

Sławomir OLSZOWSKI, Tomasz CHOJNACKI, Tomasz OLSZOWSKI

NIEPRAWIDŁOWA PRACA WTRYSKIWACZY COMMON RAIL POMIMO POZYTYWNEGO WYNIKU BADANIA

W artykule omówione zostały szczególne przypadki awarii wtryskiwaczy Common Rail, pomimo spełniania wymaganych kryteriów diagnostycznych producenta i przechodzenia z wynikiem pozytywnym testów na specjalistycznych stołach probierczych. Omówiono nowe możliwości diagnozy i sposoby wykrywania tego nadzwyczajnego stanu. Badania są rozwiązaniem potrzeb występujących w eksploatacji. Rynek usług serwisowych od dawna oczekiwał rozwiązania opisywanego problemu.

WSTĘP

Badaniem specjalistycznego obszaru dotyczącego bezpośredniego wtrysku oleju napędowego zespół poświęcił wiele lat pracy. Do sytuacji nadzwyczajnych należy zaliczyć stan wtryskiwaczy CR, które z powodzeniem przechodzą wszelkie testy na specjalistycznych stołach probierczych producenta, zaś w praktyce okazują się wadliwe. Czas poświęcony na rozwiązanie zgłoszonego problemu z rynku serwisowego, dzisiaj należy zaliczyć do przyjemności.

1. OPIS PROBLEMU BADAWCZEGO

W trakcie eksploatacji pojazdów zasilanych olejem napędowym z układami wtryskowymi CR czasem można zaobserwować zjawisko szarpania silnikiem podczas przyspieszania. Problem można zauważyć sporadycznie lecz jeśli się pojawi, wraz z upływem czasu występuje tendencja do nasilania częstotliwości występowania usterki. Innymi okolicznościami powiązanych z okresem badanych symptomów są:

1. Dudnienie z okolicy silnika po naciśnięciu na pedał przyspieszenia przy częściowym obciążeniu na zimnym silniku
2. Odczuwalne drgania nadwozia podczas przyspieszania pojazdu na biegach: I, II i III
3. Na postoju bez obciążenia objawy nie występują

1.1. Obiekt badawczy

Silnik D91:

- 2.0 TDI
- CFFB
- pojemność skokowa: 1968 cm³
- silnik rzędowy
- czterocylindrowy
- układ zasilania CR
- produkcja od 05.2011->
- turbodoładowany
- pompa wysokociśnieniowa: CR/CP4S1/R40/205 (0445010567)
- wtryskiwacz: CRI2-18 (0445110368)
- zawór regulacji ciśnienia: CR/PCV3-20 S AK/30S
- przyrząd sterowniczy: EDC17C46-2.6 (0281017954)

1.2. Monitoring systemowy i ekspercki

Monitoring pokładowy pomimo poprawnego funkcjonowania na tablicy wskaźników nie załącza żadnej kontrolki sygnalizacyjnej niepoprawnej pracy. Diagnostyka komputerowa nie wykazuje reje-

stracji żadnego kodu błędu w rejestrze nieulotnej pamięci sterownika PCM (EDC17C), wykonanej przy pomocy dedykowanego diagnostyka serwisowego poprzez złącze DLC.

Analiza wartości rzeczywistych systemu sterowania w serwisie również nie daje żadnego rezultatu. Podczas postoju pojazdu w serwisie na biegu jałowym silnik pracuje prawidłowo. Po dodaniu gazu parametry pracy silnika są prawidłowe. Usterka nie jest możliwa do zdiagnozowania testerem diagnostycznym w warunkach warsztatowych.

2. BADANIA BEZINWAZYJNE



Fot. 1. Obiekt badawczy

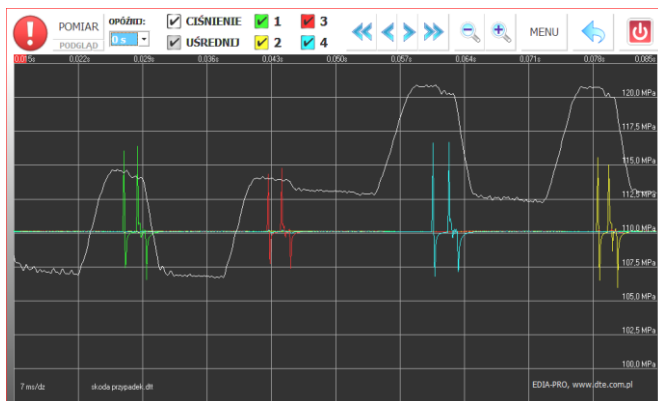
Ze względu na fakt, iż w warunkach laboratoryjnych bez obciążenia na hamowni usterka nie występuje, zaistniała konieczność wykonania badań eksploatacyjnych w normalnym ruchu drogowym z uwzględnieniem warunków, w jakich objawy mogłyby wystąpić. Dlatego badanie wykonano na zimnym silniku, zmieniając jego obciążenie, poprzez zwiększanie nacisku na pedał przyspieszenia. Eksploatacyjne badania nieinwazyjne wykonano za pomocą analizatora EDIA PRO.



