

# USZKODZENIA UKŁADÓW WTRYSKOWYCH KONWENCJONALNYCH I WYSOKIEGO CIŚNIENIA COMMON RAIL W CIĄGNIKACH ROLNICZYCH

Streszczenie

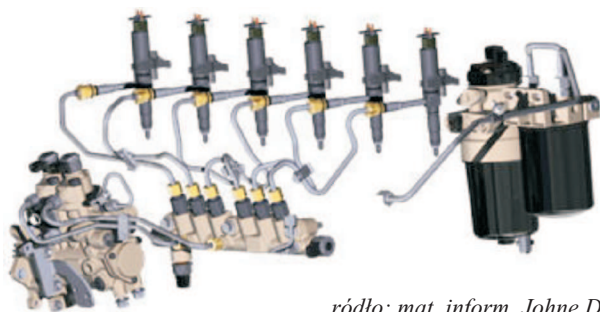
W artykule przedstawiono analizę procesów zachodzących w układach paliwowych prowadzących do uszkodzeń aparatury wtryskowej pojazdów rolniczych. Opisano i omówiono najczęściej występujące w eksploatacji przyczyny niezdatności układów wtryskowych konwencjonalnych i wysoko ciśnieniowych Common Rail spowodowane m.in. złą jakością oleju napędowego. Przeprowadzono badania mikroskopowe powierzchni zużytych tłoczków par tłoczących pomp wtryskowych, na których oprócz zużycia ściernego na powierzchni roboczej tłoczków zaobserwowano zjawisko absorpcji „laków” z paliwa. Opracowanie powstało na podstawie danych pochodzących od firm serwisowych działających na terenie woj. podkarpackiego oraz firm zajmujących się naprawą układów wtryskowych.

**Słowa kluczowe:** ciągnik rolniczy, eksploatacja, jakość paliwa, zużycie, układ wtryskowy

## Wstęp

Zadaniem wtryskowego układu zasilania jest podawanie paliwa do cylindrów w odpowiednim czasie oraz w ilości i postaci zapewniających jak najlepsze ich pełne spalanie. Obowiązujące od 2014 r. restrykcyjne normy Euro 6 w zakresie emisji spalin, które określają dopuszczalne normy tlenków NO<sub>x</sub> do 400 mg, a więc 80% mniej niż normy Euro 5, cząstki stałe do 10 mg/kWh, czyli o 66% mniej niż w normie Euro 5, stawiają duże wymagania względem aparatury wtryskowej [10]. Poprawna praca układu zasilania paliwem uzależniona jest w pełni od właściwego działania pompy. W przypadku niewłaściwych parametrów pompy paliwa, zwłaszcza ciśnienia, zakłócony zostaje proces tworzenia mieszanki paliwowo-powietrznej, a tym samym i praca silnika. Objawami nieprawidłowej pracy lub uszkodzenia pompy paliwa są: spadek mocy przy wzroście obciążenia silnika lub przerwanie pracy silnika oraz brak możliwości ponownego uruchomienia [7]. Do czynników, które mają ujemny wpływ na te procesy należą:

- działanie wysokich ciśnień,
- działanie zmiennych i wysokich temperatur,
- chemiczne oddziaływanie produktów spalania,
- inne zjawiska powodujące lub przyspieszające zużycie erozyjne (w tym erozję kawitacyjną).



ródło: mat. inform. Johne Deere

/ Source: information materials of John Deere company

Rys. 1. Zasobnikowy układ wtryskowy Common Rail ciągnika Johne Deere 6R

Fig. 1. Injection system Common Rail of the 6R tractor by John Deere

## Uszkodzenia pomp wtryskowych

W eksploatacji ciągników rolniczych największy udział ma zużycie spowodowane procesami tarcia, tzw. trybologiczne [9]. Dotyczy to również układów zasilania, które stanowią ze względu na swoją budowę i złożone działanie, duże obciążenie cieplne i mechaniczne. Aparatura wtryskowa stanowi zespół silnika, który spośród głównych funkcjonalnych układów silnika (układu tłokowo-korbowego, rozrządu, smarowania, chłodzenia rozruchowego) jest najbardziej podatna na uszkodzenia. Liczba uszkodzeń w aparaturze paliwowej, stanowi zwykle więcej niż połowę uszkodzeń silnika.

