

DIAGNOZOWANIE ZINTEGROWANEGO ZESPOŁU NAPĘDOWEGO KTO ROSOMAK

Mirosław KARCZEWSKI*, Leszek SZCZĘCH*, Jerzy WALENTYNOWICZ*

* Wydział Mechaniczny, Wojskowa Akademia Techniczna

e-mail: mkarczewski@wat.edu.pl

e-mail: lszczech@wat.edu.pl

e-mail: jwalentynowicz@wat.edu.pl

Artykuł wpłynął do redakcji 20.11.2012 r. Zweryfikowaną i poprawioną wersję po recenzjach i korekcie otrzymano w kwietniu 2013 r.

W referacie przedstawiono stanowisko dynamometryczne do badania zintegrowanego zespołu napędowego KTO Rosomak. Stanowisko to umożliwia badanie parametrów pracy układu napędowego oraz prowadzenie szerokiej diagnostyki w przypadku wystąpienia awarii. Wyniki pomiarów prowadzonych na silniku remontowanym po wybuchu miny pod pojazdem są przedstawione w końcowej części referatu.

Słowa kluczowe: silnik spalinowy, zintegrowany zespół napędowy, KTO Rosomak (wóz bojowy), diagnostyka techniczna, stanowisko dynamometryczne

WSTĘP

Transportery KTO „Rosomak”, wykorzystywane przez PKW Afganistan, użytkowane są w skrajnych warunkach atmosferycznych i terenowych. Są narażone na oddziaływanie różnego typu pocisków i min przeciwnika. Pojazdy te były również używane podczas misji prowadzonych w trudnym terenie w Libanie i Czadzie. Do najważniejszych zagrożeń dla zintegrowanego zespołu napędowego („PowerPacka”) użytkowanego podczas misji należy zaliczyć:

- duże zapylenie powietrza;
- dużą zmienność warunków atmosferycznych, w tym zmiany ciśnienia, temperatury otoczenia i wilgotności;
- intensywną eksploatację i długie przebiegi z jednoczesnym skróceniem czasu na obsługę pojazdu i jego zespołów;
- ograniczoną dostępność części zamiennych;
- złą jakość paliwa;
- oddziaływanie improwizowanych ładunków wybuchowych (IED) i min;
- oddziaływanie pocisków kinetycznych i kumulacyjnych przeciwnika.

Dokładna i wszechstronna weryfikacja stanu technicznego zintegrowanego zespołu napędowego po intensywnej eksploatacji oraz naprawach pojazdów powinna być prowadzona na specjalnym stanowisku badawczym w ustalonych i nieustalonych stanach pracy silnika oraz w całym zakresie prędkości obrotowej i obciążenia silnika. Kompleksowe sprawdzenie stanu technicznego silnika i jego zespołów jest możliwe na stanowisku dynamometrycznym powstałym w Laboratorium Silników Spalinowych WAT, wyposażonym w hamulec Zö lner z systemem sterowania o dużej dynamice zmian obciążenia oraz dużym momencie obciążającym przy małej prędkości obrotowej. Hamulec ma małe opory własne, umożliwiające badania przy małej prędkości obrotowej silnika.

Wzrastające nasycenie pojazdów cywilnych i bojowych elektroniką ułatwia rozbudowę systemów ciągłego diagnozowania układów silnika. Umożliwia to światowym producentom samochodów stosowanie pokładowych systemów diagnostycznych. Problemem był natomiast brak unifikacji złącz tych systemów. W Kalifornii powstała koncepcja ujednocniająca gniazda diagnostyczne i protokół przekazywania informacji zwany OBD (*On Board Diagnostics*). Zadaniem tych systemów była kontrola stanu technicznego układów neutralizacji spalin, która zapewniałaby właściwy stan techniczny tych układów przez długi czas eksploatacji pojazdu. W pierwszych rozwiązaniach ograniczono się do komunikowania o wystąpieniu nieprawidłowego działania poprzez diodę MIL lub kody błędów. Obecnie za pomocą systemu diagnostyki EODB (europejskiej odmiany OBD II), a także systemów fabrycznej diagnostyki pokładowej można sprawdzić stan techniczny układu napędowego obejmującego silnik oraz skrzynię biegów, a także innych zespołów wpływających na bezpieczeństwo i komfort jazdy, jak np. ABS, poduszki powietrzne, napinacze pasów bezpieczeństwa, klimatyzację czy też elektryczne wspomaganie kierownicy. Pojazdy wojskowe, zwłaszcza te, które mają dopuszczenie do ruchu publicznego, muszą spełniać normy „Euro” dotyczące udziałów szkodliwych składników spalin. Są one także wyposażone w układy diagnostyki pokładowej umożliwiające bieżącą kontrolę stanu pracy poszczególnych układów silnika i pojazdu.

Wprowadzenie na uzbrojenie Wojsk Lądowych nowoczesnego kołowego transportera opancerzonego „Rosomak” i utrzymanie go w stanie gotowości bojowej wymaga nowego zaplecza technicznego zarówno do obsługi bieżącej, ale także do diagnostyki układów i prowadzenia prac remontowych. Zaplecze to powinno znajdować się blisko sprzętu, który jest przez nie zabezpieczany, czyli w jednostkach wojskowych użytkujących transportery bezpośrednio lub pododdziałach jednostek nadrzędnych.

Diagnostyka zintegrowanego zespołu napędowego transportera i usuwanie nawet najdrobniejszych usterek stanowi podstawę oceny zdolności technicznej transportera. Regularne diagnozowanie przez przeszkoloną kadrę zapewnia długotrwałą eksploatację i bezawaryjną pracę. Stan techniczny zespołu napędowego transportera i jego układu sterowania najdokładniej można sprawdzić na stanowisku dynamometrycznym w całym zakresie prędkości i momentu obrotowego silnika podczas jego pracy w stanach ustalonych i nieustalonych. Hamulec umożliwia obciążenie silnika, co stwarza możliwość wykonania testów monitorujących pracę układu, niedostępnych podczas typowego obsługiwanie. Stanowisko takie zostało zbudowane w Laboratorium Silników Spalinowych WAT (rys. 1).