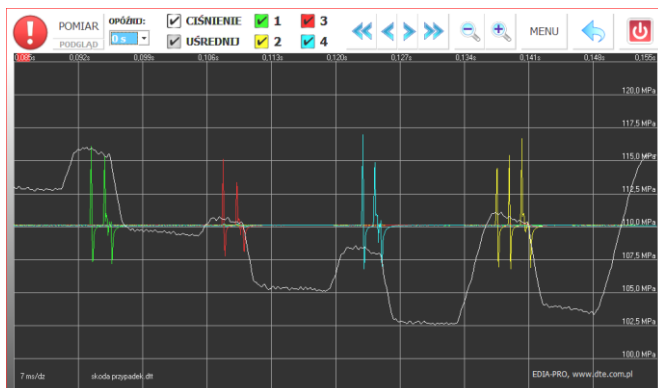
Fot. 2. Analizator sygnału w trakcie pracy

Metoda wykonywania badań szczegółowo została opisana w pracach [5, 7, 9]. W badanym przypadku, analizie poddano zmiany wysokiego ciśnienia mierzone czujnikiem HP umieszczonym na zasobniku paliwa w trakcie nieprawidłowego zachowania się obiektu badawczego. W każdym badaniu ze względu na rejestrację parametrów musiały uczestniczyć co najmniej 2 osoby: kierowca oraz operator analizatora sygnałów oraz testera diagnostycznego.

W trakcie badania podczas występowania charakterystycznego szarpania silnikiem oraz „dudnienia” szczególną uwagę skupiono na indywidualnych odchyłkach sygnału ciśnienia HP. Uzyskane wartości odniesiono między sobą do wartości uzyskiwanych dla różnych przebiegów bez żadnych objawów, dla różnych wtryskiwaczy na tym samym silniku.



Fot. 3. Cykl I – anomalia pracy wtryskiwacza 3 cylindra

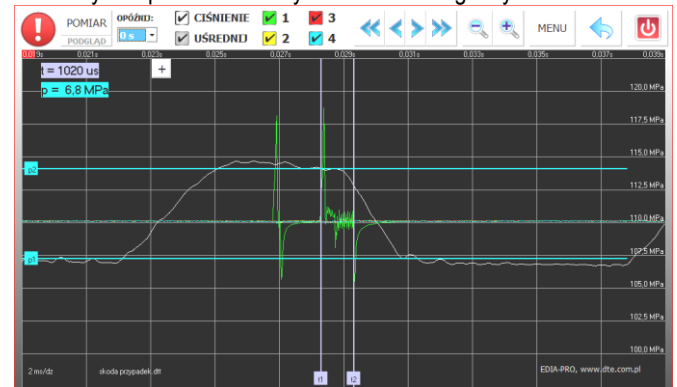


Fot. 4. Oscylogram cyklu II

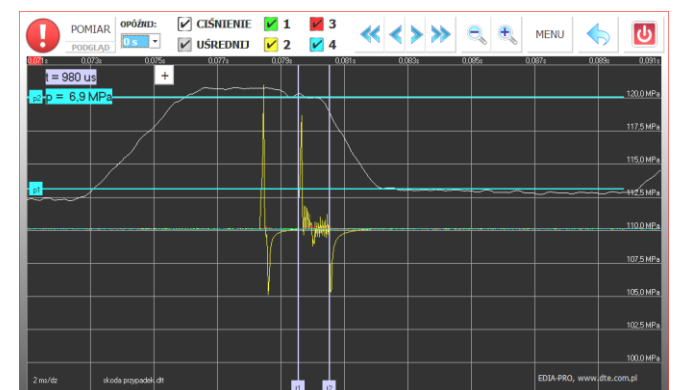
Zdefiniowano parametry odniesienia do oceny stanów zdatności eksploatacyjnej:

