MIERNIK INFORMACJI DIAGNOSTYCZNEJ

Do sterowania procesem eksploatacji maszyn roboczych niezbędna jest znajomość ich stanu technicznego. Każdy stan układu hydraulicznego można być wyróżniony poprzez zbiór wartości liczbowych charakteryzujących jego strukturę oraz intensywność procesów zachodzących podczas funkcjonowania maszyny roboczej, zatem stan układu hydraulicznego może być opisany zbiorem wartości liczbowych opisujących ten układ w danej chwili czasu.

Diagnozowanie maszyn roboczych rozpatruje się najczęściej jako diagnozowanie poszczególnych układów składających się na konstrukcję całej maszyny. W literaturze dotyczącej problemu, nie wiele odnajduje się metod diagnozowania maszyny roboczej jako całości. Najczęściej jest ona dekomponowana na umowne lub funkcjonalne układy dla których budowane są metody diagnostyczne.

Przykładowy model diagnostyczny układu hydraulicznego przedstawiono na rys. 1, w którym wejściem jest zasilanie, sterowanie i oddziaływanie środowiska, a wyjściem są procesy robocze i resztkowe, traktowane ze względu na uwarunkowania diagnostyczne jako: symptomy i sygnały diagnostyczne, których uzyskanie uzależnione jest od typu maszyny i aparatury pomiarowej stosowanej podczas pomiaru.



Rys. 1. Schemat modelu diagnostycznego układu hydraulicznego maszyny roboczej [3]

Procedura diagnozowania układów hydraulicznych z reguły obejmuje dwa etapy. Pierwszy dotyczy kontroli stanu układu jako całości (tzw. badanie bezpośrednie), sprowadza się do zbierania informacji na temat funkcjonowania i stanu ogólnego. Drugi – badanie pośrednie, to etap badań diagnostycznych dotyczący kontroli stanu wybranych elementów układu hydraulicznego.

Metody pośrednie oceny stanu, polegają na obserwacji sygnałów lub procesów związanych z funkcjonowaniem układu hydraulicznego i na ich podstawie prowadzone jest wnioskowanie diagnostyczne. Sygnałem diagnostycznym może być dowolny nośnik informacji, charakteryzujący zmiany wielkości fizycznej, umożliwiającą przeniesienie wiadomości o stanie technicznym badanego obiektu. Opis sygnału diagnostycznego jest realizowany za pomocą zbioru jego charakterystycznych cech.

Z pośród wielu nośników informacji diagnostycznej dostępnych podczas „mobilnych” badań układów hydraulicznych, do najbardziej wszechstronnych i łatwych do pozyskania jest