1. DIAGNOSTYKA ZINTEGROWANEGO ZESPOŁU NAPĘDOWEGO

Zintegrowany układ napędowy KTO Rosomak składa się z zasadniczych trzech zespołów:

- silnika SCANIA DI 12 sterowanego za pomocą układu EMS;
- automatycznej skrzyni biegów ZF AG 7 HP 902 S Ecomat;
- zespołu chłodnic z wentylatorami napędzanymi silnikami hydraulicznymi.

Silnik i skrzynia biegów mają własny układ sterowania, znajdujący się w pulpicie kierowcy. Sterowniki tych urządzeń sprzęgnięte są ze sobą za pomocą nadrzędnego sterownika nazywanego koordynatorem.

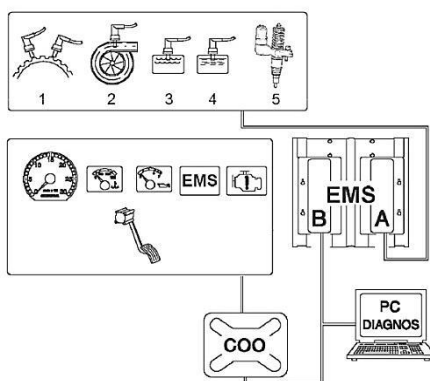


Rys. 1. Stanowisko dynamometryczne z silnikiem KTO Rosomak

Źródło: Opracowanie własne

1.1. Sterowanie i diagnozowanie silnika

Zadaniem systemu sterowania pracą silnika (EMS) jest pomiar ilości paliwa doprowadzanego do silnika, monitorowanie jego pracy oraz reakcja na położenia pedału przyspieszania i inne nastawy zmieniane przez kierowcę. Celem jest uzyskanie optymalnej sprawności silnika i wysokiej czystości spalin. System sterowania pracą silnika jest połączony ze skrzynią biegów poprzez szynę CAN.



Rys. 2. Elementy systemu EMS: 1 – dwa czujniki prędkości obrotowej, 2 – czujnik ciśnienia i temperatury powietrza, 3 – czujnik temperatury płynu chłodzącego, 4 – czujnik ciśnienia oleju
5 – elektrozawór pompowtryskiwacza PDE

Źródło: [3]

Głównymi elementami systemu sterowania są różnego rodzaju czujniki znajdujące się w silniku, sterowane elektrycznie wtryskiwacze PDE, tablica wskaźników, koordynator kontrolujący polecenia oraz układ sterowania EMS kontrolujący cały system. Koordynator przekazuje informację z czujników do układu sterowania EMS, który bezpośrednio steruje pompowtryskiwaczami PD, dopasowując czas ich otwarcia w ten sposób, by początek wtryskiwania i ilość wtrysniętego paliwa były optymalne.

Silnik ma dwa czujniki prędkości obrotowej. Czujniki znajdują się na obudowie koła zamachowego z tyłu silnika. Są to czujniki typu indukcyjnego, tj. wytwarzają sygnały tylko wtedy, gdy silnik pracuje. Czujniki prędkości wykrywają prędkość silnika oraz położenie koła zamachowego, które jest zapamiętywane w pamięci systemu, gdy silnik kończy pracę. Dane te są wykorzystywane przy kolejnym uruchomieniu silnika. Na podstawie sygnałów z czujników określone są górne martwe położenia tłoków. Jeśli któryś z czujników poda błędną informację, wtedy moment obrotowy silnika jest ograniczany do chwili przywrócenia prawidłowych sygnałów. Gdy obydwa sygnały są błędne, silnik natychmiast przerywa pracę i nie można go ponownie uruchomić. Układ sterowania EMS wykrywa i porównuje chwilową prędkość obrotu wału korbowego silnika podczas każdego cyklu pracy. Na tej podstawie system osobno dostosowuje ilość paliwa wtryskiwanego do każdego z cylindrów w celu utrzymania równej pracy silnika [3].

Ciśnienie oraz temperatura powietrza doładowującego są mierzone za pomocą tego samego czujnika za chłodnicą powietrza. Czujnik ciśnienia powietrza doładowanego mierzy ciśnienie w otworze wlotowym (zewnętrzne ciśnienie atmosferyczne oraz nadciśnienie wytwarzane przez sprężarkę). Układ sterowania EMS wykorzystuje ten sygnał do zmniejszania dawki paliwa, jeśli ciśnienie doładowania jest niższe od założonego. W układzie sterowania ustalono pewne domyślne wartości ciśnienia w kolektorze dolotowym odpowiadające pozycji pedału przyspieszenia, prędkości obrotowej silnika oraz temperaturze powietrza doładowanego. Różnicę pomiędzy wartościami rzeczywistymi a domyślnymi można odczytać za pomocą specjalistycznych systemów diagnostycznych. Jeśli czujnik podaje błędne informacje, EMS przyjmuje domyślną wartość ciśnienia. Moment obrotowy silnika jest wówczas zmniejszany ze względu na bezpieczeństwo.

Sygnały z czujników są przekształcane do napięcia 5V. Czujniki są uziemione poprzez układ sterowania. Ustawienia układu sterowania można skonfigurować za pomocą specjalistycznych urządzeń diagnostycznych. Dzięki tej właściwości można też np. regulować prędkość obrotową silnika na biegu jałowym.

1.2. Wykrywanie usterek przez układ sterowania

Jeżeli system sterowania silnikiem wykrywa usterkę, wtedy w zależności od rodzaju usterki układ sterowania EMS stosuje jedną lub więcej następujących procedur:

- zapala się kontrolka układu sterowania EMS; zazwyczaj gaśnie sama, gdy usterka znika, istnieje jednak kilka usterek, w przypadku których silnik należy wyłączyć i następnie ponownie go uruchomić;
- ograniczony zostaje moment obrotowy silnika;
- wyłączony zostaje wadliwy pompowtryskiwacz PDE;
- zwiększona zostaje prędkość biegu jałowego;
- silnik zostaje wyłączony;

- silnik zostaje sprowadzony do prędkości obrotowej biegu jałowego.