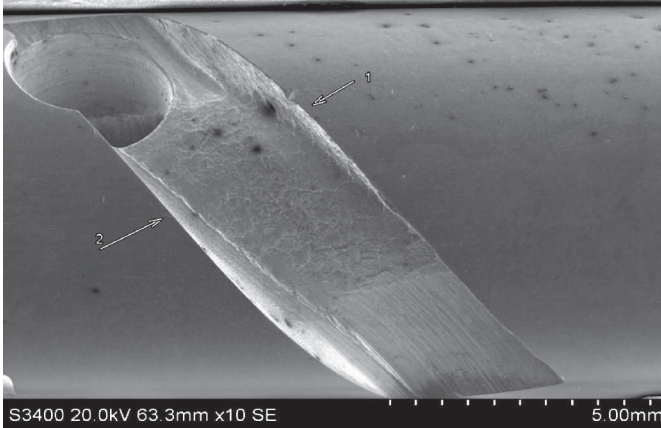
W konstrukcjach układów paliwowych ciągników rolniczych stosuje się dwa rodzaje pomp wtryskowych - rzędowe sekcyjne i rozdzielaczowe. Są one wypierane przez nowsze systemy hydraulicznego wtrysku paliwa, do których należą: pompowtryskiwacze i Common Rail - rys. 1 [4, 8]. Wysoko-ciśnieniowe układy wtryskowe Common Rail wytwarzają ciśnienia ponad 200 MPa, współpracują z wtryskiwaczami elektromagnetycznymi i piezoelektrycznymi firm: Bosch, Delphi, Denso, Continental (Siemens) [5, 12]. W trakcie eksploatacji zachodzą negatywne zmiany zarówno w makro-, jak i mikrogeometrii materiału powierzchni roboczych par precyzyjnych.

## Metodyka badań

Badania przeprowadzono na podstawie dokumentacji warsztatowej trzech firm z woj. podkarpackiego, zajmujących się naprawą aparatury wtryskowej w latach 2015-2016 (m.in. firma Gładyszek - rys. 17 i 18). Badaniami objęto grupę reprezentatywną 126 usług naprawczych. Przeprowadzono badania zużycia aparatury wtryskowej z elementami badawczymi węzłów krytycznych na przykładzie par precyzyjnych pomp rzędowych, rozdzielaczowych, pomp wysokiego ciśnienia CR oraz wtryskiwaczy z zastosowaniem badań makroskopowych, na podstawie których przeprowadzono charakterystykę i ocenę zużycia. Dokonano statystycznej oceny najbardziej uszkodzanych podzespołów pompy wtryskowej Common Rail CP-4, stosowanej m.in. w ciągnikach Massey Ferguson.

## Wyniki badań

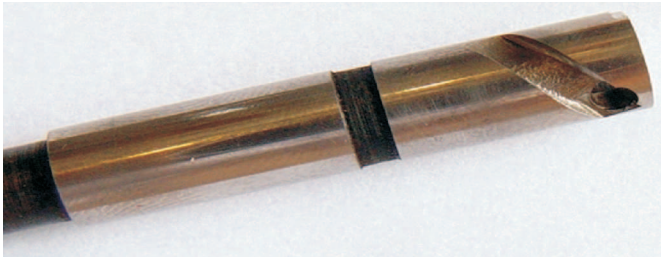
We własnych badaniach metalograficznych, wykonanych w Laboratorium Materiałów (LabMatPL)\* Katedry Materiałoznawstwa Politechniki Rzeszowskiej z zastosowaniem mikroskopu elektronowego skaningowego Hitachi S-3400N w powiększeniach 10x, 150x, 600x, stwierdzono zużycie, które ma związek z zanieczyszczeniami mechanicznymi paliwa. Stwierdzono również występowanie zjawiska adsorpcji „laków” paliwa, które powodują nierównomierności dawek paliwa oraz znaczne spadki szczelności tłoczek-cylinderek.