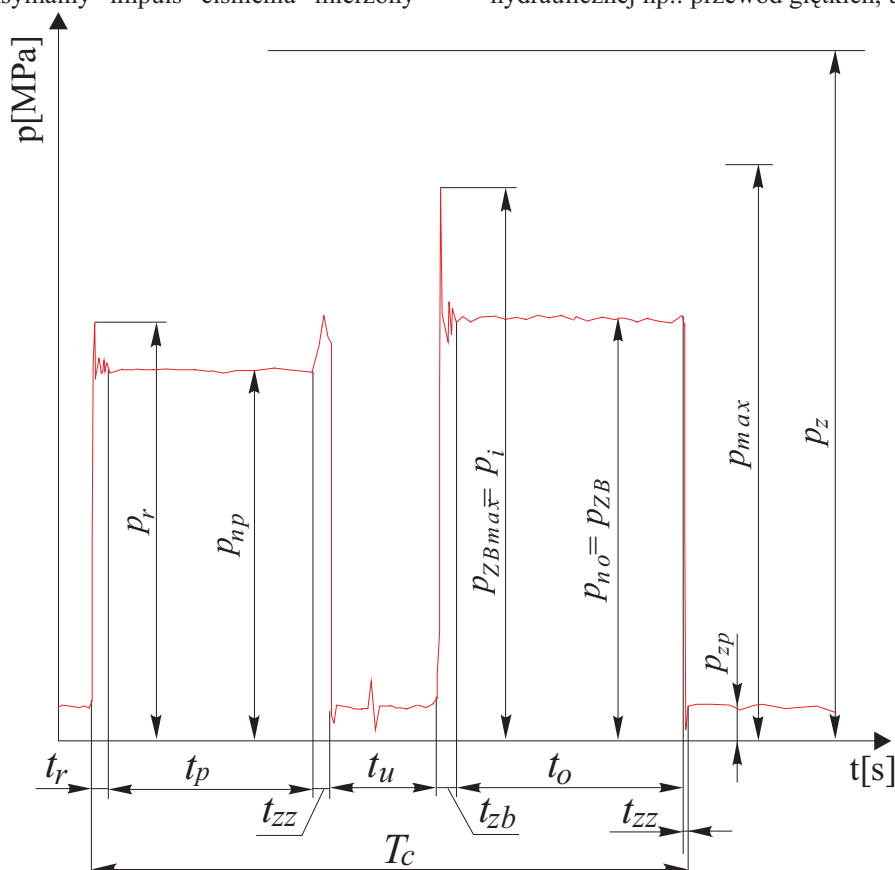
ciśnienie w układzie hydraulicznym. Na podstawie analizy zmian ciśnienia można oceniać stan elementów hydraulicznych (pompy, rozdzielacze, zawory, itp.) jak także układu hydraulicznego jako całości (próba dławienia, kontrola nastaw zaworu przelewowego w układzie, itp.). Z ciśnieniem i jego cechami nierozdzielnie związany jest czas. Ta zależność sygnału diagnostycznego jest coraz częściej wykorzystywana i zapisywana w postaci oscylogramów tzn. przebiegów ciśnienia oleju w określonym punkcie układu. Ten typ badań diagnostycznych nazywany jest badaniem dynamicznym mechanizmów roboczych.

Na podstawie tych badań, przeprowadzonych na obiektach rzeczywistych, można zidentyfikować stany niezdatności, które nigdy by się nie ujawniły podczas badań statycznych tych układów [2]. Brak tego typu badań może doprowadzić w końcowym efekcie do zniszczenia maszyny i zanieczyszczenia środowiska przez olej hydrauliczny. Badania takie stosowane winno być okresowo (sezonowo) również po każdej ingerencji w układ hydrauliczny (np. po naprawie).

Do charakterystyk dynamicznych (rys. 2) opisujących oscylogramy można zaliczyć: impulsy ciśnienia zarejestrowane podczas cyklu funkcjonowania układu oraz czas ruchu roboczego i jałowego mechanizmu. Analiza uzyskanych w ten sposób cech sygnału diagnostycznego pozwala na identyfikację stanu technicznego lub lokalizację uszkodzenia układu hydraulicznego.

Jednym z najważniejszych wskaźników dynamicznych układów hydraulicznych podnoszenia [2] jest maksymalny impuls ciśnienia mierzony

w przewodzie tłocznym pompy lub w przewodzie zasilającym komory siłownika, który może wystąpić w różnych okresach funkcjonowania układu. Maksymalny impuls ciśnienia powstaje w najtrudniejszych warunkach funkcjonowania mechanizmu, ze względu na nagłą zmianę obciążeń układu podczas eksploatacji (np. przejazd przez poprzeczny uskok drogi). Maksymalny krótkotrwały impuls ciśnienia może osiągnąć różne wartości, nawet powodujące uszkodzenia instalacji hydraulicznej np.: przewód giętkich, uszczelniaczy.