Celem tych procedur jest ograniczenie skutków usterek. Za każdym razem, gdy układ sterowania EMS wykrywa usterkę, generuje kod usterki, który jest zapamiętywany. Istnieje około 150 różnych kodów, które można odczytać na podstawie migania kontrolki diagnostycznej bądź za pomocą specjalizowanych testerów diagnostycznych. 40 usterek może być zapamiętanych przez układ sterowania. Usterki są przechowywane w dwóch miejscach. W przypadku, gdy usterki są usuwane z pamięci za pomocą wyłącznika diagnostycznego, z pamięci usuwane są jedynie te usterki, które zostały wskazane przez kontrolkę. Pozostają one jednak w pamięci dostępnej za pomocą systemów diagnostycznych. W ten sposób można odczytywać również liczbę usterek. Kasowanie danych za pomocą diagnostyki powoduje ich usunięcie z obydwu pamięci.

Wymiana informacji poprzez sieć CAN pozwala na zmniejszenie ilości przewodów elektrycznych oraz zwiększenie niezawodności. Obwód wymiany informacji składa się z dwóch przewodów: CAN H (wysoki) i CAN L (niski). Podłączonych do nich jest kilka układów, które razem tworzą sieć. Szyna CAN jest stosowana np. pomiędzy układem sterowania EMS a koordynatorem.

Podstawowa diagnostyka silnika w głównej mierze opiera się na odczycie kodów usterek, przechowywanych w pamięci systemu zarządzania silnikiem, za pomocą lampek kontrolnych. Ten rodzaj badania nie wymaga żadnego dodatkowego wyposażenia, lecz jest długotrwały i bardzo niewygodny dla operatora.

1.3. Sterowanie i diagnozowanie skrzyni biegów

Automatyczna skrzynia biegów przenosi napęd z silnika do kół z jednoczesną zmianą przełożeń, tak aby silnik pracował ekonomicznie. Przełożenia skrzyni są kontrolowane za pomocą dźwigni zmiany biegów umieszczonej w kabinie kierowcy. Kierowca ma również wpływ na działanie tej skrzyni poprzez wymuszanie zmiany biegów za pomocą pedału przyspieszenia oraz dźwigni zwalnicza. Elektroniczny moduł kontrolny skrzyni znajduje się wewnątrz tablicy rozdzielczej kierowcy.

W skład zespołu napędowego wchodzi również chłodnica oleju przekładniowego. Skrzynia biegów o siedmiu przełożeniach składa się z przekładni hydrokinetycznej, przekładni planetarnej, zwalnicza, przekładni awaryjnej, dwóch wałków odbiorczych oraz pompy pomocniczej. Zastosowano elektrohydrauliczną kontrolę przełożeń.

Przekładnia planetarna składa się z kilku rzędów planetarnych. Zmiany przełożeń odbywają się za pomocą hamulców i sprzęgieł. Aby pojazd poruszał się na biegu, w użyciu musi być zawsze jedno sprzęgło i jeden hamulec. Sprzęgła i hamulce sterowane są przez ciśnienie hydrauliczne, które powoduje zaciskanie zespołów tarcz. Ciśnienie hydrauliczne regulowane jest za pomocą elektrohydraulicznego modułu sterującego umieszczonego na spodzie skrzyni biegów.

Pompa układu sterowania skrzynią biegów zasysa olej z miski olejowej poprzez filtr i działa jedynie podczas pracy silnika. Olej jest prowadzony dalej do głównego zaworu utrzymującego ciśnienie w układzie. Z głównego zaworu ciśnienie oleju przenoszone jest do przekładni hydrokinetycznej poprzez zawór bezpieczeństwa przekładni. Olej powracający z przekładni hydrokinetycznej płynie do zaworu utrzymującego stałą odpowiednią wartość ciśnienia wewnętrznego przekładni hydrokinetycznej.

Elektroniczny układ sterujący skrzyni biegów EST 146 S współpracuje z innymi jednostkami sterującymi poprzez magistralę CAN. Jednostka sterująca zapisuje parametry pracy pojazdu i skrzyni biegów (kierunek poruszania się, przebytą drogę, obciążenie silnika, prędkość obrotową silnika, temperaturę oleju przekładniowego, prędkość poruszania się itp.) i przetwarza je w sygnały kontrolne odczytywane przez układ hydrauliczny skrzyni biegów.

Dla każdego przełożenia układ elektroniczny reguluje ciśnienie przełączające biegi w celu zachowania jednakowych parametrów przez cały czas trwania eksploatacji skrzyni. W przypadku gdy określony czas przełączania biegu nie zostanie osiągnięty (np. ze względu na usterkę lub niski poziom oleju), urządzenia kontrolne informują o tym kierowcę, co daje szansę na maksymalne ograniczenie negatywnych skutków awarii. System sterujący jest w stanie przeprowadzać autokontrolę funkcjonowania.

Podstawowa diagnostyka skrzyni biegów w głównej mierze opiera się na odczycie kodów usterek przechowywanych w pamięci systemu zarządzania skrzynią biegów, co pozwala ocenić stan skrzyni biegów oraz sytuacje krytyczne, które wystąpiły podczas jej eksploatacji. Diagnostowanie skrzyni biegów jest możliwe również na podstawie wyników pomiarów ciśnienia w poszczególnych układach skrzyni: P_H – ciśnienie nominalne, P_{D1} – ciśnienie na przepustnicy, P_{D2} – ciśnienie przed konwektorem, P_{D6} – ciśnienie przed wymiennikiem ciepła, P_{R3} – ciśnienie na hamulcu górskim, P_{RR3} – ciśnienie sterujące hamulca.