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 2. Tłoczek pary precyzyjnej pompy Motorpal ciągnika Zetor po przetworzeniu 3000 godz.

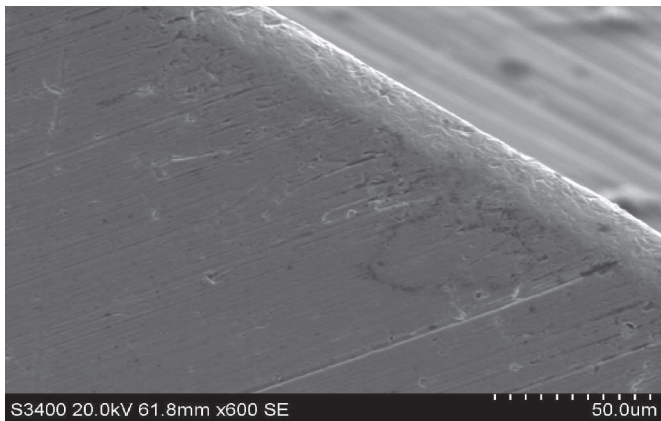
Fig. 2. Piston of pair in precision pump Motorpal of the tractor Zetor after 3000 h of work



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 3. Widok na rowek sterujący dawką paliwa. Znaczne patologiczne zużycie, widoczne liczne mikrowgłębienia, wżery (pow. 10x)\*

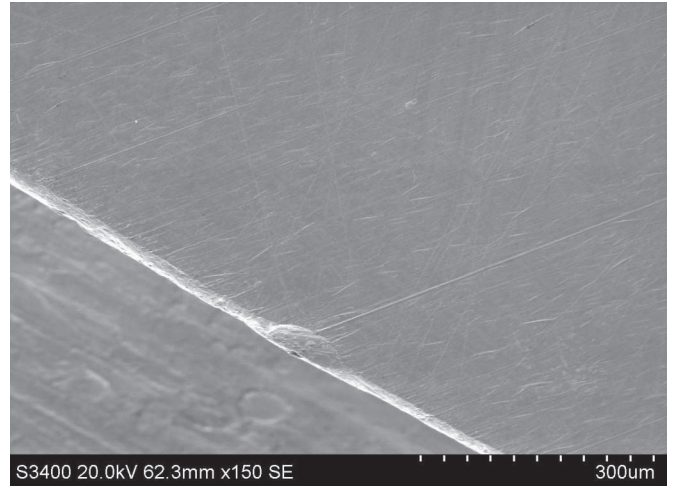
Fig. 3. View on the application fuel groove. Severe pathological degree of wear, visible numerous microcavities, pits (magnification of 10x)\*



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 4. Widok na rowek sterujący dawką paliwa (pow. 150x)\*

Fig. 4. View on the application fuel groove (magn. 150x)\*

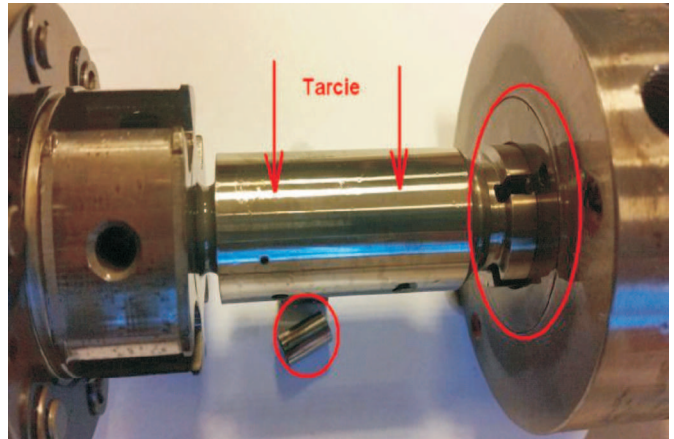


Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 5. Widok na rowek sterujący dawką paliwa (pow. 600x)\*

Fig. 5. View on the application fuel groove (magn. 600x)\*

Na zdjęciach metalograficznych (rys. 2, 3, 4, 5) widoczne są: korozja tarciowo-chemiczna oraz narastanie (adsorpcja) tzw. laków na krawędziach rowka sterującego tłoczka pary precyzyjnej.