Rys. 2. Przykładowy oscylogram ciśnienia zarejestrowany w kanale tłocznym pompy oleju kombajnu do zbioru zbóż Bizon Z058 podnoszenia i opuszczania zespołu żniwnego (hedera):

p_{max} – maksymalne ciśnienie zarejestrowane podczas prób (pomiarów), p_r – maksymalne ciśnienie zarejestrowane podczas rozruchu, p_n – ciśnienie zidentyfikowane podczas ruchu ustalonego układu, (p_{np} – dla ruchu podnoszenia, p_{no} – dla ruchu opuszczanie zespołu żniwnego (hedera)), p_{zB} – ciśnienie otwarcia zaworu przelewowego (bezpieczeństwa), p_{zBmax} – maksymalne ciśnienie, podczas otwarcia zaworu przelewowego (bezpieczeństwa), p_i – maksymalny impuls ciśnienia, p_z – ciśnieniu niszczące przewód hydrauliczny, p_{zp} – ciśnienie zaworu przelewowego układu, t_r – czas rozruchu układu, t_p – czas ruchu ustalonego dla podnoszenie układu, t_o – czas ruchu ustalonego dla opuszczanie układu, t_{zB} – czas otwarcia i funkcjonowania zaworu przelewowego (bezpieczeństwa), t_{zz} – czas przesterowania rozdzielacza i/lub otwarcia zaworu zwrotnego, t_u – czas utrzymania (zatrzymania) elementu w określonym położeniu (wszystkie elementu sterujące układu hydraulicznego (zawory, rozdzielacze itp.) są w pozycji neutralnej), T_c – czas cyklu funkcjonowaniu układu

4. METODA DIAGNOZOWANIA UKŁADU HYDRAULICZNEGO

Zasadniczym celem prezentowanej metody diagnozowania układu hydraulicznego, było stworzenie mobilnego uniwersalnego urządzenia diagnostycznego które znajduje zastosowanie do diagnozowania układu hydraulicznego polskich kombajnów do zbioru zbóż serii Z056 i Z058.

Metoda diagnozowania rozpatrywanego układu została opracowana na podstawie modelu strukturalnego w postaci Macierzy Wiedzy Diagnostycznej (MWD). Macierz ta, zawiera relacje: *symptom diagnostyczny* \rightarrow *stan* ($SD \rightarrow X$), dla wcześniej wyodrębnionych obiektów ze struktury rozpatrywanej maszyny. Moc relacji ($SD \rightarrow X$) reprezentowana jest przez wskaźnik pewności CF [5].

W ramach prowadzonych badań, metodą przetwarzania, dyskusji panelowych, metodą delficką oraz badań eksperymentalnych, uzyskano wiedzę, którą następnie zapisano w postaci algorytmu diagnozowania podukładu hydraulicznego sterowaniem funkcjonowaniem zespołu żniwnego (hedera) rys. 3.