- ΔP_{W1} [MPa] – spadek ciśnienia wywołany I wtryskiem wstępnym
- ΔP_{W2} [MPa] – spadek ciśnienia wywołany II wtryskiem wstępnym
- ΔP_z [MPa] – spadek ciśnienia wywołany wtryskiem zasadniczym
- T1 [μ s] – czas sterowania wtrysku I wstępnego
- T2 [μ s] – czas sterowania wtrysku II wstępnego
- T3 [μ s] – czas sterowania wtrysku zasadniczego
- PRAIL- ciśnienia na szynie paliwowej przed otwarciem wtryskiwacza

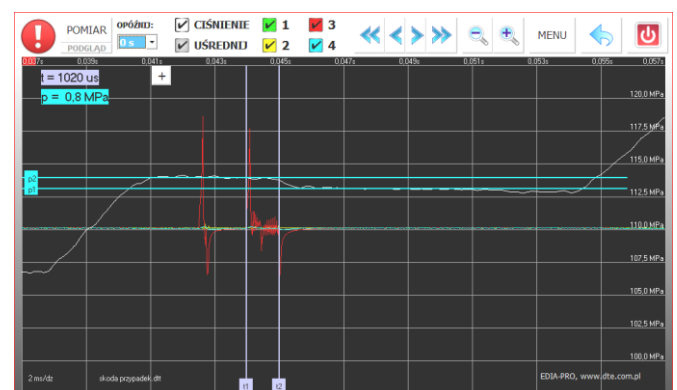
Przykład pobierania danych w trakcie diagnozy



Fot. 5. Cykl I wtryskiwacz cyl. 1, czas wtrysku zasadniczego $\Delta t_{11}^{z} = 1020\mu s$ spadek ciśnienia wtrysku zasadniczego $\Delta p_{11}^{z} = 6,8MPa$



Fot. 6. Cykl I wtryskiwacz cyl. 2, czas wtrysku zasadniczego $\Delta t_{21}^{z} = 980\mu s$ spadek ciśnienia wtrysku zasadniczy $\Delta p_{21}^{z} = 6,9MPa$



Fot. 7. Cykl I wtryskiwacz cyl. 3, czas wtrysku zasadniczego $\Delta t_{31}^{z} = 1020\mu s$ spadek ciśnienia wtrysku zasadniczego $\Delta p_{31}^{z} = 0,8MPa$

Badania powtórzone w kolejnych cyklach w identyczny sposób. Wyniki zamieszczono w tabeli nr 1.

Tab. 1. Wyniki badań bezinwazyjnych – silnik z usterką

obroty silnika	1				2				3				4				5				6															
cykle pracy	I												II												III											
praca cylindra	cyl 1		cyl 3		cyl 4		cyl 2		cyl 1		cyl 3		cyl 4		cyl 2		cyl 1		cyl 3		cyl 4		cyl 2													
$-\Delta P_{W1}$ [MPa]	0,5	0	0,5	0,6	0,6	0,4	0,5	0,4	0,4	0,1	0,6	0,5																								
$-\Delta P_{W2}$ [MPa]	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0	0	0																								
$-\Delta P_z$ [MPa]	6,8	0,8	7,5	6,9	5,5	4,6	5,1	6,2	7,0	4,3	6,9	7,0																								
T1 [μs]	230	230	230	230	260	230	230	200	230	230	230	230																								
T2 [μs]	0	0	0	0	0	0	0	200	0	0	0	0																								
T3 [μs]	1020	1020	1080	980	840	840	820	1000	1100	1080	1000	1020																								
P _{RAIL} [MPa]	114,5	114	121	121	116	110,5	108,5	111	115,5	117	118,5	116,5																								

