

WYBRANE PROBLEMY DIAGNOZOWANIA AUTOMATYCZNYCH SKRZYŃ BIEGÓW (ASB)

TADEUSZ DZIUBAK¹, PAWEŁ SZCZEPANIAK²

Wojskowa Akademia Techniczna

Streszczenie

W artykule przedstawiono problematykę diagnozowania współczesnych automatycznych skrzyń biegów (ASB). Dokonano przeglądu metod diagnozowania ASB i ich oceny. Wskazano układy i elementy podlegające przyspieszonemu zużyciu eksploatacyjnemu. Przeanalizowano przyczyny uszkodzeń ASB oraz podano ich skutki. Przedstawiono specjalnie zaprojektowane i wykonane oryginalnie konstrukcyjnie urządzenie diagnostyczne do diagnozowania ASB na podstawie sygnałów z układu hydraulicznego sterowania przekładnią. Przedstawiono przykładowe wyniki badań diagnostycznych wraz z ich analizą.

Słowa kluczowe: automatyczne skrzynie biegów (ASB), diagnostyka ASB, układ hydrauliczny, sterowanie przekładnią automatyczną

1. Wstęp

Współczesna automatyczna skrzynia biegów (ASB) jest zespołem skomplikowanym w budowie, wymagającym właściwego użytkowania i specjalistycznego obsługiwanie. Z praktyki warsztatowej wynika również, że ASB ulegają uszkodzeniom, zwłaszcza w pojazdach z silnikami o dużej mocy i momencie obrotowym. Ze względu na stopień złożoności konstrukcji przekładnia automatyczna jest zespołem o małej podatności diagnostycznej.

Diagnostyka techniczna jest zorganizowanym zbiorem metod i środków do oceny stanu technicznego obiektu, który jest definiowany w kategoriach jakości i bezpieczeństwa jego działania poprzez wektor miar bezpośrednich lub pośrednich. Miary bezpośrednie stanu technicznego obiektów mechanicznych, które określa się jako cechy stanu obiektu to np.: wymiary geometryczne elementów współpracujących, trajektorie organów roboczych, charakterystyki wyężenia materiału. Miary pośrednie stanu technicznego, które odzwierciedlają zaawansowanie zużycia czy jakość funkcjonowania obiektu, noszą nazwę

¹ Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego w Warszawie, Wydział Mechaniczny; 00-908 Warszawa; ul. Generała Sylwestra Kaliskiego 2, e-mail: tadeusz.dziubak@wat.edu.pl, tel: 261 83 71 21

² Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego w Warszawie, Wydział Mechaniczny; 00-908 Warszawa; ul. Generała Sylwestra Kaliskiego 2, e-mail: pawel.szczepaniak@wat.edu.pl

symptomów, czyli wielkości mierzalnych, odpowiadających cechom stanu technicznego. Symptomy są miarami sygnałów diagnostycznych i wyznaczane są na podstawie badań procesów roboczych i towarzyszących obiektu technicznego. Symptom można uznać za sygnał (parametr) diagnostyczny stanu technicznego jeśli zostaną spełnione warunki [5, 18]:

- jednoznaczności – każdej wartości cechy stanu odpowiada tylko jedna wartość parametru wyjściowego,
- dostatecznej szerokości pola zmian – możliwa jest duża zmiana wartości parametru wyjściowego dla danej zmiany cechy stanu,
- dostępności, który mówi o łatwości mierzenia sygnału.

Bardzo częstym błędem popełnianym w procesie naprawy ASB jest usuwanie skutków niesprawności (wymiana uszkodzonych części), a nie eliminowanie ich przyczyny. Nie wszystkie dotychczasowe metody stosowane w procesie diagnozowania ASB umożliwiają uzyskiwanie przydatnych wyników badań, zwłaszcza w zakresie oceny stanu technicznego układu hydraulicznego sterowania.

Skutkiem takiej sytuacji jest zwykle analogiczne uszkodzenie elementów ASB w krótkim czasie eksploatacji po wykonanej naprawie. W niniejszej publikacji przedstawiono podstawowe metody wykorzystywane w diagnozowaniu przekładni automatycznych oraz zaprezentowano oryginalną metodykę i urządzenie do oceny stanu technicznego ASB na podstawie sygnałów układu hydraulicznego sterowania przekładnią. Badania polegają na pomiarze ciśnienia głównego p_g w układzie hydraulicznym oraz ciśnienie p_k w konwertorze w czasie próby drogowej.

2. Metody diagnozowania automatycznych skrzyń biegów

Zespół automatycznej skrzyni biegów (ASB) składa się z kilku podzespołów, z których każdy ma bardzo złożoną budowę. Powodzenie procesu diagnozowania zależy w dużym stopniu od przyjętych metod diagnostycznych. Nośnikiem informacji diagnostycznej o aktualnym stanie technicznym zespołu ASB jest sygnał w postaci ciśnienia

w układzie hydraulicznego sterowania. Znane, podstawowe metody badania diagnostycznego automatycznej skrzyni biegów obejmują zwykle [1-4,10,12-15,17]:

- wzrokową ocenę wycieków płynu ATF z zespołu ASB,
- ocenę rodzaju i stopnia zanieczyszczenia płynu ATF,
- sprawdzenie poziomu płynu ATF w przekładni,
- komputerową diagnostykę stacjonarną,
- pomiar i ocenę wartości ciśnienia płynu ATF w punktach diagnostycznych układu hydraulicznego

w warunkach określonych w instrukcji,

- pomiar i ocenę wartości czasu zwłoki (Time Lag Test) pomiędzy wybranymi programami działania ASB,

- próbę przeciążeniową (Stall Test),
- próby drogowe polegające na ogólnym sprawdzeniu funkcjonowania.

Realizując proces diagnozowania należy pamiętać o zakłóceniach powodujących błędy diagnozy. W przypadku diagnozowania zespołu ASB czynnikiem powodującym błędy diagnozy jest przede wszystkim niesprawność silnika i jego osprzętu. Istniejące metody diagnostyczne obarczone są wieloma ograniczeniami.

Ocena wycieków pozwala wstępnie wnioskować o stanie technicznym zespołu ASB jednak w subiektywny sposób. Zgodnie z założeniami projektowymi i warunkami technicznymi koniecznymi do spełnienia przez pojazd podczas okresowych badań technicznych niedopuszczalne są jakiegokolwiek wycieki płynu ATF na zewnątrz zespołu, a ich wystąpienie kwalifikuje przekładnię automatyczną do naprawy.

Ocena rodzaju i stopnia zanieczyszczenia płynu ATF w praktyce obejmuje:

- badanie zawartości wody (jako składnika płynu chłodniczego) w płynie ATF metodą oddzielania bezwładnościowego, za pomocą urządzenia warsztatowego (nie powinna przekraczać 0,05 % objętości) [13],
- badanie zawartości glikolu etylenowego (składnik płynu chłodniczego) w płynie ATF metodą chemiczną,
- wzrokową ocenę zanieczyszczenia filtrów energetycznych w zbiorniku płynu ATF metalicznymi (żelaznymi) produktami zużycia,
- wzrokową ocenę stopnia zanieczyszczenia przegrody filtra układu hydraulicznego sterowania produktami zużycia elementów ASB,
- określenie stopnia zanieczyszczenia za pomocą testera jednorazowego (przesączenie kilku kropli płynu ATF przez specjalną bibułę i porównanie ze wzorcem).