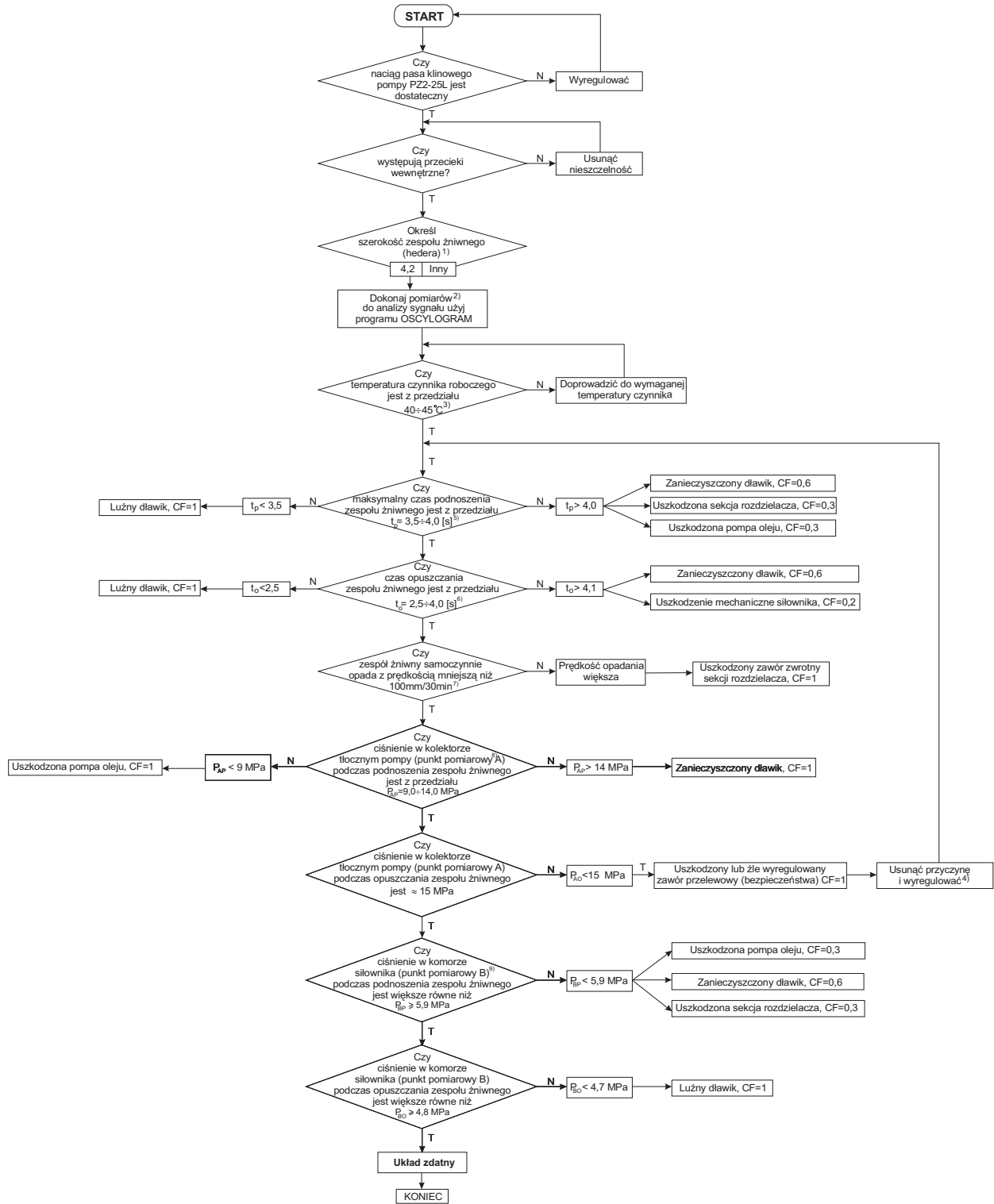
W prezentowanym algorytmie, kolejność sprawdzeń została tak dobrana, aby wyeliminować pytania zbędne lub budzące wątpliwość, np. procedura może być kontynuowana po upewnieniu się, czy naciąg pasa klinowego wałka pompy oleju jest prawidłowy, ponieważ jest to warunek

konieczny dla prawidłowego funkcjonowania układu hydraulicznego, jak i procedury diagnozowania zapisanej w postaci algorytmu.

Przejsie wszystkich etapów kontroli stanu według algorytmu przedstawionego na rys. 3 i nie stwierdzenie przekroczenia wartości dopuszczalnych, powoduje zakwalifikowanie rozpatrywanego układu jako zdatnego. Zaobserwowanie przynajmniej jednego symptomu prowadzi do zidentyfikowania niezdatności.

W metodzie diagnozowania z wykorzystaniem przedstawionego algorytmu musi być zastosowany analizator, z układem pomiarowo-przetwarzającym, umożliwiającym wnioskowanie o stanie niezdatności maszyny na podstawie analizy zmian wartości: ciśnienia, natężenia lub prędkości przepływu czynnika roboczego, temperatury, przemieszczeń elementów roboczych i prędkości obrotowej elementów wirujących.