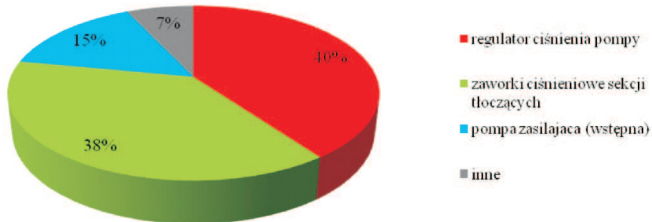
Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 6. Wybrane elementy pompy wtryskowej DPA firmy CAV podlegające intensywnemu zużyciu - zaznaczono miejsca zużyciu - z prawej w powiększeniu rozdzielacz obrotowy

Fig. 6. Selected elements of the DPA injection pump by CAV subject to intensive wear- marked spots of wear on the right-rotary distributor blown up

## Uszkodzenia pomp wtryskowych Common Rail

Z badań dokumentacji procesów technologicznych napraw (rys. 6, 8-11) oraz informacji uzyskanych od mechaników serwisów wynika, że procentowy udział uszkodzeń elementów pomp wtryskowych CR typu CP 4 jest następujący: 40% uszkodzalności wykazuje regulator ciśnienia pompy, na drugim miejscu są elementy robocze tzw. zaworki ciśnieniowe pomp (38%), na trzecim miejscu pompy zasilające (15%) oraz inne, np. zużycia wałków krzywkowych pomp (7%) (rys. 7).



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 7. Statystyka uszkodzeń elementów pompy wtryskowej Common Rail typu CP4 stosowanej w ciągnikach rolniczych  
Fig. 7. Statistics of damages to the elements of CR injection pump, type CP4 used in agricultural tractors



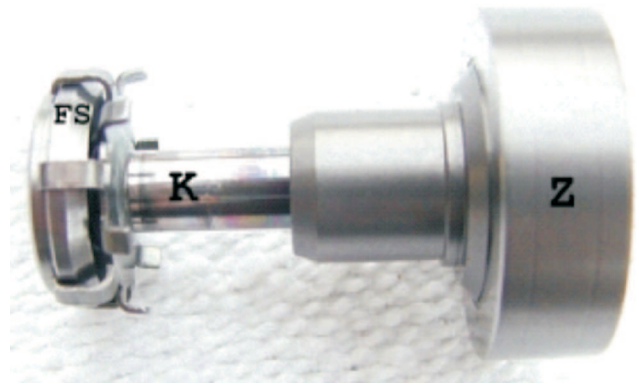
Źródło: Bosch Service / Source: Bosch Service

Rys. 8. Korpus pompy wtryskowej Common Rail oraz uszkodzony wałek pompy - wytarcia całej powierzchni ze szczególnym uszkodzeniem miejsca osadzenia uszczelnacza separującego olej napędowy od oleju silnikowego  
Fig. 8. CR pump housing and damaged shaft of the pump - abrasion of the whole surface with particular damage to the set-back place of leak stopper separating fuel oil from engine oil



Źródło: Bosch Service / Source: Bosch Service

Rys. 9. Regulator ciśnienia pompy z uszkodzonym tensometrem pomiarowym  
Fig. 9. Pressure regulator of the pump with damaged measuring strain gauge



Źródło: Bosch Service / Source: Bosch Service

Rys. 10. Sekcja tłocząca pompy Common Rail  
Fig. 10. Pumping unit of the Common Rail pump