Z analizy oscylogramów wynika, że szarpanie silnika spowodowane jest brakiem zapłonu paliwa w cylindrze trzecim. W pierwszym cyklu dla czasu wtrysku zasadniczego w granicach 1000μs spadek ciśnienia spowodowany wydatkiem przepływu paliwa przez wtryskiwacz nr 3 (upustem paliwa) z szyny CR okazał się całkowicie inny niż w pozostałych wtryskiwaczach. Przy zadanych parametrach pracy silnika badania autorów wykazały, że parametr odniesienia (wzorcowy) powinien mieścić się w przedziale: $\Delta p_z = (6,8-6,9)$ MPa. W badanym obiekcie wartość ta na cylindrze 3 wynosi 0,8 MPa co jednoznacznie wykazuje zbyt mały odpływ paliwa z szyny po wystarowaniu tego wtryskiwacza. W związku z tym bez żadnych wątpliwości można stwierdzić, że na tym cylindrze występuje zbyt mały wtrysk paliwa do komory spalania. W wyniku jego spalania na skutek samozapłonu wytworzona zostaje zbyt mała ilość gazów spalinych powodująca zbyt małe przyspieszenie kątowe „ε(t)” wału korbowego, na skutek czego jednostka sterująca EDC dokonuje korekty wtrysku paliwa na cylindrze czwartym wywołującą spadek ciśnienia o wartość 7,5 MPa zwiększając również czas wystarowania wtryskiwacza do 1080μs.

3. BADANIA INWAZYJNE

Laboratoryjne inwazyjne badania weryfikacyjne wykonano na stanowisku EPS202A firmy BOSCH.



Fot.8. Laboracyjne stanowisko badawcze EPS202A

Wyniki badań inwazyjnych

Wtryskiwacz Common Rail
 Typ-Część-Nr: 0445110369
 Producent: Bosch
 Profil załączania: 14V-03
 Opis: CRI 2-18

Wyniki pomiaru

Numer seryjny: ----

Pomiar	Okres załączania (μs)	Ciśnienie (MPa)	Czas pomiaru (s)	Dawka wtrysku		Dawka powrotna		Ocena
				Wartość zadana (mm ³ /H)	Wartość rzeczywista (mm ³ /H)	Wartość zadana (mm ³ /H)	Wartość rzeczywista (mm ³ /H)	
Leak test	0	180	200	----	----	40 ± 40	11,01	✓
VL	690	180	90	53,8 ± 5,8	50,18	38,75 ± 20,75	26,64	✓
EM	595	80	40	20,6 ± 4,4	20,06	----	----	✓
LL	560	30	40	4,7 ± 2,2	4,96	----	----	✓
VE1	273	80	40	2,1 ± 1,5	2,18	----	----	✓

Komentarz: cylindr 1 skoda

Fot.9. Protokół EPS202A badanie wtryskiwacza z cylindra nr 1 – wtryskiwacz sprawny

Wtryskiwacz Common Rail
 Typ-Część-Nr: 0445110369
 Producent: Bosch
 Profil załączania: 14V-03
 Opis: CRI 2-18

Wyniki pomiaru

Numer seryjny: ----

Pomiar	Okres załączania (μs)	Ciśnienie (MPa)	Czas pomiaru (s)	Dawka wtrysku		Dawka powrotna		Ocena
				Wartość zadana (mm ³ /H)	Wartość rzeczywista (mm ³ /H)	Wartość zadana (mm ³ /H)	Wartość rzeczywista (mm ³ /H)	
Leak test	0	180	200	----	----	40 ± 40	11,64	✓
VL	690	180	90	53,8 ± 5,8	50,79	38,75 ± 20,75	26,85	✓
EM	595	80	40	20,6 ± 4,4	20,21	----	----	✓
LL	560	30	40	4,7 ± 2,2	5,13	----	----	✓
VE1	273	80	40	2,1 ± 1,5	2,41	----	----	✓

Komentarz: cyl 2 skoda

Fot.10. Protokół EPS202A badanie wtryskiwacza z cylindra nr 2 – wtryskiwacz sprawny

Wtryskiwacz Common Rail
 Typ-Część-Nr: 0445110369
 Producent: Bosch
 Profil załączania: 14V-03
 Opis: CRI 2-18

Wyniki pomiaru

Numer seryjny: ----

Pomiar	Okres załączania (μs)	Ciśnienie (MPa)	Czas pomiaru (s)	Dawka wtrysku		Dawka powrotna		Ocena
				Wartość zadana (mm ³ /H)	Wartość rzeczywista (mm ³ /H)	Wartość zadana (mm ³ /H)	Wartość rzeczywista (mm ³ /H)	
Leak test	0	180	200	----	----	40 ± 40	52,87	✓
VL	690	180	90	53,8 ± 5,8	51,82	38,75 ± 20,75	56,61	✓
EM	595	80	40	20,6 ± 4,4	21,33	----	----	✓
LL	560	30	40	4,7 ± 2,2	5,28	----	----	✓
VE1	273	80	40	2,1 ± 1,5	1,93	----	----	✓