W prezentowanych badaniach wykorzystano analizator diagnostyczny KSD-400, z którym współpracował komputer typu „notebook” wraz z multipleksowaną szesnastowejściową kartą przetwornika analogowo-cyfrowego w standardzie PCMCIA, DAQCard™ 6024E firmy National Instruments. Całość uzupełniają dwa czujniki ciśnienia oleju NPXG 250 (Trafag), czujnik temperatury czynnika roboczego TCHM-100 oraz impulsowy czujnik prędkości obrotowej typu CLF 10 (foto).



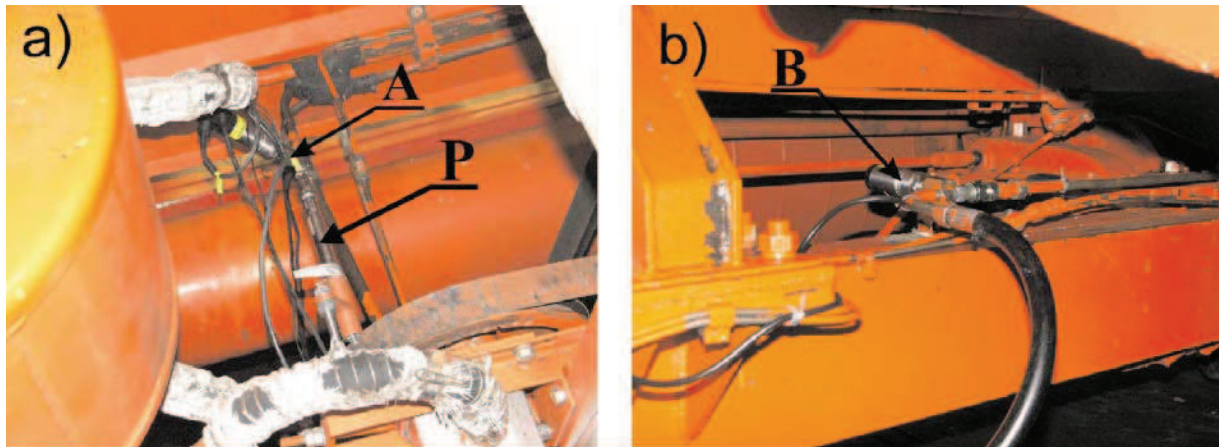
Rys. 3. Algorytm diagnozowania podukładu hydraulicznego sterowania funkcjonowaniem zespołu żniwnego kombajnu do zbioru zbóż Bizon Z058

Znaczenie odnośników zawartych w algorytmie (rys. 3) jest następujące:

- 1) – identyfikacja szerokości roboczej zespołu żniwnego. Dla prezentowanej wersji algorytmu dostępna jest jedynie szerokość 4,2 m. Informacja ta jest konieczna dla określenia wartości bazowych sygnałów diagnostycznych, niezbędnych w toku diagnozowania;
- 2) – identyfikacja cech sygnału powinna odbywać się za pomocą specjalistycznego programu do analizy sygnału przebiegu ciśnienia w czasie. Proponowany jest tu program „Oscylogram”, przygotowany w ramach budowanego systemu diagnostycznego [4, 5];
- 3) – badania kontrolno-diagnostyczne należy prowadzić przy temperaturze czynnika roboczego $40 \pm 45^{\circ}\text{C}$ [1];
- 4) – wyregulować nastaw zaworu przelewowego [1];
- 5) – czas podnoszenia zespołu żniwnego – jest to czas podnoszenia kompletnego zespołu żniwnego na wysokość transportową $H=1000$ mm, mierzona na nożykach przyrządu tnącego, przy włączonym tylko napędzie układu

hydraulicznego, a obroty wałka silnika napędowego winny być nominalne. Pozostałe układy kombajnu są wyłączone. Maksymalny czas podnoszenia 4,0 [s] [1];

- 6) – czas opuszczania zespołu żniwnego z górnego do dolnego położenia transportowego, minimalny czas 2,5 [s] [1];
- 7) – maksymalna prędkość samoczynnego opadania zespołu żniwnego, przy neutralnym położeniu dźwigni rozdzielacza w ciągu 30 min/100 mm [1];
- 8) – punkt pomiarowy A - umiejscowienie czujnika pomiaru ciśnienia oleju w przewodzie tłocznym pompy oleju (rys. 4a);
- 9) – punkt pomiarowy B - umiejscowienie czujnika pomiaru ciśnienia oleju w przewodzie zasilającym siłowników zespołu żniwnego (rys. 4b).