Poziom płynu ATF, zmieniający się w przekładni w czasie okresu użytkowania, może być cennym źródłem praktycznej informacji diagnostycznej. Nieprawidłowy poziom płynu ATF przed przystąpieniem do badań diagnostycznych musi być uzupełniony. Znaczne ubytki płynu ATF w przekładni (w przypadku braku wycieków na zewnątrz) mogą świadczyć o nadmiernych poślizgach sprzęgieł i hamulców wielotarczowych mokrych, w wyniku których dochodzi do spalania płynu ATF. Natomiast zwiększający się poziom płynu ATF może być spowodowany przedostawaniem się płynu chłodniczego do układu hydraulicznego ASB. Ilość, rodzaj produktów zużycia części oraz wielkość ziaren zanieczyszczeń w płynie hydraulicznym są sygnałami diagnostycznymi o stanie technicznym układu hydraulicznego sterowania [16].

Komputerowa diagnostyka stacjonarna jest bardzo pomocna w procesie diagnostycznym współczesnych automatycznych skrzyń biegów (ASB), ale również ma ograniczenia. Skuteczność procesu diagnostycznego (a więc jakość i trafność diagnozy) w dużym stopniu zależy od stopnia rozbudowania układów badanego zespołu. Wyposażenie układu sterowania w dodatkowe czujniki pomiarowe pozwala na pozyskanie informacji diagnostycznej. Na podstawie zmierzonych różnic prędkości obrotowych elementów wirujących, układ może generować informację diagnostyczną o nadmiernym poślizgu sprzęgieł. Sygnałem diagnostycznym może być temperatura

płynu ATF w układzie hydraulicznym przekładni. Przekroczenie wartości temperatury eksploatacyjnej płynu świadczy o niesprawności zespołu, aczkolwiek nie pozwala w sposób jednoznaczny określić przyczyny jej występowania. Ponadto współczesne sterowniki ASB wyposażone są w układy do diagnostyki, które umożliwiają monitorowanie parametrów elektrycznych: np. oporności uzwojenia cewki elektromagnetycznego zaworu sterującego – za pomocą diagnostopu można precyzyjnie zlokalizować źródło niesprawności.

Wartości ciśnienia płynu ATF w punktach diagnostycznych układu hydraulicznego (określone w czasie eksploatacji) pozwalają wnioskować o ogólnym stanie technicznym zespołu ASB, a szczególnie elementów układu hydraulicznego. Jakość diagnozy zależy w dużym stopniu od liczby punktów diagnostycznych. Pomiar ciśnienia w danej sekcji układu hydraulicznego, która bierze udział w realizacji konkretnego przełożenia, pozwala trafniej zlokalizować niesprawność. Wartość ciśnienia płynu ATF w układzie hydraulicznym w danym stanie pracy zależy od stopnia zużycia pompy hydraulicznej, przecieków wewnętrznych elementów układu, stopnia zanieczyszczenia przegrody filtra układu hydraulicznego. Obniżenie wartości ciśnienia płynu ATF w pewnych warunkach ruchu pojazdu powoduje proporcjonalne zmniejszenie siły nacisku tłoka działającego na sprzęgło lub hamulec wielotarczowy realizujący dane przełożenie, co wiąże się z nadmiernym poślizgiem. Skutkiem zwiększonego poślizgu jest „spalenie” oraz łuszczenie materiału okładzin ciernych sprzęgła, a nawet ich zgrzanie. W miarę wzrostu poślizgu rośnie lokalnie temperatura płynu ATF w obszarze tarcia, powodując jego nadmierne utlenianie. Ponadto duże różnice prędkości pomiędzy powierzchniami ciernymi intensyfikują proces ścinania płynu ATF. Zmiany właściwości fizykochemicznych płynu ATF i jego zanieczyszczenie powodują nieprawidłowości w pracy układu hydraulicznego. Nieprawidłowości te są skutkiem nadmiernych przecieków wewnętrznych (deficytu wartości ciśnienia płynu ATF w danych warunkach pracy). Natomiast cząstki zanieczyszczeń o wymiarach zbliżonych do wielkości luzów w hydraulicznych parach precyzyjnych elektrohydraulicznego układu sterowania powodują blokowanie suwaków zaworów rozdzielczych oraz rysowanie powierzchni tulei. Skutkiem tego jest nieprawidłowe działanie oraz przyspieszone zużycie hydraulicznych zaworów rozdzielczych.

Próba przeciążeniowa (*Stall Test*) pozwala przede wszystkim zweryfikować stan techniczny przekładni hydrokinetycznej (konwertora). Próbę tę wykonuje się przy pracującym silniku, wciśniętym pedale hamulca roboczego i pozycji dźwigni selektora trybu jazdy w pozycji „D”.

W próbie tej ocenia się uzyskaną maksymalną prędkość obrotową silnika (odczytuje z obrotomierza wchodzącego w skład zestawu wskaźników tablicy rozdzielczej) i porównuje z danymi zawartymi w instrukcji warsztatowej. Jeśli uzyskana prędkość obrotowa będzie miała większą wartość niż podana w instrukcji (np. 2100 ± 150 obr./min) oznacza to nadmierne zużycie przekładni automatycznej (poślizg), jeśli wartość będzie za niska to oznacza niesprawność silnika napędowego pojazdu (uzyskuje zbyt małą moc) [10]. Próba ta nie powinna trwać dłużej niż kilka sekund, gdyż w czasie jej trwania dochodzi do nagłego wzrostu temperatury płynu ATF. W przypadku znacznego stopnia zużycia przekładni automatycznej powyższa próba może skutkować całkowitym jej zniszczeniem – uszkodzeniem większej ilości elementów i wzrostem kosztów ewentualnej naprawy.

Pomiar wartości czasu zwłoki (*Time Lag Test*) pomiędzy przełączeniami programów działania automatycznej skrzyni biegów określa pośrednio stan techniczny elementów układu hydraulicznego. Przesłanie dźwigni selektora skutkuje wystąpieniem ciśnienia płynu ATF innej sekcji układu hydraulicznego. Przykładowo dla sprawnej skrzyni biegów czas zwłoki załączenia przy zmianie położenia dźwigni selektora z pozycji „Neutral” na „Drive” powinien być nie dłuższy niż 1,2 s, z „Neutral” na „Reverse” nie dłuższy niż 1,5 s. Jeśli wartość czasu jest większa niż podana w instrukcji napraw, oznacza to nadmierne zużycie układu hydraulicznego skrzyni biegów [15].

Próba drogowa jest metodą sprawdzenia funkcjonowania ASB w czasie jej użytkowania. Dzięki niej ocenia się płynność zmiany przełożeń (szarpnięcia), hałas, występowanie odczuwalnego, nadmiernego poślizgu. Metoda ta wymaga bardzo dużego doświadczenia diagnosty i mimo to daje subiektywny obraz stanu technicznego przedmiotu diagnozy.

3. Uszkodzenia elementów i układów ASB

Elementami budowy automatycznej skrzyni biegów, które podlegają intensywnemu zużyciu eksploatacyjnemu są [7]:

- konwertor (przekładnia hydrokinetyczna),
- pompa hydrauliczna,
- uszczelnienia układu hydraulicznego,
- połączenia cierne (sprzęgła i hamulce wielotarczowe),
- przekładnie planetarne i ich łożyskowanie,
- sterownik elektrohydrauliczny.

W automatycznych skrzyniach biegów (ASB) uszkodzeniom bardzo często ulegają połączenia cierne (sprzęgła i hamulce wielotarczowe mokre). Najistotniejszym czynnikiem prowadzącym do uszkodzeń jest przeciążenie termiczne, które może być również skutkiem spadku lepkości płynu ATF. Przeciążenie termiczne może być spowodowane [6]:

- zbyt gwałtownym narastaniem siły tarcia pomiędzy powierzchniami roboczymi sprzęgieł i hamulców (szarpanie podczas zmiany przełożenia),
- zbyt wolnym narastaniem siły tarcia pomiędzy powierzchniami roboczymi sprzęgieł i hamulców (nadmierny poślizg podczas zmiany przełożenia),
- zbyt małą siłą na siłowniku hydraulicznym skutkującą zbyt małą wartością siły tarcia pomiędzy powierzchniami roboczymi sprzęgieł i hamulców (nadmierne ślizganie),
- przekroczeniem dopuszczalnej wartości temperatury płynu ATF (zbyt wolne odprowadzanie ciepła ze skojarzenia ciernego).