Komentarz: cyl 3 skoda

Fot.11. Protokół EPS202A badanie wtryskiwacza z cylindra nr 3 – wtryskiwacz sprawny

Wtryskiwacz Common Rail
 Typ-Część-Nr: 0445110369
 Producent: Bosch
 Profil załączania: 14V-03
 Opis: CRI 2-18

Wyniki pomiaru

Numer seryjny: ----

Pomiar	Okres załączania (μs)	Ciśnienie (MPa)	Czas pomiaru (s)	Dawka wtrysku		Dawka powrotna		Ocena
				Wartość zadana (mm ³ /H)	Wartość rzeczywista (mm ³ /H)	Wartość zadana (mm ³ /H)	Wartość rzeczywista (mm ³ /H)	
Leak test	0	180	200	----	----	40 ± 40	14,24	✓
VL	690	180	90	53,8 ± 5,8	50,29	38,75 ± 20,75	32,27	✓
EM	595	80	40	20,6 ± 4,4	19,42	----	----	✓
LL	560	30	40	4,7 ± 2,2	5,01	----	----	✓
VE1	273	80	40	2,1 ± 1,5	2,01	----	----	✓

Komentarz: cyl 4 skoda

Fot.12. Protokół EPS202A badanie wtryskiwacza z cylindra nr 4 – wtryskiwacz sprawny

PODSUMOWANIE

Pomimo wadliwej pracy silnika, badania wykonane na próbniku EPS 202A za pomocą dedykowanego testu producenta dla badanych wtryskiwaczy nie wykazały żadnych nieprawidłowości w ich pracy. Wszystkie parametry wymagane przez producenta dla każdego badanego komponentu wg przeprowadzonego testu mieszczą się w prawidłowym zakresie.

Pomimo prawidłowych i zgodnych z wymaganiami producenta parametrami pracy wtryskiwaczy, przyjęto kryterium braku zgodności oscylogramów wtryskiwacza 3 z pozostałymi, uzyskanymi za pomocą metody bezinwazyjnej EDIA PRO.

Analiza szczegółowa wykazała, że wtryskiwacz cylindra nr 3 posiadał zwiększoną ilość paliwa przepływającego kanałem przebiegającym i dawki sterującej. Pomimo, iż fizyczne parametry wtryskiwacza mieściły się w wymaganym zakresie, dokonano jego wymiany, ze względu na brak zgodności jego oscylogramów uzyskanych w badaniach bezinwazyjnych.

Przed zamontowaniem nowego wtryskiwacza testowego, przeprowadzono jego badanie w laboratorium na stanowisku EPS202A firmy BOSCH.

Wtryskiwacz Common Rail
 Typ-Część-Nr: 0445110369
 Producent: Bosch
 Profil załączania: 14V-03
 Opis: CRI 2-18

Wyniki pomiaru

Numer seryjny: ----

Pomiar	Okres załączania (μs)	Ciśnienie (MPa)	Czas pomiaru (s)	Dawka wtrysku		Dawka powrotna		Ocena
				Wartość zadana (mm ³ /H)	Wartość rzeczywista (mm ³ /H)	Wartość zadana (mm ³ /H)	Wartość rzeczywista (mm ³ /H)	
Leak test	0	180	200	---	---	40 ± 40	14	✓
VL	690	180	90	53,8 ± 5,8	49,92	38,75 ± 20,75	29,43	✓
EM	595	80	40	20,6 ± 4,4	18,39	---	---	✓
LL	560	30	40	4,7 ± 2,2	4,87	---	---	✓
VE1	273	80	40	2,1 ± 1,5	1,86	---	---	✓

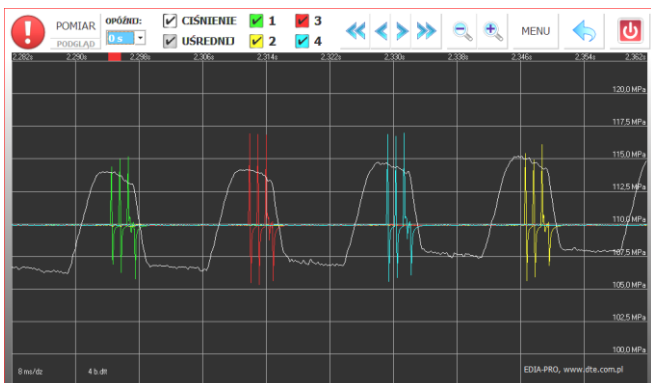
Komentarz: wtrysk 8 pom 1 ok

Fot. 13. Protokół EPS202A badanie wtryskiwacza testowego nr 8 (oznaczenie nadane w laboratorium przy wykonywaniu innych badań) - wtryskiwacz sprawny