Rys. 4. Widok punktów pomiarowych wraz z czujnikami pomiaru ciśnienia (A i B) oraz prędkości obrotowej CLF 10 (P), a) kanał tłoczny pompy oleju, punkt pomiarowy - A, b) przewód zasilający siłowniki zespołu żniwnego, punkt pomiarowy - B

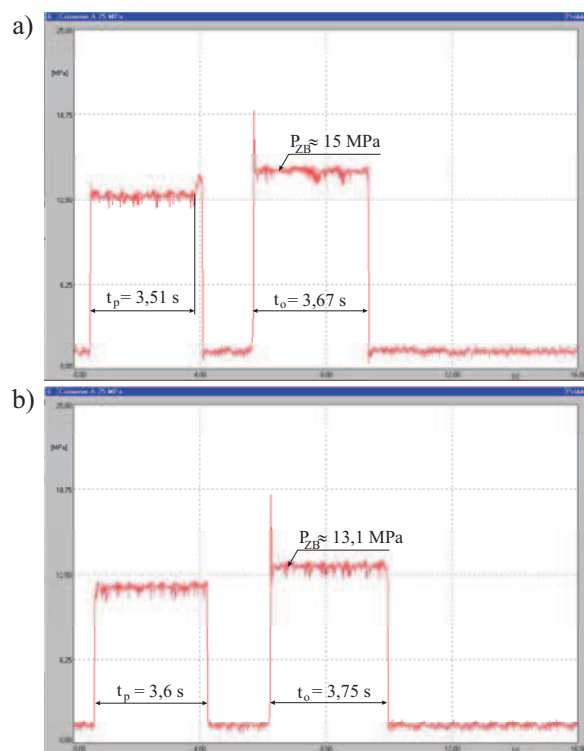
5. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Badania przeprowadzono na układzie hydraulicznym kombajnu do zbioru zbóż Bizon Z058 w Laboratorium Maszyn Rolniczych, Wydziału Nauk Technicznych w Olsztynie.

Weryfikację prezentowanej metody diagnozowania przeprowadzono metodą testową. W tym celu wykonano pomiary zmian ciśnienia w funkcji czasu dla podukładu hydraulicznego sterowania funkcjonowaniem zespołu żniwnego. Pomiary te, dokonano dla podukładu zdadnego i niezdatnego, które następnie poddano analizie za pomocą prezentowanego algorytmu. Wyniki tych pomiarów przedstawiono na rys. 5-7.

Rysunek 5 przedstawia oscylogram przebiegu ciśnienia w funkcji czasu, zarejestrowany w kanale

tłocznym pompy oleju. Z analizy uzyskanych wyników weryfikacyjnych wynika, że ciśnienie otwarcia, zarejestrowane w układzie z błędą regulacją zaworu bezpieczeństwa, jest niższe w przybliżeniu o 2 MPa, w porównaniu do układu z prawidłowo wyregulowanym zaworem bezpieczeństwa. Podobnie jak wynikało to z badań eksperymentalnych, taka różnica nie wpływa znacząco na wartości czasu podnoszenia t_p układu, który w obu przypadkach wynosił w przybliżeniu 3,6 s oraz czasu opuszczania układu t_o , który dla obu nastaw zaworu jest bliski 3,7 s.