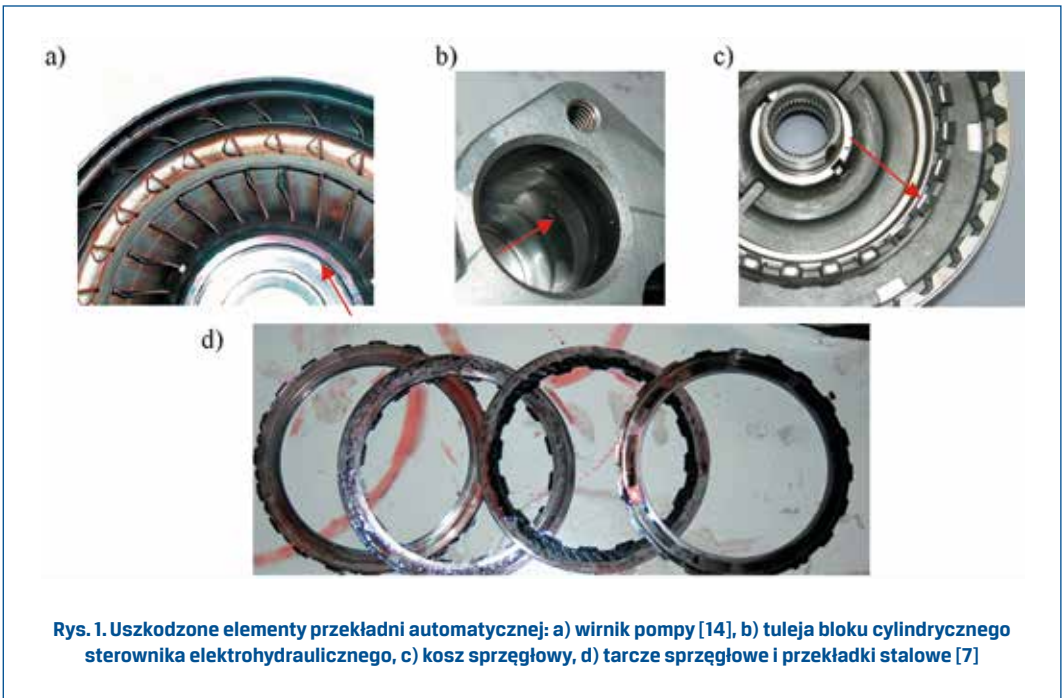
Potencjalną przyczyną zaburzeń przebiegu siły tarcia w skojarzeniach hamulców i sprzęgieł wielotarczowych mogą być nieprawidłowości w przebiegach procesów

roboczych w układzie hydraulicznego sterowania przekładnią. Uszkodzenie skojarzeń ciernych z reguły jest skutkiem zaburzeń procesów w układzie hydraulicznym. Przebieg siły tarcia w dużej mierze zależy od charakterystyki narastania siły na tłoku dociskowym siłownika oraz od jej końcowej wartości. Na przebiegi procesów roboczych w układzie hydraulicznym przekładni automatycznej ma wpływ:

- poprawność pracy hydraulicznych zaworów rozdzielczych,
- szczelność wewnętrzna układu,
- stan techniczny źródła energii hydraulicznej.

Na poprawność pracy hydraulicznych zaworów rozdzielczych istotny wpływ mają warunki pracy ich hydraulicznych par precyzyjnych, głównie stopień i charakterystyka zanieczyszczenia płynu ATF. Na szczelność wewnętrzną układu wpływa stopień zużycia i degradacji wszelkich uszczelnień pracujących pod ciśnieniem oraz lepkość płynu ATF. Bardzo istotny wpływ na przebieg procesów roboczych w układzie hydraulicznym przekładni ma stan techniczny pompy – zapewnienie nadatku strumienia płynu ATF na określonym poziomie oraz zdolność wytworzenia ciśnienia.

Przykładowe uszkodzenia elementów ASB przedstawiono na rys. 1.



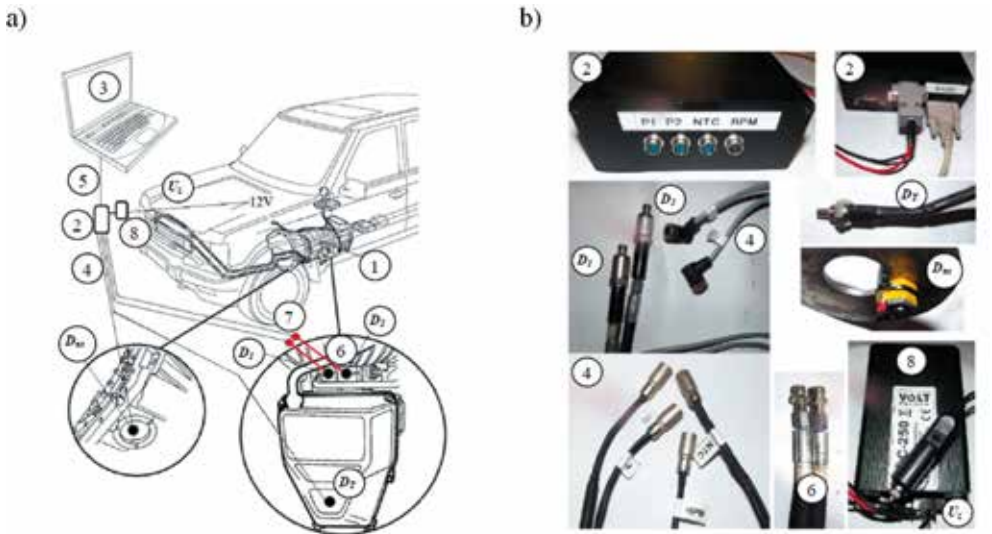
Na rysunku 1a przedstawiono uszkodzenia łopatek wirnika pompy konwertora. Przyczyną uszkodzenia było najprawdopodobniej oddziaływanie na łopatki zanieczyszczeń płynu ATF w postaci opiłków metalu [14]. Na rysunku 1b przedstawiono zużytą powierzchnię cylindryczną tulei w bloku sterownika elektrohydraulicznego współpracującą z tłoczkiem tłumika hydraulicznego. Rysunek 1c przedstawia mechaniczne uszkodzenie połączenia kształtowego kosza sprzęgłowego, które jest skutkiem załączenia dwóch przełożeń jednocześnie. Na rysunku 1d przedstawiono uszkodzone elementy cierne sprzęgła wielotarczowego. Uszkodzeniu uległy okładziny cierne, które wykonywane są metodą prasowania i klejenia warstw celulozy oraz włókna aramidowego (grubość jednej okładziny wynosi około 0,5 mm) z blachą stalową (grubość blachy tarczy nośnej wynosi około 0,8 mm) [11].