Przeprowadzone testy nowego wtryskiwacza testowego, potwierdziły jego fizyczną sprawność. Po jego wymianie przeprowadzono próbę drogową z podłączonym analizatorem EDIA PRO. Samochód odzyskał pełną moc. Objawy szarpania, dudnienia i nierównomiernej pracy silnika podczas przyspieszania ustąpiły.

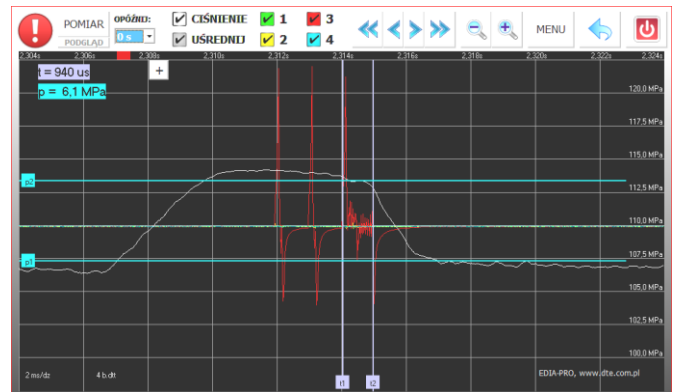
Aktualny sprawny stan pojazdu potwierdzono sporządzając odpowiednie oscylogramy.

Celem uzyskania odniesienia do wyników z okresu nieprawidłowej pracy specjalnie wybrano ten sam przedział ciśnienia, przy którym wcześniej występowały niepokojące objawy.



Fot. 14. Oscylogram cyklu I - po wymianie uszkodzonego wtryskiwacza

Silnik wrócił do prawidłowej pracy. Badanie indywidualne wtryskiwacza testowego wymienionego w obiekcie badawczym doprowadziło do uzyskania oscylogramów zgodnych z tymi uzyskanymi na pozostałych wtryskiwaczach (fot. 15).



Fot. 15. Cykl I wtryskiwacz cyl. 3, czas wtrysku zasadniczego $\Delta t_{31}^{2n} = 940 \mu s$ spadek ciśnienia wtrysku głównego $\Delta p_{31}^{2n} = 6,1 MPa$

WNIOSKI

W pracy wykazano, że metoda bezinwazyjna idealnie uzupełnia metody inwazyjne i jest w stanie rozróżnić stany zdadności i niezdatności eksploatacyjnej nawet w sytuacji, gdy standardowe metody stanowiskowe nie przynoszą rozwiązania.

W przypadku nieprawidłowej pracy silnika o zapłonie samoczynnym z układem Common Rail, w sytuacji braku kodów błędów związanych z nieprawidłową pracą silnika oraz braku możliwości zdiagnozowania systemu za pomocą dedykowanych urządzeń diagnostycznych w tym również poprzez monitoring parametrów rzeczywistych, bezwzględnie należy wykonać badania bezinwazyjne, umożliwiające pozyskanie danych do określenia stanów zdadności i niezdatności eksploatacyjnej.

Jak wykazano w pracy metody te w przejrzysty sposób pozwalają na porównanie wtryskiwaczy między sobą, oraz umożliwiają odniesienie wykonanych oscylogramów do wzorca (do danych biblioteki odniesienia, jeżeli nie jest to pierwsze badanie tego typu układu).

Wykorzystanie opracowanej metody pozwoli, na wyłączenie uszkodzonych komponentów z eksploatacji przed całkowitym stanem niezdatności eksploatacyjnej środka transportu.

1. Przeprowadzone badania i analiza ich wyników wykazała, że po wymianie komponentu wskazanego jako wadliwy w opracowanej metodzie eksperckiej na nowy, sprawny, spowodowała przywrócenie parametrów układu wtryskowego do wartości odniesienia, traktowanych jako wzorcowych.
2. Zaobserwowano również, zmianę regulacji wartości ciśnienia paliwa w zasobniku paliwa. W badaniu nie pojawiały się niepożądane pulsacje ciśnienia.
3. Usunięcie niewykrywalnej usterki wtryskiwacza za pomocą dotychczasowych rozwiązań, pozwoliło na poprawę kultury pracy silnika, jego stabilności prędkości obrotowej oraz wpłynęło na zmniejszenie hałasu i wibracji.