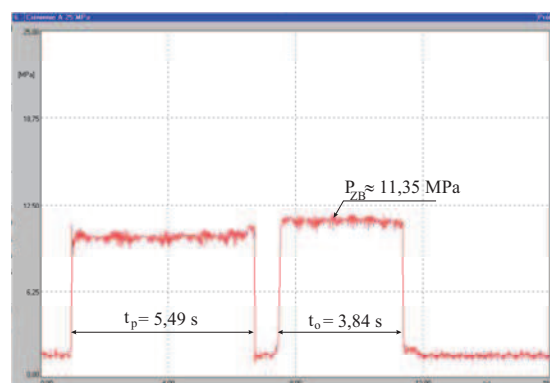


Rys. 5. Przebieg ciśnienia w funkcji czasu (punkt pomiarowy A – kanał tłoczny pompy oleju), a) układ zdalny, zawór przelewowy prawidłowo wyregulowany $p_{ZB} \approx 15 \text{ MPa}$, b) układ z błędnie wyregulowanym zaworem bezpieczeństwa $p_{ZB} \approx 13,1 \text{ MPa}$

Jak już wcześniej wspomniano, na czas podnoszenia zespołu żniwnego wpływa między innymi właściwa regulacja zaworu przelewowego. Nie identyfikuje się negatywnego wpływu na funkcjonowanie układu, gdy nastaw zaworu przelewowego odbiega o 2÷3 MPa od wartości nominalnych. Jednakże przekroczenie tej wartości powodują wzrost czasu podnoszenia układu co obrazuje rys. 6, jednocześnie obserwuje się wzrost temperatury czynnika roboczego przy wielokrotnym podnoszeniu układu.

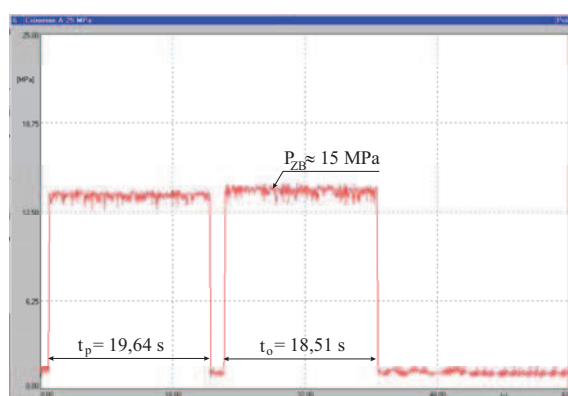
Jak wynika z rys. 6 przy nastawie zaworu bezpieczeństwa na wartość $p_{ZB} \approx 11,35 \text{ MPa}$, następował wzrost czasu podnoszenia zespołu żniwnego do $t_p = 5,49 \text{ s}$, przy niezauważalnej różnicy czasu opuszczania $t_o = 3,84 \text{ s}$ w porównaniu do wartości nominalnych odpowiednio $t_p = 3,51 \text{ s}$ i $t_o = 3,7 \text{ s}$.

Na rys. 7 przedstawiono przebiegi ciśnienia dla układu, w którym umieszczono dławik ograniczający przepływ oleju, symulując w ten sposób zanieczyszczenie filtra oleju w układzie hydraulicznym.



Rys. 6. Przebieg ciśnienia w funkcji czasu (punkt pomiarowy A), dla układu z błędnie wyregulowanym zaworem bezpieczeństwa $p_{ZB} \approx 11,35 \text{ MPa}$

Z analizy rys. 7 wynika iż, zanieczyszczenie to kilkukrotnie wydłuża czas podnoszenia zespołu żniwnego $t_p = 19,64 \text{ s}$. Ten stan niezdatności powoduje ponadto, wzrost ciśnienia w kolektorze tłocznym ponadto, do wartości około 14 MPa, bliskiej ciśnieniu otwarcia zaworu bezpieczeństwa.



Rys. 7. Przebieg ciśnienia w funkcji czasu (punkt pomiarowy A), dla układu w którym umieszczono dławik ograniczający przepływ oleju, symulując zanieczyszczenie filtra oleju

Przeprowadzona analiza potwierdziła poprawność funkcjonowania prezentowanego algorytmu jednocześnie potwierdzając, ustalone relacje diagnostyczne pozyskane na drodze eksperymentalnej.