4. Badania sygnałów diagnostycznych układu hydraulicznego sterowania

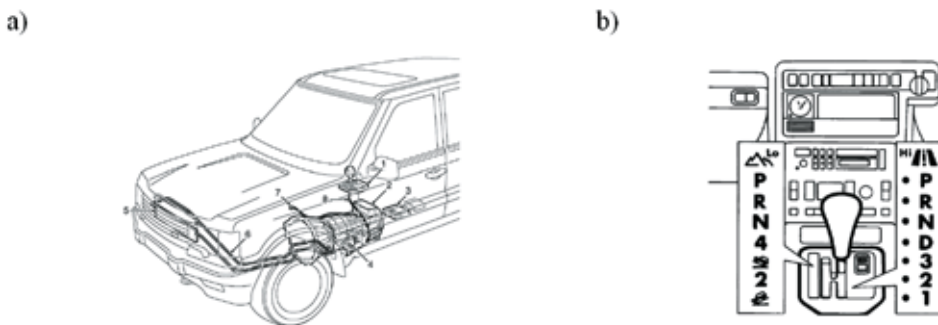
Ze względu na podobieństwo funkcjonalne i konstrukcyjne układów hydraulicznych przekładni automatycznych i maszyn roboczych zakres oraz metody diagnozowania są również podobne. Stąd wynika możliwość adaptowania metod diagnostycznych i przyrządów stosowanych w diagnostyce układów hydraulicznych maszyn roboczych (budowlanych, inżynieryjnych, rolniczych) do diagnozowania tych układów w pojazdach samochodowych [13].

Badania drogowe zespołu automatycznej skrzyni biegów wykonano stosując oryginalne konstrukcyjnie urządzenia diagnostycznego (rys. 2), w którego skład wchodzi: przetworniki ciśnienia, czujnik temperatury płynu, przewody sygnałowe, rejestrator sygnałów, przenośny komputer klasy PC. Podczas badań rejestrowano się za pomocą czujników piezoelektrycznych wartości ciśnienia płynu ATF w punktach diagnostycznych D_1 i D_2 układu hydraulicznego ASB. Prędkość obrotowa silnika n_s mierzono za pomocą czujnika tachometrycznego, zamontowanego w punkcie D_{ns} . Czujnik temperatury płynu zamontowano w korku spustu płynu hydraulicznego w punkcie diagnostycznym D_r . Sygnały analogowe zbierane są z przetworników do rejestratora (2) przewodami sygnałowymi (4). Interfejs urządzenia zainstalowany jest w komputerze przenośnym klasy PC, który jest połączony z rejestratorem przewodem o standardzie RS232 z adapterem Usb (5).

Badaniom diagnostycznym podlegał układ hydraulicznego sterowania (rys. 4) zespołu automatycznej skrzyni biegów ZF4HP-24 (rys. 3) samochodu Land Rover RR P38A, produkowanego w latach 1995÷2002.



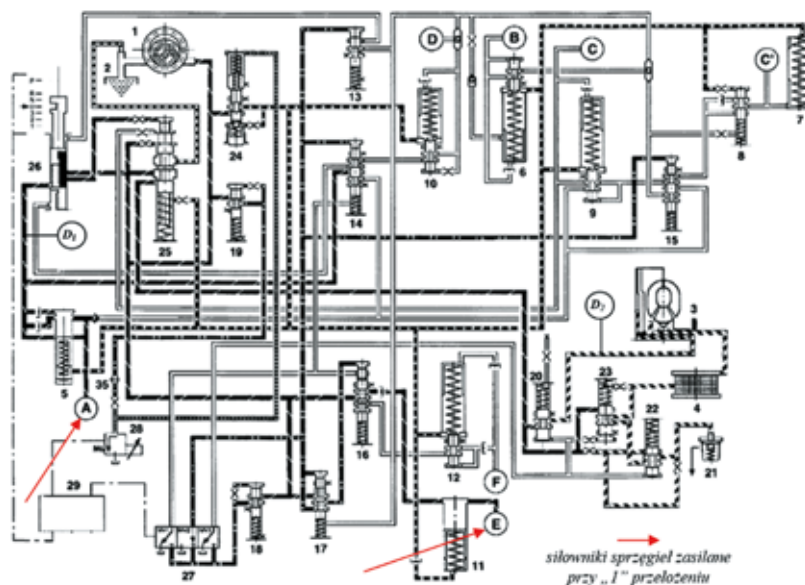
Rys. 2. Urządzenie diagnostyczne: a) schemat połączeń układu pomiarowego: 1 - ASB ZF4HP-24, 2 - rejestrator sygnałów, 3 - komputer przenośny klasy PC, 4 - przewody sygnałowe, 5 - przewód łączący rejestrator z komputerem, 6 - hydrauliczne przewody tłumiące, 7 - przetworniki ciśnienia, 8 - przetwornica 12/24 V, D_1 - punkt diagnostyczny rejestracji ciśnienia głównego zasilania p_g ; D_2 - punkt diagnostyczny rejestracji ciśnienia p_k w konwertorze, D_7 - punkt pomiaru temperatury T płynu ATF, D_{ns} - punkt diagnostyczny rejestracji prędkości obrotowej silnika n ; U_z - układ zasilający rejestrator 12/24V z gniazda zapalniczki, b) widok elementów układu pomiarowego



Rys. 3. Zespół ASB ZF4HP-24: a) rozmieszczenie elementów zespołu ASB, b) selektor trybu jazdy typu „H”: 1 - wybierak selektora trybu jazdy, 2 - automatyczna skrzynia biegów ZF4HP-24, 3 - sterownik elektroniczny skrzyni biegów (EAT), 4 - przełącznik trybów jazdy, 5 - chłodnica płynu ATF, 6 - przewody chłodnicy płynu ATF, 7 - przewód odpowietrzający skrzynię biegów, 8 - cięgło elastyczne selektora [12]

Głównym elementem układu hydraulicznego sterowania przekładnią jest sterownik elektrohydrauliczny, który jest zbudowany z kilkudziesięciu suwakowych zaworów rozdzielczych umieszczonych w korpusie wykonanym ze stopu aluminium. Suwaki są sterowane ciśnieniem i strumieniem płynu ATF. W zależności od funkcji, jakie pełnią mają określone

położenia: skrajne lub pośrednie. Kanaliki zaworów rozdzielczych połączone są odpowiednio kanałami płynowymi (drogami przepływu) zaznaczonymi na schemacie (rys. 4). Ponadto w skład sterownika elektrohydraulicznego wchodzi zawory sterowane cewką elektromagnesu (27 – rys. 4). Elementy wykonawcze w układzie stanowią siłowniki hydrauliczne, przypisane do konkretnych sprzęgieł i hamulców wielotarczowych mokrych oznaczone literami A, B, C, C', D, E, F (rys. 4). Źródłem ciśnienia jest pompa zębata o ząbieniu wewnętrznym.



Rys. 4. Schemat układu hydraulicznego sterowania ASB ZF4HP-24 oraz elementy sterownika elektrohydraulicznego wraz z drogami przepływu płynu ATF przy położeniu dźwigni selektora w pozycji „D” i realizacji przełożenia „1”: 1 – pompa hydrauliczna, 2 – filtr hydrauliczny, 3 – konwertor, 4 – chłodnica płynu ATF. Sterownik elektrohydrauliczny: 5 – tłumik hydrauliczny sprzęgła „A”, 6 – suwakowy zawór rozdzielczy sprzęgła „B” z tłumikiem hydraulicznym, 7 – tłumik hydrauliczny hamulca „C”, 8 – suwakowy zawór rozdzielczy hamulca „C” z tłumikiem hydraulicznym, 9 – suwakowy zawór rozdzielczy hamulca „C” z tłumikiem hydraulicznym, 10 – suwakowy zawór rozdzielczy hamulca „D” z tłumikiem hydraulicznym, 11 – tłumik hydrauliczny sprzęgła „E”, 12 – suwakowy zawór rozdzielczy hamulca „F” z tłumikiem hydraulicznym, 13 – suwakowy zawór rozdzielczy biegu wstecznego, 14, (15), (16) – suwakowy zawór rozdzielczy zmiany przełożenia 1↔2 (2↔3) (3↔4), 17 – suwakowy zawór rozdzielczy funkcji „Kick - down”, 18, 19 – suwakowy zawór rozdzielczy ciśnieniowy 1. (2.), 20 – suwakowy zawór rozdzielczy konwertora, 21 – zawór przelewowy układu smarowania, 22 – suwakowy zawór rozdzielczy sterujący ciśnieniem smarowania, 23 – zawór sterujący sprzęgłem „Lock - up”, 24 – zawór modulacji ciśnienia, 25 – suwakowy zawór rozdzielczy dystrybucji ciśnienia głównego, 26 – suwakowy zawór rozdzielczy wyboru trybu jazdy sterowany mechanicznie, 27 – zespół zaworów elektromagnetycznych dwupołożeniowych MV1/MV2/MV3, 28 – proporcjonalny zawór elektromagnetyczny MV4, 29 – sterownik EAT, D1 – punkt diagnostyczny pomiaru ciśnienia głównego zasilania p_g , D2 – punkt diagnostyczny pomiaru ciśnienia p_d w konwertorze