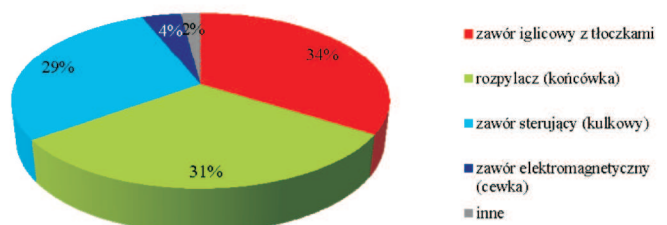


Źródło: Bosch Service / Source: Bosch Service

Rys. 11. Krzywka i sprężyny sekcji tłoczącej pompy Common Rail  
Fig. 11. Cam and springs of the pumping unit

## Uszkodzenia wtryskiwaczy

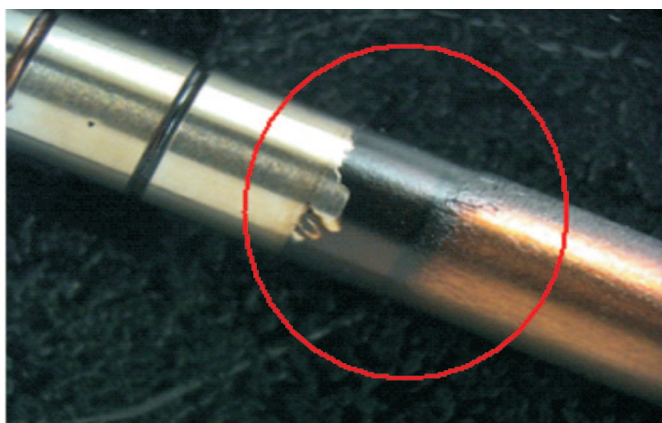
Wtryskiwacze to najbardziej nietrwałe elementy systemów wtryskowych pomp Common Rail. Poddawane są one bezpośrednio pulsacyjnym obciążeniom o ciśnieniu rzędu 200 MPa oraz obciążeniom cieplnym, które mają bezpośredni wpływ na sprawność silnika, jego osiągi, zużycie paliwa, a także emisję szkodliwych tlenków do atmosfery.



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 12. Statystyka uszkodzeń wtryskiwaczy elektromagnetycznych stosowanych w układach wysokiego ciśnienia Common Rail  
Fig. 12. Statistics of damages of injectors used in high-pressure systems CR

Jak wynika z wykresu (rys. 12) uszkodzenia wtryskiwaczy elektromagnetycznych najczęściej dotyczyły zaworu iglicowego (34%), na drugim miejscu (31%) - rozpylaczy, na trzecim miejscu zaworów sterujących (29%) oraz zaworów elektromagnetycznych (4%) i innych 2%.



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 13. Wżery korozyjne na popychaczu iglicy (rozpylacz Common Rail-Bosch)

Fig. 13. Corrosive pits on follower of needle (nozzle Common Rail-Bosch)



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 14. Przegrzanie i zmiana struktur końcówki (rozpylacz Common Rail-Bosch)

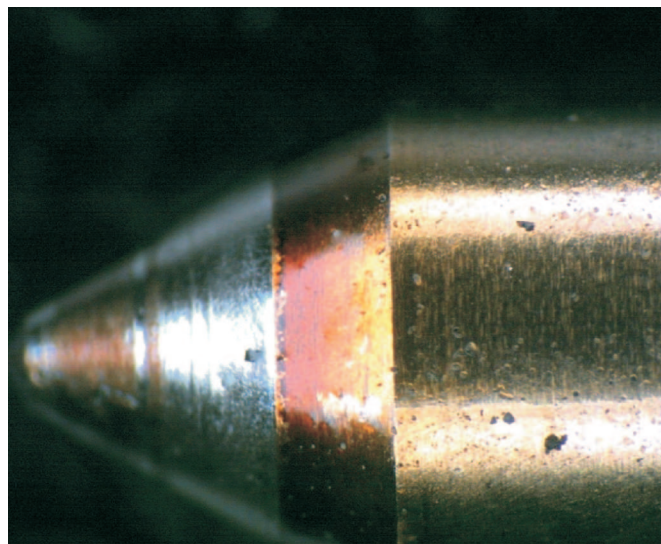
Fig. 14. Overheating and change in the structure of the pin (nozzle Common Rail-Bosch)