6. PODSUMOWANIE

Prezentowana metoda diagnozowania podukładu hydraulicznego sterowania funkcjonowaniem zespołu żniwnego kombajnu serii Bizon pozwala na dynamiczną identyfikację takich stanów niezdatności jak: błędna regulacja bądź uszkodzenie zaworu bezpieczeństwa, stanu pompy oleju, luźnych

байдз занечышчэных длавікоў у układzie hydraulicznym, стану rozdzielaczy hydraulicznych czy akumulatora hydraulicznego.

Badania weryfikacyjne potwierdziły słuszność ustalonych relacji diagnostycznych, pomiędzy przebiegiem ciśnienia w funkcji czasu, a stanem podukładu hydraulicznego sterowania zespołem zniwnym.

Prezentowane urządzenie, można traktować jako półautomatyczne, zewnętrzne urządzenie diagnostyczne, przyłączane do obiektu w chwili badania i oceny jego stanu.

Badania dynamiki układu dotyczą przebiegów przejściowych. Należy jednak podkreślić, że w większości przypadków w dużych maszynach roboczych funkcjonujących przede wszystkim przy zmiennym obciążeniu trudno wyróżnić fazę ruchu ustalonego. Ponieważ znajdują się one w stanie ciągłego procesu dynamicznego (zmian obciążenia siłowników zespołu zniwnego od siły bezwładności hedera w wyniku przejazdu przez poprzeczny uskok pola czy zmiana masy zboża obciążająca zespół zniwny, itp.).

Prezentowana metoda diagnozowania jest ponadto metodą „ekologiczną” tzn. pozwala na szybką i pewną ocenę stanu technicznego poszczególnych obwodów bądź elementów układu hydraulicznego bez potrzeby ich demontażu. Konieczne jest tu jedynie uzbrojenie układu w czujniki pomiarowe. Ten sposób podejścia do diagnozowania ogranicza w znacznym stopniu, możliwość zanieczyszczenia środowiska naturalnego olejem hydraulicznym. Odgrywa to szczególną rolę w przypadku maszyn rolniczych w których lokalizacja ewentualnego stanu niezdatności i jego naprawa, odbywa się najczęściej w warunkach polowych.

LITERATURA

- [1] Instrukcja napraw: *Kombajn Z058 Bizon-Rekord*, Wydawnictwo Przemysłu Maszynowego, WEMA, Warszawa, 1985.
- [2] Kollek W., Palczak E.: *Badania dynamiczne mechanizmów roboczych maszyn i urządzeń*. Prace naukowe Instytutu Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej. Nr 78/1995.
- [3] Michalski R.: *Diagnostic models of hydraulic systems in agricultural and construction machines*. Transactions of the Institute of Fluid-Flow Machinery No. 110, 2002.
- [4] Rychlik A., Wierzbicki S.: *Budowa Hybrydowego Systemu Ekspertowego wspomagającego diagnozowanie kombajnu do zbioru zbóż Bizon Z058*. Diagnostyka 33.
- [5] Rychlik A.: *Wykorzystanie Hybrydowego Systemu Ekspertowego w diagnostyce wybranych maszyn samojezdnych*. Rozprawa doktorska. Politechnika Warszawska, Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii. Płock, 2005.

- [6] Informacja prasowa. *System CAN, nowe możliwości w świecie samojezdnych maszyn roboczych*. Przegląd Mechaniczny 7-8/2003.



Dr inż. Arkadiusz RYCHLIK absolwent Wydziału Mechanicznego ART w Olsztynie. Obecnie jest adiunktem w Katedrze Budowy, Eksploatacji Pojazdów i Maszyn na Wydziale Nauk Technicznych, UWM w Olsztynie. Jest

kierownikiem Laboratorium Dydaktyczno Usługowego Diagnostyki Pojazdów. W pracy zajmuje się zagadnieniami eksploatacji i diagnostyki pojazdów i maszyn.