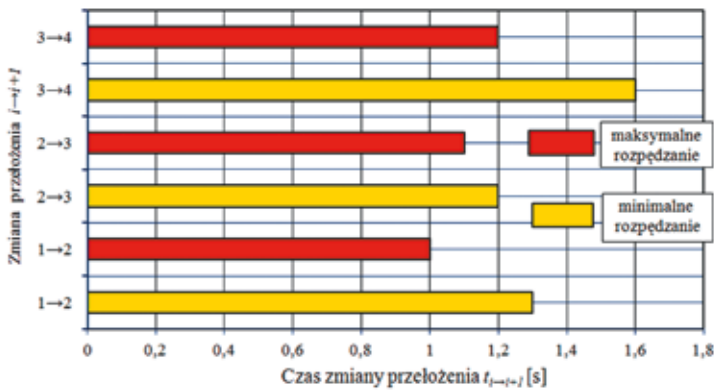
Badania diagnostyczne polegały na przeprowadzeniu prób trakcyjnych według opracowanych w tym celu metodyk:

- próba minimalnego rozpędzania samochodu,
- próba maksymalnego rozpędzania samochodu.

Podczas próby minimalnego rozpędzania samochód zwiększa prędkość jazdy od zera poprzez wszystkie możliwe kolejno realizowane przełożenia, w taki sposób aby prędkość obrotowa silnika n_s na żadnym z przełożeń nie przekroczyła 2500 obr./min. Mierzonymi wielkościami jest ciśnienie główne p_g w układzie hydraulicznym oraz ciśnienie p_k w konwertorze, rejestrowane w czasie t_d próby drogowej (t_d – odcinek czasu z całej próby, w którym analizujemy sygnał). Podczas tej próby rejestracji podlega również prędkość obrotowa silnika $n_{s(p)}$ (wirnika pompy hydraulicznej). Ponadto na podstawie przebiegu zmian prędkości obrotowej silnika w czasie próby $n_{s(p)} = f(t_d)$ oceniany jest czas zmiany poszczególnych przełożeń $t_{i \rightarrow i+1}$.

Przebiegi zmian ciśnienia w układzie hydraulicznym przekładni automatycznej podczas próby minimalnego rozpędzania samochodu przedstawiono na rys. 5. Ciśnienie główne p_g przyjmuje większe wartości niż ciśnienie p_k w konwertorze. Gwałtowny wzrost ciśnienia głównego i w konwertorze obserwujemy w chwili rozpoczęcia przyspieszania, co jest związane z nagłym wzrostem obciążenia przekładni automatycznej. Ciśnienie główne osiągnęło maksymalną wartość $p_g = 787$ kPa, po czym jego wartość zmniejszyła się na chwilę przed zmianą przełożenia z pierwszego „1.” na drugie „2.”. Uzyskana najwyższa wartość ciśnienia podczas jazdy na drugim „2.” przełożeniu wyniosła $p_g = 675$ kPa, na trzecim „3.” przełożeniu $p_g = 736$ kPa, na czwartym „4.” przełożeniu $p_g = 681$ kPa. Odpowiednia wartość ciśnienia głównego p_g w danej sekcji siłownika hydraulicznego jest konieczna do uzyskania odpowiedniej wartości siły na tłoku dociskowym sprzęgła lub hamulca wielotarczowego mokrego. Zbyt mała wartość siły spowoduje nadmierny poślizg tarcz ciernych, przegrzanie i w efekcie uszkodzenie okładzin (przykład: rys. 1d), natomiast zbyt duża wartość siły spowoduje zbyt mały poślizg w początkowym etapie sprzęgania, co może doprowadzić do mechanicznego uszkodzenia elementów przekładni (zerwanie okładzin, rozerwanie koszy sprzęgłowych). Zbyt mała wartość ciśnienia w układzie hydraulicznego sterowania wynika głównie ze zużywania eksploatacyjnego i starzenia elementów uszczelniających, natomiast zbyt wysoka wartość ciśnienia jest wynikiem nieprawidłowego działania elementów sterujących (uszkodzenia, zablokowanie lub zanieczyszczenie zaworów). Wartość maksymalna ciśnienia głównego p_g jest informacją, że w chwili jego wystąpienia nastąpiło maksymalne obciążenie przekładni dla danych warunków pracy przekładni automatycznej. Wartość ciśnienia w p_k konwertorze jest informacją o stanie obciążenia przekładni hydrokinetycznej (im wyższe, tym moment obrotowy przenoszony z pompy na turbinę większy, co do wartości). Przydatność diagnostyczna tego sygnału jest natomiast inna – jeśli wartość ciśnienia nagle obniża się z wartości rzędu 500÷600 kPa do 0, oznacza to załączenie sprzęgła ciernego „Lock – up” w konwertorze. Istotną informacją diagnostyczną jest czy dochodzi do załączenia sprzęgła „Lock – up” i na jakim realizowanym przełożeniu. Ponadto sprawdzenie części układu hydraulicznego sterowania odpowiedzialnego za załączenie sprzęgła „Lock – up” polega na sprawdzeniu czy podczas jazdy eksploatacyjnej nie dochodzi do nieprawidłowego i niekontrolowanego jego wyłączenia (na wykresie byłoby to widoczne ponownym wzrostem ciśnienia do wartości

wartości dopuszczalnych, a uzyskana siła na tłoku dociskowym ma odpowiednią wartość – zgodnie założeniami projektowymi. Zwiększony względem nominalnej wartość czas zmiany przełożenia świadczył będzie o nadmiernym poślizgu w sprzęgle lub hamulcu, co będzie związane z niedostateczną wartością siły tarcia w skojarzeniu mimo odpowiedniej wartości siły nacisku wywieranej przez tłok dociskowy. Przyczyną takiego stanu rzeczy może być na przykład nadpalenie wierzchniej warstwy okładzin ciernych i zmiany w strukturze warstwy wierzchniej przekładek stalowych. Występuje wtedy lokalne przehartowania „hot-spots” zmniejszające współczynnik tarcia na styku powierzchni okładziny cierniej i przekładki stalowej. W dostępnej literaturze brakuje konkretnych informacji na temat wartości dopuszczalnych sygnału diagnostycznego w postaci czasu zmiany przełożeń w danych warunkach pracy przekładni automatycznej. Są natomiast nieliczne informacje na temat pomiaru czasu zmiany przełożeń i możliwym zaimplementowaniu tego sygnału w diagnostyce ASB.