2. METODYKA BADAŃ ZESPOŁU NAPĘDOWEGO NA STANOWISKU DYNAMOMETRYCZNYM

Hamulec stanowiska dynamometrycznego jest połączony z zespołem napędowym składającym się z silnika o zapłonie samoczynnym Scania DI 12 56 A 03 PE wraz z automatyczną siedmiobiegową skrzynią biegów ZF Friedrichshafen AG 7 HP 902 S Ecomat. W skład zestawu PowerPack wchodzi ponadto zespół chłodzenia wraz z układem dwóch wentylatorów. Stanowisko jest wyposażone we wszystkie niezbędne układy pomiarowe, układ zasilania paliwem oraz układ wydechowy.

Cały proces badania zespołu napędowego podzielono na cztery etapy, które powinny następować kolejno po sobie w celu zapewnienia prawidłowej weryfikacji działania poszczególnych elementów składowych układu napędowego:

- diagnostykę elektronicznego układu silnika z wykorzystaniem komputerowego systemu diagnostycznego;
- diagnostykę elektronicznego układu skrzyni biegów z wykorzystaniem komputerowego systemu diagnostycznego;
- pomiar ciśnienia oleju hydraulicznego w poszczególnych punktach skrzyni biegów;
- wyznaczenie charakterystyk silnika w różnych stanach pracy.

Stanowisko do badań powstało w Laboratorium Silników Spalinowych WAT. Podczas budowy stanowiska sformułowano następujące założenia:

- możliwa będzie szybka wymiana silnika lub całego zespołu napędowego za pomocą wózka widłowego;
- badania silnika będą prowadzone w stanach ustalonych i nieustalonych;

- możliwy będzie łatwy dostęp do zespołów silnika celem ich diagnozowania;
- aparatura pomiarowa i zespół prowadzący będzie chroniony przed hałasem.



Rys. 3. Stanowisko dynamometryczne do badań zespołów napędowych KTO Rosomak:
a) widok silnika ze skrzynią biegów, w tle po prawej stronie widoczna kabina sterownicza,
b) diagnostyk Texa wraz z komputerem pomiarowym i pulpitem kierowcy KTO Rosomak

Źródło: Opracowanie własne

W kabinie operatora została zamontowana oryginalna tablica rozdzielcza transportera opancerzonego Rosomak, pozwalająca na możliwie pełne oddanie rzeczywistych warunków pracy kierowcy. Została ona podłączona do skanera diagnostycznego typu Texa Navigator TXT oraz komputera z zainstalowanym oprogramowaniem Texa IDC4 Truck Plus. Pozwala to, poza odczytem bieżących parametrów pracy i błędów, na wykonywanie szerokiego zakresu regulacji w celu maksymalnego uproszczenia pracy z coraz bardziej skomplikowanymi pojazdami.

3. DIAGNOSTYKA SILNIKA I SKRZYNI BIEGÓW

W związku z tym, że systemy diagnostyczne KTO Rosomak są bardzo drogie (jest to cena kalkulowana jak dla sprzętu wojskowego) oraz mają bardzo wąskie zastosowanie dokonano analizy rynku diagnostyk samochodowych, w tym następujących systemów:

- KTS z oprogramowaniem ESITronic firmy BOSCH;
- TEXA z oprogramowaniem IDC4 firmy Texa;
- Tester diagnostyczny Logic firmy Magneti Marelli, a następnie zdecydowano się na zastosowanie diagnostyki TEXA.

Urządzenie diagnostyczne i autodiagnostyczne NAVIGATOR TXT jest wynikiem ciągłego poszukiwania awangardowych rozwiązań, które ułatwiają pracę mechaników samochodowych. Dzięki wbudowanej pamięci 64 Mb są one w stanie zapamiętać różne programy komunikacyjne, co w praktyce oznacza możliwość skrócenia w 70% czasu oczekiwania na komunikację z centralką. Ponadto wbudowany automatyczny multiplexer umożliwia komunikację z centralkami pojazdów, bez konieczności zastosowania dodatkowych adapterów.

Interfejsy NAVIGATOR TX pozwalają na wykonanie następujących testów autodiagnostycznych:

- odczyt i kasowanie błędów;

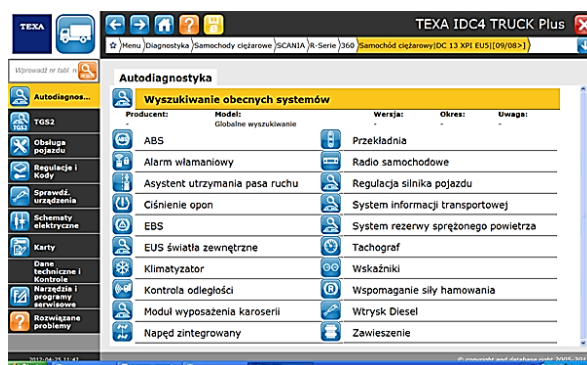
- odczyt parametrów systemu i statusu ECU;
- regulacje i konfiguracje;
- gaszenie kontrolki serwisowych i odłączanie poduszek powietrznych;
- konfiguracje centrerek;
- konfiguracje kluczyków i pilotów.

Przyrząd nie wymaga wykorzystania kabli łączących z jednostką wizualizacyjną lub z siecią zasilania elektrycznego. Dzięki urządzeniom z serii NAVIGATOR można wykonywać wszystkie testy na systemach elektronicznych, pracując w wybranym miejscu w pobliżu pojazdu, bez żadnych ograniczeń. Wszystkie interfejsy TEXA są wyposażone w oprogramowanie operacyjne IDC4, które gwarantuje bezpośredni dostęp jednostki do całego szeregu danych dodatkowych: biuletyny techniczne, karty techniczne, karty podzespołów, schematy elektryczne itd. Ponadto oprogramowanie proponuje funkcje specjalne. Jedną z nich jest funkcja „SZUKAJ” opracowana przez Google, do której obsługi jest potrzebne tylko połączenie z Internetem.

Kolejną funkcją specjalną jest TGS2 służąca do skanowania systemów obecnych w pojeździe, poprawnego rozpoznania centralki i odczytu ewentualnych błędów.