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 15. Uszkodzenie gniazda zaworu sterującego (Common Rail-Bosch)

Fig. 15. Damage to the control valve sea (Common Rail-Bosch)

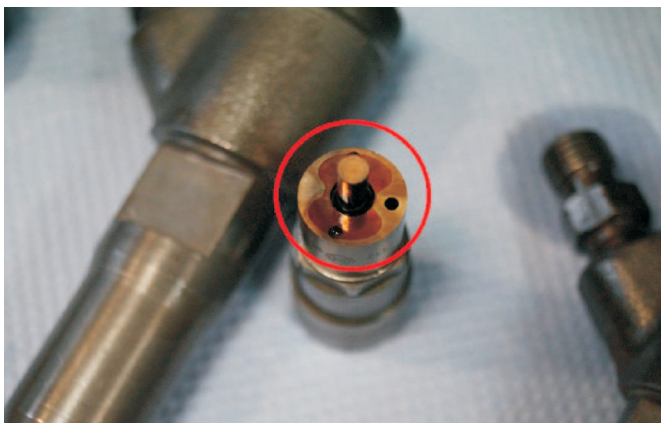


Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 16. Iglica-wżery korozyjne, utrata wymiaru (rozpylacz Common Rail-Bosch)

Fig. 16. Needle- corrosive pits, loss of dimension (nozzle Common Rail-Bosch)

Zdjęcia mikroskopowe zaawansowanych zmian stanu stożkowej powierzchni iglicy i gniazda wykonane zostały mikroskopem cyfrowym D.O. Smart ze specjalistycznym oświetleniem światłowodowym.



Źródło: firma Gładyszek / Source: Gładyszek Company

Rys. 17. Wżery korozyjne na rozpylaczu wtryskiwacza i iglicy pod wpływem siarki i wody

Fig. 17. Corrosive pits on the nozzle of injector and needle affected by Sulphur and water /



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 18. Zawór iglicowy wtryskiwacza Common Rail BOSCH; widoczny żółtawy nalot ma związek ze stosowaniem biopaliw oraz działaniem kwasów organicznych zawartych w paliwie

Fig. 18. Needle valve of the nozzle CR BOSCH; visible yellowish deposit resulting from biofuels' use and effect of organic acids contained in fuel



Źródło: firma Gładyszek / Source: Gładyszek Company

Rys. 19. Zużycie tarciowo-korozyjne tłoczka zaworu sterującego oraz popychacza iglicy (Common Rail)

Fig. 19. Corrosive-friction wear of control valve piston and needle follower. (Common Rail)

Analizując zużycie podzespołów układu wtryskowego obserwuje się korozję tarciową. Jest to rodzaj zniszczenia, który występuje w parach precyzyjnych dobrze pasowanych, smarowanych i chłodzonych olejem napędowym. W szczególnie trudnych warunkach pracują rozpylacze, będące pod działaniem kilku czynników zużycia, a także tzw. erozji kawitacyjnej. Zjawiskiem częstym jest „zakoksywywanie” końcówek, co zaburza proces rozpylania paliwa. Szczególnie dotyczy to biopaliw, gdzie zwiększanie zawartości FAME w oleju napędowym wywołuje intensywne „zakoksywanie” rozpylaczy wtryskiwaczy [3]. Daje się obserwować zwiększone zużycia w obszarze rowków sterujących w pompach rzędowych w postaci wżerów, mikrowgłębieni, rysów oraz substancji lakowych, które powodują niedokładność odmie-

rzania kolejnych dawek paliwa oraz rozrzuty w wyprzedzeniu wtrysku (rys. 13-19). Objawia się to nieregularną pracą silnika szczególnie na biegu jałowym.