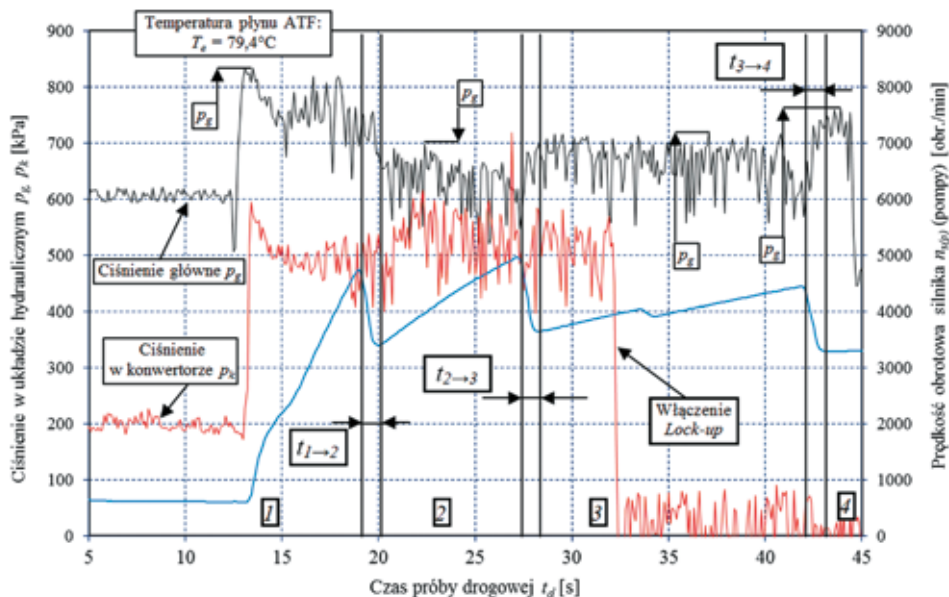
Rys. 6. Wartości czasu zmian przełożeń $t_{i \rightarrow i+1}$ podczas prób minimalnego i maksymalnego rozpedzania

Podczas próby maksymalnego rozpedzania samochód zwiększa prędkość jazdy od zera poprzez wszystkie możliwe kolejno realizowane przełożenia, przy pełnym wciśnięciu pedału przyspieszenia (maksymalnym otwarciu przepustnicy silnika o ZI, maksymalna dawce paliwa silnika o ZS) przez cały czas trwania próby, aż do osiągnięcia ostatniego przełożenia. Podczas tej próby rejestrowane są te same sygnały diagnostyczne, co podczas próby minimalnego rozpedzania.

Podczas próby maksymalnego rozpedzania samochodu można sprawdzić czy przekładnia automatyczna będzie funkcjonować poprawnie przy maksymalnych obciążeniach eksploatacyjnych oraz jakie wartości w tych warunkach przyjmują sygnały diagnostyczne. Próba maksymalnego rozpedzania ma być w pewnym sensie odzwierciedleniem próby przeciążeniowej „Stall testu”. Taki przebieg próby nie prowadzi natomiast do przegrzewania płynu hydraulicznego (ATF) i nie wprowadza nienaturalnych (innych niż eksploatacyjne) obciążeń przekładni automatycznej.

Wyniki rejestracji wartości ciśnienia p_g i p_k w układzie hydraulicznym i prędkości obrotowej $n_{s(p)}$ silnika (pompy) w czasie t_d próby maksymalnego rozpędzania samochodu przedstawiono na rys. 7. Wartość ciśnienia głównego p_g płynu hydraulicznego zależy od wartości prędkości obrotowej silnika (wirnika pompy hydraulicznej), obciążenia przekładni, występowania elektromagnetycznego zaworu regulacji ciśnienia (MV4), realizacji danego przełożenia –ysterowania odpowiedniej kombinacji zaworów dwupołożeniowych MV1 i MV2.

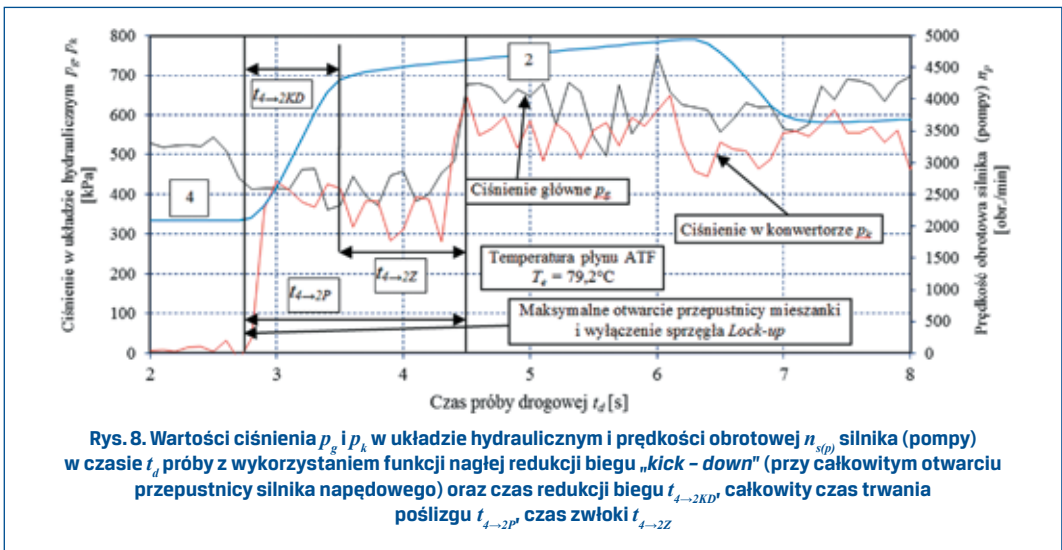
Maksymalna wartość ciśnienia głównego p_g w czasie tej próby i realizacji pierwszego „1.” przełożenia wyniosła $p_g = 835$ kPa, drugiego „2.” przełożenia $p_g = 700$ kPa, trzeciego „3.” przełożenia $p_g = 717$ kPa, czwartego „4.” przełożenia $p_g = 763$ kPa. Do postawienia diagnozy odnośnie stanu technicznego ASB niezbędne są wartości graniczne ciśnienia głównego p_g na poszczególnych przełożeniach dla konkretnego typu przekładni automatycznej, z którymi można by porównać otrzymane podczas prób wyniki. Warunki i program prób zarówno minimalnego jak i maksymalnego rozpędzania są autorskie. Jednym z celów dalszych badań autorów w zakresie diagnostyki układów hydraulicznego sterowania przekładni automatycznych jest opracowanie metody określania wartości granicznych ciśnienia głównego p_g na poszczególnych przełożeniach. Przydatność zmierzonej wartości ciśnienia p_k w konwertorze, jako sygnału diagnostycznego jest taka sama, jak w przypadku próby minimalnego rozpędzania – informacja o działaniu sprzęgła ciernego „Lock-up”. Można to stwierdzić nie znając dopuszczalnych wartości granicznych ciśnienia w konwertorze.



Rys. 7. Wartości ciśnienia p_g i p_k w układzie hydraulicznym i prędkości obrotowej $n_{s(p)}$ silnika (pompy) w czasie t_d próby maksymalnego rozpędzania samochodu (przy całkowitym otwarciu przepustnicy silnika napędowego) oraz czas zmiany przełożenia $t_{i \rightarrow i+1}$

Podczas próby z wykorzystaniem funkcji nagłej redukcji biegu „kick – down” pojazd był rozpędzony aż do załączenia ostatniego przełożenia – prędkość obrotowa silnika n_s była stała i nie przekraczała 2500 obr./min, wciśnięty maksymalnie pedał przyspieszenia, aż do chwili zredukowania biegów, co skutkowało nagłym zwiększeniem prędkości obrotowej silnika n_s do wartości dopuszczalnej (czerwone „pole” na tarczy obrotomierza).