System TGS2, TEXA Global Scan 2, wbudowany do systemu operacyjnego IDC4, reprezentuje drugą generację systemu do automatycznego skanowania wszystkich centrerek elektronicznych pojazdu. Ta innowacja, opracowana przez TEXA, gwarantuje głęboką analizę, o niespotykanym dotąd zakresie, wielu marek i modeli, co zawsze było silną stroną firmy TEXA.

Po podpięciu interfejsu TEXA do gniazda diagnostycznego oprogramowanie IDC4 skanuje wszystkie znane systemy w sposób w pełni automatyczny, bez konieczności wykonania jakiegokolwiek operacji manualnej. Jeśli w trakcie tej procedury wykryte zostaną błędy, można bezpośrednio przejść do diagnostyki odpowiedniej centralki. Jeśli natomiast podzespół działa prawidłowo, możliwe jest mimo wszystko wejście tą uproszczoną drogą do poszczególnych centrerek w celu wykonania testów lub regulacji.

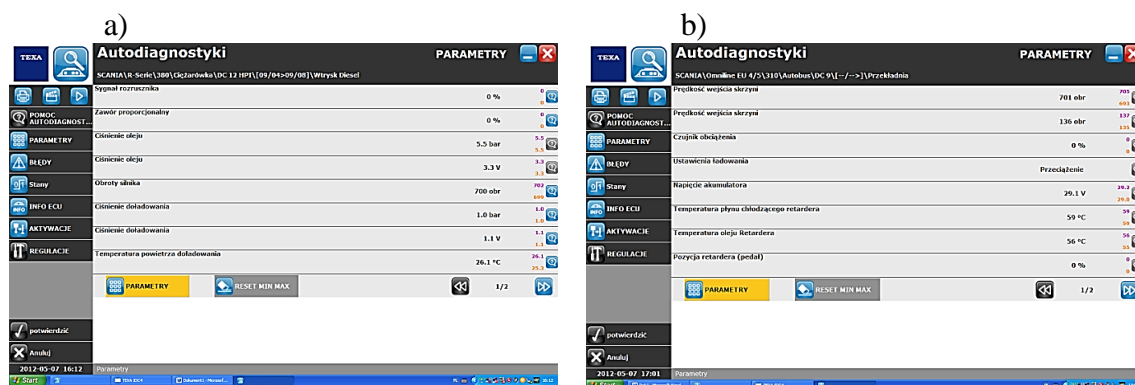


Rys. 4. Okno programu TEXA przedstawiające możliwy zakres prowadzenia diagnostyki dla samochodów ciężarowych

Źródło: Opracowanie własne

Podłączenie do silnika, jak i skrzyni biegów opiera się o złącze diagnostyczne silnika OBD2 i specjalne złącze do skrzyni biegów ZF. Jednostka sterowania EMS zapisuje błędy w pamięci stałej. Pozwala to sprawdzić, czy usterka występuje sporadycznie czy

permanentnie. Przy pomocy odpowiednich tabel można zidentyfikować błąd, a następnie określić wymagany zakres naprawy. Narzędziem służącym do wykrywania tego typu usterek jest system TGS2.

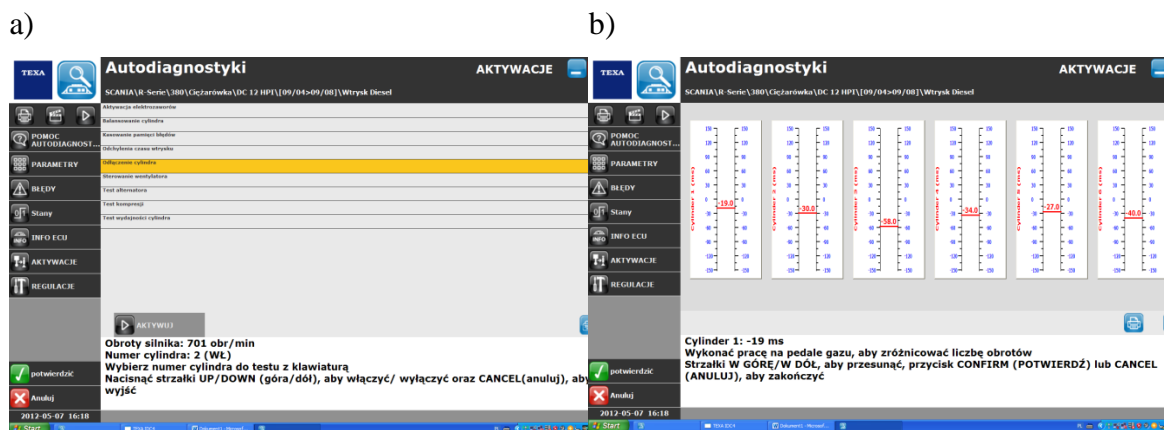


Rys. 5. Okno programu TEXA z parametrami pracy: a) silnika SCANIA b) skrzyni biegów ZF

Źródło: Opracowanie własne

Podczas pracy silnika na bieżąco odczytywane są jej parametry, a jednostka sterowania dostarcza parametry fizyczne wykryte przez czujniki i przesyła je do siłowników w formie numerycznej. Wartości minimalne oraz maksymalne są aktualizowane, trend natomiast może być przedstawiony w formie wykresu.

Zakres diagnostyki w warunkach laboratoryjnych nie ogranicza się jedynie do pomiaru parametrów typowej pracy silnika, możliwe jest także przeprowadzenie badań sprawdzających jego sprawność w warunkach zmiennych obciążeń, szerokiego zakresu prędkości obrotowej, różnego czasu otwarcia elektrozaworów czy też odłączenia poszczególnych cylindrów (rys. 6).