### Czynniki eksploatacyjne warunkujące niezawodność układów wtryskowych

Z badań wielu autorów [1, 6, 11] wynika, że na stan techniczny pojazdów w okresie eksploatacji ma wpływ przede wszystkim właściwy dobór materiałów eksploatacyjnych oraz prawidłowo przeprowadzone czynności serwisowe z zachowaniem zalecanych przez producenta czasokresów i w odpowiednim zakresie. Obserwacje w zakresie eksploatacji układów wtrysku oleju napędowego wskazują, że dość często uzyskują one stan niezdatności. Powstanie stanu niezdatności wiąże się zazwyczaj z nieodpowiednimi właściwościami stosowanego paliwa, a zwłaszcza jego zanieczyszczeniami stałymi, bądź obecnością domieszek paliw roślinnych [2, 3]. Dopuszczalną wartość zanieczyszczeń stałych w paliwie określa się zgodnie z normą PNEN 590/2006 na poniżej 24 mg/kg paliwa. Należy zauważyć, że podana wartość obowiązywała również w czasach powszechnej eksploatacji konwencjonalnych układów wtryskowych i nie uległa zmianie. Obecność tego typu zanieczyszczeń w paliwie (cząstki smoły i asfaltu), rdzy oraz odprysków emalii wynika z procesów rafinacji, transportu i dystrybucji olejów napędowych. Olej napędowy może zawierać wodę w postaci związanej (emulsja) lub niezwiązanej (wolna). Wolna woda powstaje na skutek zmian temperatury (skraplanie). W przypadku dostania się jej do układu wtryskowego może spowodować uszkodzenie korozyjne.

Filtry paliwa i powietrza to podstawowe elementy eksploatacyjne pojazdu. Jak każda część zużywają się wraz z upływem czasu. Należy przestrzegać bezwzględnie zaleceń producenta i regularnie je wymieniać [1]. W silniku np. ciągnika Johne Deere 6R wyposażonego w układ wtrysku paliwa Common Rail stosowane są dwustopniowe filtry paliwa (wstępny 10  $\mu\text{m}$  i końcowy 2  $\mu\text{m}$ ) z separatorem wody i cięższych zanieczyszczeń; przystosowanym do szybkiego usuwania osadów stałych. Filtry paliwowe potrafią zatrzymać ponad 98% cząstek o średnicy 2-4  $\mu\text{m}$ . Dotyczy to zarówno filtrów paliwa, jak i powietrza. Wskutek zanieczyszczeń filtra powietrza wzrastają coraz bardziej opory przepływu powietrza przez wkład, co utrudnia dopływ dostatecznej ilości powietrza do cylindrów. Powoduje to powolny spadek mocy oraz znacznie zwiększone zużycie paliwa.

### Podsumowanie

Przedstawiono i opisano najczęściej występujące uszkodzenia układów wtryskowych ciągników rolniczych oraz wskazano najbardziej prawdopodobną przyczynę ich powstania. Przeprowadzone badania oraz ich analiza pozwalają na sformułowanie następujących wniosków. Powodem stanu

niezdatności elementów układu wtrysku paliwa pojazdów była najczęściej zwiększona zawartość wody, powodująca korozję oraz zanieczyszczenia chemiczne lub stałe doprowadzające do porysowania, wytarcia lub zatarcia elementów, które smarowane są paliwem. Zauważono również, że na powstanie niezdatności podzespołów układu wtryskowego ma wpływ wiele nieprawidłowości związanych z obsługą (brak regularnej wymiany filtrów paliwa, występujące tendencje do przechodzenia na paliwo gorszej jakości, nie spełniające norm jakościowych). W nowoczesnych ciągnikach XXI wieku z nowoczesnymi silnikami Diesla, z elektronicznie sterowanym wysokowydajnym wtryskiem paliwa stosowanie niewłaściwego paliwa może spowodować natychmiastową awarię podzespołów układu wtryskowego - szczególnie wtryskiwaczy piezoelektrycznych, elektromagnetycznych, turbosprężarki, układu recyrkulacji spalin, filtru DPF. Bezwzględnie należy stosować paliwa najwyższej jakości klasy PREMIUM gatunek 1, ewentualnie dobrej jakości - gatunek 2. Aparatura wtryskowa *Common Rail* wymaga od użytkowników zwrócenia uwagi na jakość paliwa oraz regularną wymianę filtrów dobrej jakości.