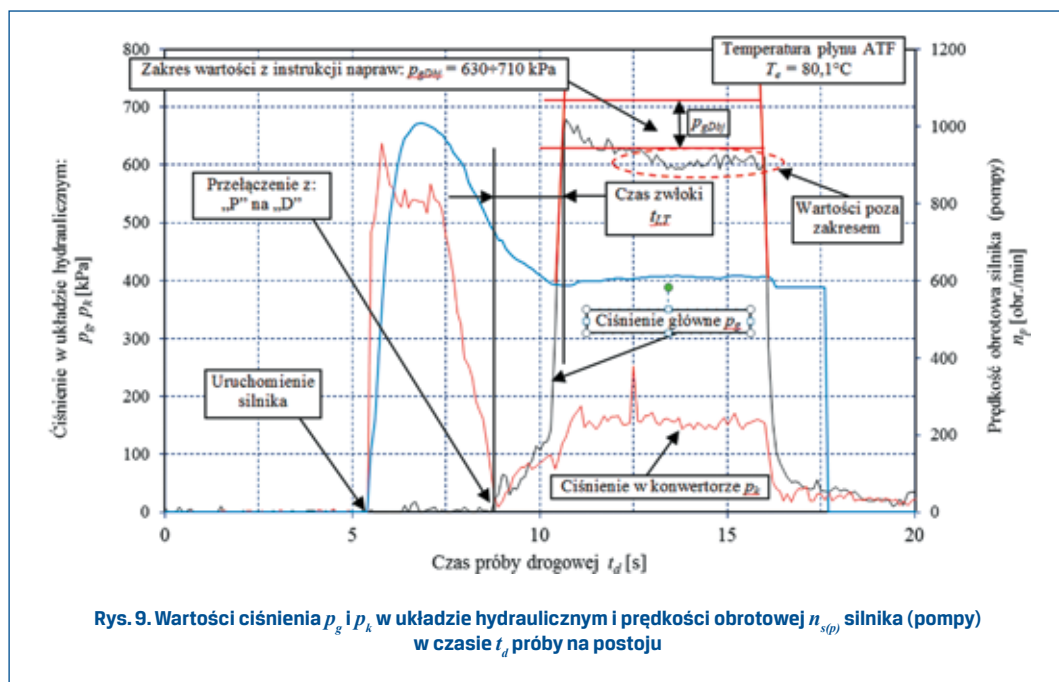
Na podstawie tej próby ocenia się wartości czasu redukowania biegów $t_{4 \rightarrow 2KD}$, oraz całkowity czas trwania poślizgu podczas tej próby $t_{4 \rightarrow 2P}$ (rys. 8). Badanie diagnostyczne umożliwia w sposób jednoznaczny sprawdzenie zadziałania funkcji „kick – down” – sygnałem diagnostycznym jest czas zmiany z czwartego „4.” przełożenia na „2.” $t_{4 \rightarrow 2KD}$ oraz całkowity czas trwania poślizgu $t_{4 \rightarrow 2P}$ dla realizacji tej funkcji przekładni automatycznej.



Podczas zadziałania funkcji „kick – down” (w chwili maksymalnego otwarcia przepustnicy) dla prawidłowego jej przebiegu konieczne jest wyłączenie przez sterownik elektrohydrauliczny sprzęgła „Lock-up” w konwertorze (w innym wypadku mogłoby dojść do jego zniszczenia), co skutkuje nagłym wzrostem ciśnienia p_k w chwili maksymalnego otwarcia przepustnicy mieszanki silnika od wartości 0 do wartości ciśnienia w danych warunkach pracy przekładni (rys. 8) – jest to prawidłowa reakcja układu. Gdy sterownik EAT wygeneruje sygnał dla cewki zaworu MV (MV3 zostaje zamknięty, MV1/2 otwarte, patrz rys. 4), która zmieni położenie elementu hydraulicznego zaworu elektrohydraulicznego, w związku z czym dojdzie do fizycznej zmiany przełożenia z czwartego „4.” na drugie „2.”, kontynuowana jest faza poślizgu sprzęgieł, gdyż wartość ciśnienia zasilania siłowników nie osiągnęła ostatecznej wartości dla realizacji danego przełożenia – jest to czas zwłoki $t_{4 \rightarrow 2Z}$. Zbyt długi czas tej fazy ($t_{4 \rightarrow 2Z}$) poślizgu może doprowadzić do uszkodzenia skojarzeń ciernych ze względu na lokalne przegrzania okładzin ciernych tarcz sprzęgieł mokrych. Na całkowity czas trwania poślizgu $t_{4 \rightarrow 2P}$ składa się czas zmiany z czwartego „4.” przełożenia na drugie „2.” $t_{4 \rightarrow 2KD}$ oraz czas zwłoki do osiągnięcia ostatecznej wartości ciśnienia głównego p_g dla realizacji danego przełożenia.

W ramach badań diagnostycznych przeprowadzono również próbę na postoju (rys. 9). Podczas tej próby silnik pojazdu pracuje z prędkością obrotową biegu jałowego (nie należy zmieniać położenia przepustnicy mieszanki silnika przez cały czas próby), pedał hamulca zasadniczego jest wciśnięta, a położenie dźwigni selektora jest w pozycji P. Badanie rozpoczyna się poprzez zmianę położenia dźwigni selektora z pozycji P na D, co skutkuje narastaniem ciśnienia głównego p_g . Czas narastania ciśnienia głównego p_g od 0 do wartości ciśnienia pracy jest czasem zwłoki t_{LT} pomiędzy przełączeniami programów działania (z programu P na D) automatycznej skrzyni biegów. Dla przedstawionego przykładu (rysunek 9) wartość czasu narastania ciśnienia głównego (czas zwłoki t_{LT}) wynosi 1,9 s.

W praktyce jest to czas napełnienia siłownika sprzęgła „A” i tłumika hydraulicznego „5” (rys. 4) przy prędkości obrotowej biegu jałowego silnika napędowego. Dla układu hydraulicznego sterowania badanej przekładni automatycznej w instrukcji obsługi nie podano wartości granicznej czasu zwłoki t_{LT} . Przedstawiony sygnał diagnostyczny: czas zwłoki t_{LT} , jest analogiczny do stosowanego powszechnie w diagnostyce przekładni automatycznej (*Time Lag Test*). Oryginalny technicznie jest natomiast sposób pomiaru, poprzez rejestrację przebiegu zmian wartości ciśnienia. Metoda ta eliminuje błąd pomiaru czasu za pomocą stopera, który przy tak krótkim czasie trwania zjawiska (około 2 sekundy) może mieć znaczne wartości. Ponadto podczas próby na postoju określa się wartość innego parametru diagnostycznego – wartości ciśnienia głównego p_g , gdy silnik pracuje z prędkością biegu jałowego, a położenie dźwigni selektora jest w pozycji *Drive*. Wartości graniczne dla tego parametru określa instrukcja serwisowa: $p_{gDby} = 630 \div 710$ kPa [10]. W przedstawionym przykładzie ciśnienie osiąga wartość poniżej dopuszczalnej minimalnej wynoszącej $p_g = 630$ kPa (rys. 9).



Dla wszystkich przedstawionych wyników spostrzeżono wahania wartości ciśnienia, co jest konsekwencją okresowo zmiennego natężenia przepływu płynu ATF, które wynika z cyklicznego charakteru pracy elementów wyporowych pompy oraz wskutek wymuszeń zewnętrznych w postaci drgań mechanicznych działających na elementy układu hydraulicznego przenoszonych z całego pojazdu na sprzęgło mokre – i ze sprzęgła na płyn hydrauliczny poprzez tłok dociskowy siłownika) [9, 16].

Przedstawione metody oceny stanu technicznego układu hydraulicznego sterowania ASB mają zastosowanie wyłącznie w warunkach, gdy pojawiają się pierwsze symptomy niesprawności (sporadycznie: ślizganie, hałas, odczuwalne szarpnięcia podczas zmiany przełożenia – zdatność częściowa) i możliwe jest jeszcze przeprowadzenie jazdy eksploatacyjnej, w czasie której można dokonać odpowiednich pomiarów ciśnienia i czasu redukcji biegu oraz czasu zwłoki pomiędzy przełączeniami programów działania. W przypadku, gdy niemożliwe jest przeprowadzenie jazdy eksploatacyjnej (niezdatność całkowita), przedstawiona metoda jest nieprzydatna w diagnozowaniu przekładni automatycznej.