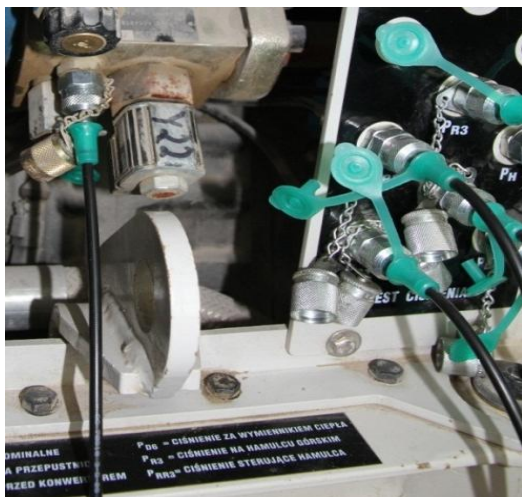
Rys. 6. Wynik pomiaru a) balansowania cylindrów b) odchylenia dawki paliwa

Źródło: Opracowanie własne

W trakcie badań stanu technicznego wyremontowanego silnika i skrzyni biegów stwierdzono trzy błędy w jego układzie sterowania spowodowane uszkodzeniem czujników prędkości obrotowej oraz zbyt niskim napięciem na stykach akumulatora. W skrzyni stwierdzono 10 błędów związanych z ustawieniem sprzęgieł i hamulców. Wykonano kasowanie usterek. W trakcie następnych badań silnika cały czas obserwowano

stan lampek informujących kierowcę o wystąpieniu błędów w układzie sterowania skrzyni biegów i silnika. Podczas całego cyklu badań nie stwierdzono wystąpienia usterek w ww. układach sterowania.

a)



b)



Rys. 7. Pomiary ciśnienia w skrzyni biegów a) złącza przyłączeniowe czujników, b) widok czujników wraz ze złączami przyłączeniowymi

Źródło: Opracowanie własne

Pomiary ciśnienia w skrzyni biegów, przy wykorzystaniu opracowanego oprogramowania oraz odpowiednich czujników ciśnienia, umożliwiają szybką ocenę poprawności działania poszczególnych elementów skrzyni biegów. Zastosowanie uniwersalnych złączy diagnostycznych pozwala na szybkie podłączenie czujników do fabrycznie przygotowanych punktów pomiarowych. Do pomiarów ciśnienia przystosowano przetworniki przemysłowe A-10 (rys. 7b) o parametrach:

- zakres pomiarowy: 0 100 bar;
- nieliniowość: 0.25 %;
- sygnał wyjściowy: DC 0 ... 10 V;
- przyłącze elektryczne: przewód kablowy 2 m;
- przyłącze procesowe: NPT.

W układzie pomiarowym zastosowano kartę przetworników PCI – 703 firmy Eagle:

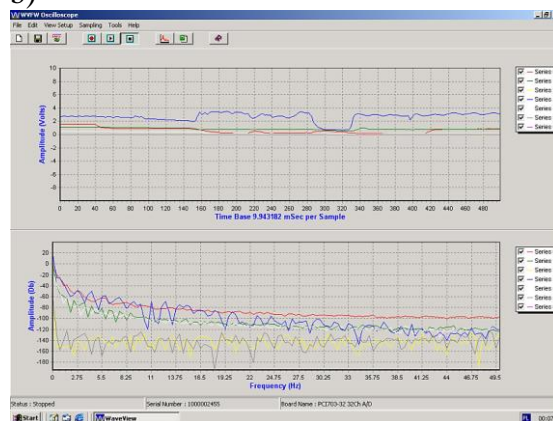
- wejścia analogowe: 32SE/16DIF;
- rozdzielczość: 14 bitów;
- częstotliwość próbkowania: 400 kHz;
- zakresy wejściowe: $\pm 10V$, $\pm 5V$, $\pm 2,5V$, $\pm 1V$, $\pm 500mV$, $\pm 250mV$, $\pm 100mV$.

Jako oprogramowania pomiarowego użyto programu WaveView dla Windows. Jest to oprogramowanie dostarczane razem z kartą pomiarową. Ma dwa tryby pracy: zakres i zapis wykresu. Po przeprowadzonych pomiarach wyniki były opracowywane w arkuszu kalkulacyjnym EXCEL.

a)



b)



Rys. 8. Komputer pomiarowy: a) widok komputera, b) widok ekranu podczas pomiarów

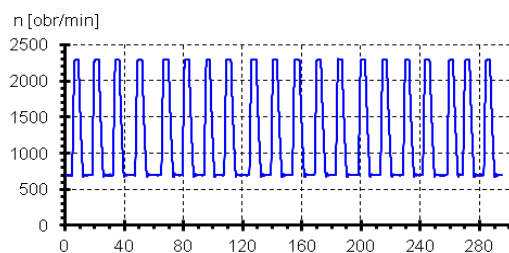
Źródło: Opracowanie własne

4. WYNIKI BADAŃ ZESPOŁU NAPĘDOWEGO NA STANOWISKU DYNAMOMETRYCZNYM

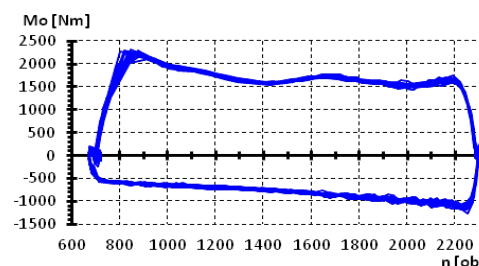
Badania silnika na stanowisku wykonano w dwóch etapach, mierząc parametry pracy silnika w stanach ustalonych w funkcji obciążenia silnika oraz w stanach niustalonych.