BIBLIOGRAFIA

1. Olszowski S., Olszowski T., Chojnacki T.: Bezinwazyjna metoda diagnozowania stanu elementów układu bezpośredniego wtrysku paliwa Common Rail. Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w Warszawie 2015. 3132/46/P Etap II
2. Olszowski Sławomir, Olszowski Tomasz, Chojnacki Tomasz, Mąkosa Zbigniew: Bezinwazyjna metoda diagnozowania stanu

elementów układu bezpośredniego wtrysku paliwa Common Rail. Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w Warszawie 2014. 3132/46/P Etap I

3. Olszowski Sławomir: Wpływ oleju napędowego na stan komponentów aparatury wtryskowej układu Common Rail. TTS nr 12/2015
4. Sławomir Olszowski: The present and long-term technical problems of exploitation of technologically advanced direct injection diesel systems. Problems of Mechanics. NO 4(53)/2013. ISSN 1512-0740
5. Sławomir Olszowski, Tomasz Olszowski: Opracowanie podstaw matematycznych do analizy wyników badania stanu wtryskiwaczy systemu Common Rail z wykorzystaniem analizatora sygnału „EDIA PRO”. TRANSCOMP – XVII INTERNATIONAL CONFERENCE. COMPUTER SYSTEMS AIDED SCIENCE, INDUSTRY AND TRANSPORT. 2013.
6. Sławomir Olszowski, Jozef Buday, Jozef Kuchta, Jan Michalik. Analyses of the causes of common rail piezoelectric and electromagnetic injectors' premature destruction in self-ignition engines. COMMUNICATIONS. SCIENTIFIC LETTERS OF THE UNIVERSITY of ŽILINA VOLUME 15. 3/2013
7. Olszowski Sławomir, Olszowski Tomasz: Bezinwazyjna metoda diagnozowania stanu systemu Common Rail. TransComp 2012. Technika Transportu Szynowego 2012
8. Olszowski Sławomir, Sztandkie Marcin: Stany zdatności eksploatacyjnej innowacyjnych systemów ograniczających emisję szkodliwych składników spalin do atmosfery. LogiTrans – IX Konferencja naukowo-techniczna, systemy transportowe, bezpieczeństwo w transporcie. Politechnika Radomska. Szczyrk 2012. Czasopismo LOGISTYKA nr 3 2012.
9. Olszowski Sławomir, Olszowski Tomasz: Bezinwazyjna metoda diagnozowania stanu systemu Common Rail. TransComp 2012.

INCORRECT WORK OF COMMON RAIL SYSTEM INJECTORS DESPITE A POSITIVE RESULTS OF THE TEST

This article describes the specific case of Common Rail injectors failures, despite meeting the manufacturer's diagnostic criteria and passing tests on specialist testing tables. New possibilities for diagnosis and ways of detecting this extraordinary condition are discussed. The research is the answer to exploitation's needs. The service market has long been waiting for the solution to problem described in this article.

Autorzy:



dr inż. **Sławomir Olszowski**¹ – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. K. Pułaskiego w Radomiu, Wydział Transportu i Elektrotechniki, Instytut Systemów Transportowych i Elektrotechniki, Zakład Eksploatacji i Diagnostyki Środków Transportu, członek komisji egzaminacyjnej rzeczoznawców samochodowych akredytowanej przez PCA. e-mail: s.olszowski@uthrad.pl.



mgr inż. **Tomasz Chojnacki** – BETiS Radom Poland, ekspert-konsultant infolinii technicznej, członek komisji egzaminacyjnej rzeczoznawców samochodowych akredytowanej przez PCA.



mgr inż. **Tomasz Olszowski**¹ - Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. K. Pułaskiego w Radomiu, Wydział Transportu i Elektrotechniki, Instytut Systemów Transportowych i Elektrotechniki, Zakład Eksploatacji i Diagnostyki Środków Transportu. Członek komisji egzaminacyjnej rzeczoznawców samochodowych akredytowanej przez PCA.

¹ Faculty of Transport and Electrical Engineering, Kazimierz Pulaski University of Technology and Humanities in Radom, E-mail: s.olszowski@uthrad.pl