Należy wtedy stosować inne metody diagnostyczne. Jedną z nich jest ocena szczelności wewnętrznej układu hydraulicznego sterowania ASB. Źródłem nieszczelności wewnętrznych poza sterownikiem elektrohydraulicznym (gdzie cechą budowy jest występowanie przecieków wewnętrznych przez szczeliny hydrauliczne) są uszczelnienia tłoków dociskowych siłowników oraz uszczelnienia spoczynkowe i ruchowe kanałów płynowych. Uszczelnienia siłowników tłoków dociskowych podlegają zużyciu ściernemu oraz degradacji w wyniku starzenia materiału (gumy), z których są wykonane. Uszczelnienia ruchowe kanałów płynowych ulegają przede wszystkim zużyciu ściernemu, natomiast gumowe uszczelnienia spoczynkowe podlegają starzeniu oraz pękają w wyniku wielokrotnego zmniejszenia i zwiększania wartości ciśnienia płynu ATF, a także w wyniku działania płynu o wysokiej temperaturze eksploatacyjnej. W wyniku uszkodzenia uszczelnień płyn ATF przepływa z obszaru sekcji, w której panuje ciśnienie robocze do obszarów, gdzie panuje ciśnienie atmosferyczne, czego skutkiem są straty strumienia płynu ATF (przecieki wewnętrzne) i spadek wartości ciśnienia.

Metoda ta polega na wtłaczaniu pod ciśnieniem do badanej sekcji układu hydraulicznego płynu ATF o temperaturze eksploatacyjnej. Sygnałem diagnostycznym jest strumień płynu ATF przetłoczony przez nieszczelności sekcji układu hydraulicznego lub czas spadku ciśnienia w określonym zakresie wartości, po odłączeniu zasilania od badanej sekcji układu. Metoda ta wymaga jednak przeprowadzenia dodatkowych badań celem określenia wartości dopuszczalnej oraz zastosowania specjalnego urządzenia, ponadto zazwyczaj konieczny jest demontaż sterownika elektrohydraulicznego.

Ocena stanu technicznego układu hydraulicznego sterowania ASB poprzez pomiar szczelności wewnętrznej nie jest popularna w diagnozowaniu ASB, ale jest bardzo często stosowana w diagnostyce innych urządzeń hydraulicznych.

5. Wnioski

Przeprowadzone badania eksperymentalne sygnałów diagnostycznych układu hydraulicznego sterowania automatycznej skrzyni biegów (ASB) pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

- 1) Czas redukcji biegu $t_{i \rightarrow i-2Kd}$ podczas realizacji funkcji „kick-down”, może być parametrem diagnostycznym oceny poślizgu sprzęgieł i hamulców w przekładni oraz zadziałania sterowania sprzęgłem „Lock-up”. Wymaga to jednak przeprowadzenia dodatkowych badań celem określenia wartości dopuszczalnej czasu redukcji biegu.
- 2) Czas zwłoki t_{LT} pomiędzy przełączeniami programów działania (z programu „Park” na „Drive”) automatycznej skrzyni biegów (objawia się to narastaniem ciśnienia głównego od 0 do wartości ciśnienia pracy) jest sygnałem diagnostycznym już wykorzystywanym, natomiast sposób pomiaru budzi wątpliwości (błąd pomiaru czasu, oraz subiektywizm diagnosty) – zsynchronizowanie włączenia pomiaru czasu i reakcji układu. Zaproponowany sposób pomiaru czasu zwłoki t_{LT} całkowicie eliminuje ten aspekt – wartość czasu zwłoki t_{LT} odczytuje się z wykresu (rys. 9).
- 3) Prezentowane metody oceny stanu technicznego układu hydraulicznego sterowania ASB mają zastosowanie wyłącznie w warunkach, gdy występują pierwsze symptomy niesprawności (stan zdatności częściowej) i możliwe jest jeszcze przeprowadzenie jazdy eksploatacyjnej, w czasie której można dokonać odpowiednich pomiarów sygnałów diagnostycznych. W przypadku, gdy niemożliwe jest przeprowadzenie jazdy eksploatacyjnej, spowodowany całkowitą utratą zdolności funkcjonalnych (stan niezdatności), przedstawiona metoda jest nieprzydatna w diagnozowaniu przekładni automatycznej.
- 4) W przypadku niemożności przeprowadzenia jazdy eksploatacyjnej, oceny stanu technicznego układu hydraulicznego sterowania automatycznej skrzyni biegów (ASB) można dokonać metodą polegającą na pomiarze przecieków wewnętrznych, które są źródłem nadmiernych spadków ciśnienia w siłownikach dociskowych i mogą być przyczyną nieprawidłowego działania ASB. Wymaga to jednak przeprowadzenia oddzielnych badań.

Literatura

- [1] *Automatic transmission service group: Technical service information*, Hydra-matic 4L40-E/5L40-E, Miami, USA, 2002.
- [2] *Automatic transmission service group: Technical service information*, ZF version 5HP-30, Miami, USA, 1998.
- [3] *Automatic transmission service group: Technical service information*, ZF version 6HP-26, Miami, USA, 2008.
- [4] Citroën UK Ltd: *Citroën technical training ZF 4HP-20 Automatic transmission*.
- [5] Chalamoński M.: *Diagnozowanie układów hydrauliki maszynowej*, DIAGNOSTYKA vol. 26, 2002.
- [6] Dziubak T., Szczawiński P., Szczepaniak P.: *Wpływ przebiegu eksploatacyjnego płynu ATF na jakość pracy i trwałość automatycznych skrzyń biegów (ASB) samochodów osobowych*, Biul. WAT, 62, 2, 2013.

- [7] Dziubak T., Szczepaniak P.: *Problemy eksploatacji automatycznych skrzyń biegów (ASB) samochodów osobowych*, Logistyka, nr 3, 2015.
- [8] Dziubak, T., Szczepaniak P.: *Badania drogowe automatycznej skrzyni biegów (ASB) samochodu terenowego*, The Archives of Automotive Engineering - Archiwum Motoryzacji, PIMOT, 2014.
- [9] Eid Abdelmaksoud O. A., Rabeih E. M., Abdel-Halim, N. A., El Demerdash, S. M.: *Investigation of Self Excited Torsional Vibrations of Different Configurations of Automatic Transmission Systems during Engagement*, Egipt, 2011.
- [10] Jaguar Cars Limited: *ZF 4HP22/24 Automatic Transmission Service Manual*, UK, 1994.
- [11] Kinger B. G., Gibbs J. T., Murakami Y., Hamaguchi, H.: *Automatic transmission fluid viscosity index improver shear stability testing and oxidative stability*, 13th International Colloquium Tribology, Ostfildern; Germany, pp. 1915-1924, 2002.
- [12] Rover Technical Communication: *Workshop manual RANGE ROVER LRL0326ENG*, 1999.
- [13] Sitek K.: *Diagnostyka samochodowa*, Wydawnictwo AUTO, Warszawa, 1999.
- [14] Sobieraj W.: *Poradnik Serwisowy – automatyczne skrzynie biegów*, Instalator Polski, Warszawa, 2005.
- [15] Subaru: *Service Manual*, Japonia, 2009.
- [16] Zboiński M.: *Modelowanie i identyfikacja wpływu kontaminacji cieczy roboczej na trwałość instalacji hydraulicznych statków powietrznych*, DIAGNOSTYKA vol. 41, 2007.
- [17] ZF Automotive: *ZF version 3HP-22, Checking, Adjustment, Overhauling*, Automobiles Peugeot S.A., Francja, 2004.
- [18] Żółtowski B.: *Podstawy diagnostyki maszyn*, Wyd. ATR, Bydgoszcz, 1996.