## Bibliografia

- [1] Buchwald T.: Analiza porównawcza wybranych procesów utrzymywania maszyn i ciągników rolniczych. Inżynieria Rolnicza, 2013, 3(145), 9-16.
- [2] Bocheński C.: Wpływ ciśnienia wtrysku i lepkości oleju napędowego na proces rozpylenia paliwa w silnikach ZS. MOTROL, 2004, 6, 5-7.
- [3] Bocheński C.: Biopaliwa w rolnictwie. Inżynieria Rolnicza, 2008, 1(99).
- [4] Falkowski H., Janiszewski T., Łojek A.: Aparatura paliwowa silników wysokoprężnych. Część II. Naprawa. Warszawa: WKiŁ, 1985.
- [5] Huhtala, K., Vilenius, M.: Study of a common rail fuel injection. System SAE Technical Paper, 2001-01-3184.
- [6] Jósko M., Kołodziejczyk D.: Wybrane problemy eksploatacyjne pojazdów i maszyn rolniczych w zakresie ich serwisowania. Przegląd Techniki Rolniczej, Ogrodniczej i Leśnej, 2008, 2.
- [7] Kowalczyk S., Orzełowski S.: Naprawa pojazdów samochodowych. Warszawa: WSiP, 2013.
- [8] Luft S.: Podstawy budowy silników. Warszawa: WKiŁ, 2011.
- [9] Rybacki P., Rzeźnik Cz., Durczak K.: Badanie uszkodzeń nowoczesnych ciągników rolniczych. Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna, 2011, 2.
- [10] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady Nr 715/2007 z dnia 20 czerwca 2007 r., w sprawie homologacji typu pojazdów silnikowych w odniesieniu do emisji zanieczyszczeń z lekkich pojazdów pasażerskich i użytkowych (EURO 5-EURO6).
- [11] Serwis techniczny maszyn rolniczych. Poznań: Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego, 2010.
- [12] [www.delphi.com/manufacturers/cv/powertrain/common-rail-systems/f2distributed-pump-diesel](http://www.delphi.com/manufacturers/cv/powertrain/common-rail-systems/f2distributed-pump-diesel).

## DAMAGE TO THE INJECTION SYSTEMS AND HIGH PRESSURE COMMON RAIL IN AGRICULTURAL TRACTORS

### Summary

*The article presents an analysis of the processes occurring in the fuel systems leading to damage to the injection equipment of farm vehicles. There are described and discussed the most common causes of unfitness in the operation of conventional injection systems and high-pressure common-rail due to, among others, poor quality of diesel fuel. We executed the microscopic examinations of the worn out pistons surface of pairs pumping fuel of injection pumps where in addition to the wear on the working surface of pistons the phenomenon of absorbed "lakes" of fuel was observed. Work was based on data from service companies operating in the province Podkarpackie and companies involved in repair of injection systems.*

**Key words:** farm tractor, operation, fuel quality, fuel, injection system



# KOSZTY PRACY MASZYN LEŚNYCH

ISBN 978-83-927505-2-9

Książka adresowana jest przede wszystkim do prywatnych przedsiębiorców Leśnych, Służb Leśnych i pracowników technicznych w Nadleśnictwach, Dyrekcjach Regionalnych oraz Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych i ma na celu przedstawienie sposobu wyliczenia kosztów usług maszynowych wykonywanych w lasach.

Wydawca: Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych  
60-963 Poznań, ul. Starołęcka 31  
tel. 061 87-12-200; fax 061 879-32-62;  
e-mail: [office@pimr.poznan.pl](mailto:office@pimr.poznan.pl); Internet: <http://www.pimr.poznan.pl>