Badania w stanach niustalonych polegały na okresowym przyspieszaniu i zwalnianiu biegu silnika z całym osprzętem i skrzynią biegów w przedziale zmian prędkości obrotowej 700-2300 obr/min (rys. 9a). Na podstawie zmierzonych przebiegów przyspieszenia z kilkudziesięciu cykli rozpędzania silnika (30-70 razy) oraz momentu bezwładności silnika określono zmiany momentu obrotowego silnika w funkcji prędkości obrotowej silnika, a także zmiany momentu oporów silnika (rys. 9b). Moment bezwładności ruchomych elementów silnika wyznaczono eksperymentalnie podczas oddzielnych badań.

a)



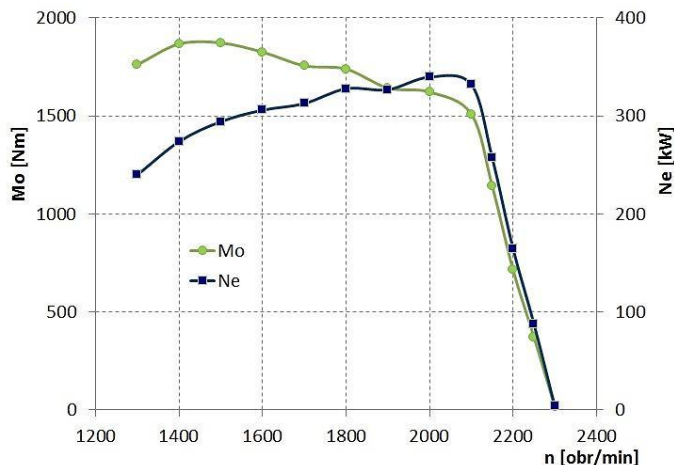
b)



Rys. 9. Wyniki badania silnika DI 12: a) przebiegi prędkości obrotowej w funkcji czasu pracy silnika, b) zmiany momentu obrotowego silnika zmierzone metodą wybiegu

Źródło: Opracowanie własne

Uzyskane przebiegi przyspieszenia i momentu obrotowego silnika były powtarzalne. Zmierzona w zakresie prędkości obrotowej 1400-1700 obr/min wartość momentu obrotowego silnika równa 1840 Nm była mniejsza o ok. 130 Nm w stosunku do momentu podawanego przez producenta dla badanego silnika, co wynikało z konieczności napędzania przyłączonej skrzyni biegów oraz dodatkowych zespołów układu hydraulicznego zespołu napędowego, w tym układu chłodzenia oleju i cieczy chłodzącej.



Rys. 10. Charakterystyka zewnętrzna zespołu napędowego transportera

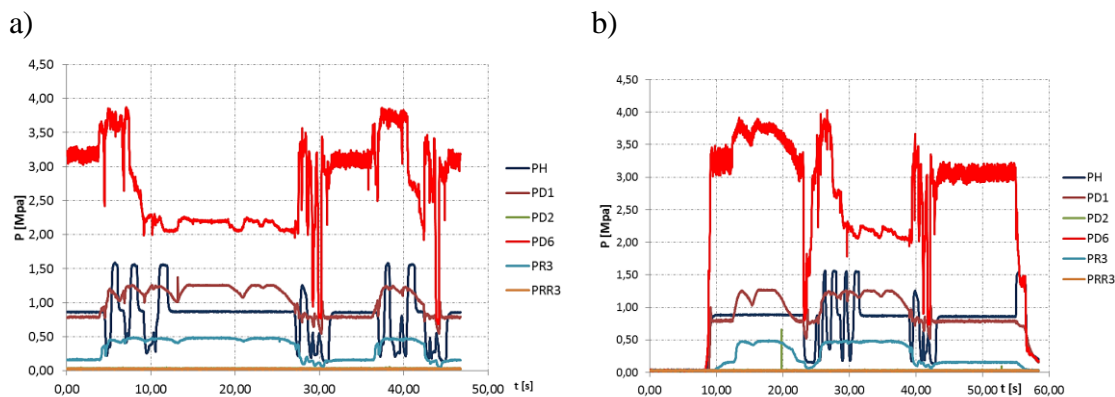
Źródło: Opracowanie własne

Parametry użyteczne silnika były także zmierzone w ustalonych stanach pracy silnika podczas wyznaczania charakterystyki zewnętrznej silnika, a dokładniej całego zespołu napędowego łącznie ze skrzynią biegów oraz wentylatorami. Podobnie jak przy charakterystyce dynamicznej, część mocy w czasie wyznaczania charakterystyki zewnętrznej silnika musiała być wykorzystana na napęd wentylatorów chłodnic silnika. Zmierzona maksymalna moc silnika wynosiła 335 kW przy prędkości 2100 obr/min, co jest wartością o około 25 kW (7,5 %) mniejszą od wartości nominalnej dla tego silnika. Zmierzony maksymalny moment obrotowy wynosił 1840 Nm przy prędkości 1500 obr/min, co jest wartością mniejszą o około 130 Nm od wartości momentu obrotowego podawanego przez producenta. Przy prędkości obrotowej poniżej 1800 obr/min zmierzony moment obrotowy silnika zdecydowanie maleje. Przebieg ten różni się od przebiegu charakterystyki fabrycznej silnika, na której widoczny jest wzrost momentu do wartości około 1974 Nm przy prędkości obrotowej 1600 obr/min. Moment ten jest stały do prędkości 1400 obr/min i dopiero poniżej tej prędkości ulega zmniejszeniu. Przyczyną takiej różnicy w przebiegu momentu może być obecność skrzyni biegów zwiększającej opory wewnętrzne badanego układu napędowego. Stwierdzone różnice parametrów pracy silnika badanego po wybuchuminy i naprawie niewiele różnią się od wzorcowych charakterystyk silnika podawanych przez producenta. Przyczyny tych różnic będą wyjaśniane podczas dalszej pracy.

5. WYNIKI BADAŃ SKRZYNI BIEGÓW NA STANOWISKU DYNAMOMETRYCZNYM

Badania skrzyni biegów na stanowisku wykonano w dwóch etapach, mierząc ciśnienie w układach skrzyni biegów w ustalonych i nieustalonych stanach pracy silnika. W stanach nieustalonych zmieniano moment obrotowy silnika podczas przyspieszania i zwalniania biegu silnika. Stanowisko umożliwia również odtwarzanie dowolnych przebiegów momentu obrotowego przenoszonego przez skrzynię biegów i odtwarzanie dowolnych testów jezdnych. Podczas badań w stanach nieustalonych zmieniano prędkość obrotową w przedziale 700÷2300 obr/min. Podczas obserwowanych przebiegów przyspieszania i zwalniania (około 100 razy) obserwowano prawidłowość zmiany biegów, występowanie zacięć w skrzyni biegów oraz występowanie stanów awaryjnych w układzie sterowania skrzyni.

Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów stwierdzono, że uzyskane czasy przełączania poszczególnych biegów były powtarzalne, a podczas pracy skrzyni biegów pod obciążeniem układ sterowania skrzyni nie sygnalizował żadnych stanów awaryjnych. Następnie zmierzono przebiegi ciśnienia za pomocą czujników zamontowanych do króćców pomiarowych skrzyni biegów. Stwierdzono regularne zmiany ciśnienia w zakresie zgodnym z instrukcją użytkowania silnika (rys. 11).



Rys. 11. Przebiegi ciśnienia w skrzyni podczas: a) przyspieszania biegu silnika, b) podczas uruchamiania i gaszenia silnika

Źródło: Opracowanie własne

PODSUMOWANIE

1. Przedstawione stanowisko dynamometryczne umożliwia bardzo dokładną diagnostykę zintegrowanego zespołu napędowego kołowego transportera opancerzonego Rosomak. Możliwe jest wyznaczanie parametrów pracy silnika i sterowania jego układami, a także parametrów pracy skrzyni biegów. Stanowisko zostało zbudowane z przeznaczeniem do badania tych zespołów po remontach silników.
2. Na stanowisku dynamometrycznym możliwe są badania zespołu napędowego w stanach ustalonych i nieustalonych, a przebieg charakterystyki momentu hamującego zastosowanego hamulca wodnego umożliwia obciążenie zespołu napędowego dużym momentem obrotowym już przy małej prędkości obrotowej, czyli przy dużym przełożeniu skrzyni biegów.
3. Zastosowana aparatura pomiarowa i diagnostyczna umożliwia pełną i dokładną diagnostykę zespołów silnika, a także wyszukiwanie błędów i ich usuwanie. Na podstawie wyników wykonanych badań sprawdzono wartości parametrów pracy silnika po wybuchu miny i jego remoncie.
4. Opracowanie i zastosowanie adapterów z czujnikami ciśnienia pozwala na diagnostykę automatycznej skrzyni biegów transportera na podstawie zmierzonych przebiegów ciśnienia oleju w skrzyni. Uzyskano regularne przebiegi ciśnienia zgodne z danymi producenta.
5. Obecnie stanowisko jest przystosowywane do analizy składu spalin i pomiaru stanu technicznego wentylatorów układu chłodzenia, co pozwoli na jeszcze dokładniejsze zbadanie stanu technicznego zintegrowanego zespołu napędowego transportera.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę na lata 2009-2013 jako projekt rozwojowy.

LITERATURA

1. Sitek K., Syta S., *Badania stanowiskowe i diagnostyka*, WKiŁ, Warszawa 2011.
2. Dąbrowski M., Kowalczyk S., Trawiński G., *Pracownia diagnostyki pojazdów samochodowych*, WSIP, Warszawa 2011.
3. *Kołowy Transporter Opancerzony 8x8 Rosomak instrukcja napraw*, WZM, Siemianowice Śląskie 2004.
4. Texa: *Maksymalny potencjał diagnostyczny*. AutoElektro, Nr 128/Czerwiec 2011.
5. Poradnik Serwisowy: *Pokładowe systemy diagnostyczne OBD I EOBD oraz sieci transmisji danych*. Wybrane zagadnienia. Nr 4/2010 i 5/2010.
6. Karczewski M., Koliński K., Szczęch L., Walentynowicz J., *Stanowisko dynamometryczne do ocen stanu technicznego KTO Rosomak*, Technologie podwójnego zastosowania, Wybrane technologie Wojskowej Akademii Technicznej, Wydawnictwo Wojskowej Akademii Technicznej, Warszawa 2012.
7. Łagoda T., Macha E., *A critical plane approach based on energy concepts: application to biaxial random tension-compression high-cycle fatigue regime*, [in:] Int. J.Fatigue 21 (1999).

DIAGNOSING POWERPACK OF AMV ROSOMAK

Summary

The dynamometer test stand for investigating the AMV Rosomak integrated propulsion system is discussed in the paper. The stand enables the measurement of propulsion system parameters and extended diagnostics in case of damage. The investigation results of an engine overhaul after an IED explosion are shown at the end of the paper.

Keywords: *combustion engine, integrated propulsion system, AMV Rosomak (combat vehicle), technical diagnostics, dynamometer test stand*

NOTY BIOGRAFICZNE

dr inż. Mirosław KARCZEWSKI – obecnie pracuje w Zakładzie Silników i Inżynierii Eksploatacji Pojazdów Mechanicznych WAT na stanowisku adiunkta. Autor i współautor ponad 80 artykułów i referatów naukowo-technicznych. Zajmuje się: sterowaniem procesami roboczymi silnika o ZS, zastosowaniem paliw alternatywnych do zasilania silników

o ZS, metodami pomiarów gazowych składników spalin oraz cząstek stałych, inżynierią odwrotną w zastosowaniach motoryzacyjnych.

dr inż. Leszek SZCZĘCH – obecnie pracuje w Instytucie Pojazdów Mechanicznych i Transportu, gdzie, jako pracownik naukowo-dydaktyczny zajmuje się problematyką pracy silników spalinowych i napędów hybrydowych w pojazdach mechanicznych. Współautor ponad 60 artykułów i referatów naukowo-technicznych.

dr hab. inż. Jerzy WALENTYNOWICZ, prof. WAT – absolwent Wydziału Mechanicznego WAT. Prowadzi wykłady z przedmiotów związanych z silnikami spalinowymi, ich konstrukcją, teorią i oddziaływaniem na środowisko, termodynamiką techniczną i jej zastosowaniami oraz historią rozwoju silników cieplnych. Członek Towarzystwa Naukowego Motoryzacji i Towarzystwa Naukowego Silników Spalinowych, Komisji Motoryzacji przy PAN oddział w Krakowie. Autor i współautor kilkuset publikacji oraz raportów z prac naukowo - badawczych, w tym międzynarodowych. Przedstawiciel Polski w panelu Science & Technology Organization NATO.