

# WPLYW CZYNNIKÓW EKSPLOATACYJNYCH NA USZKODZENIA NOWOCZESNYCH SILNIKÓW CIĄGNIKÓW ROLNICZYCH

Streszczenie

Przedstawiono wybrane czynniki mające wpływ na niezdatność poszczególnych układów w silnikach ciągników rolniczych. Przeprowadzono badania uszkodzeń zespołów silników w grupie 50 ciągników John Deere o mocy 50-400 kW w autorzowanym serwisie specjalizującym się w naprawach bieżących i głównych silników ciągników dokonując analizy uszkodzalności poszczególnych podzespołów silników. Przeprowadzono analizę przebiegów zużyciowych niezdatności mechanicznych, elektrycznych i elektronicznych po przepracowaniu 3000 mtg. W artykule przedstawiono rodzaje zużytych elementów silnika i aparatury wtryskowej, która w przeprowadzonych badaniach jest przyczyną awarii silników w około 35% przypadków. Przeprowadzono również analizę losowo wybranych próbek paliwa na zawartość siarki z układów wtryskowych ciągników.

**Słowa kluczowe:** silnik spalinowy, uszkodzenia układów, czynniki eksploatacyjne, przebiegi zużyciowe

## Wstęp

Wymagania stawiane rolnictwu spowodowały konieczność wprowadzenia na rynek nowych typów ciągników. Charakteryzują się one wysoką wydajnością, dużą trwałością i niezawodnością. Wyposażone w dużą ilość systemów elektronicznych sterowania i kontroli gwarantują użytkownikom pojazdów rolniczych wysoki komfort pracy, podwyższając osiągi silnika i zapewniają bardziej ekonomiczną pracę. Powodują jednak znaczne trudności przy wystąpieniu jakichkolwiek nieprawidłowości w funkcjonowaniu mechanizmów i podzespołów. Nowe „ekologiczne” jednostki napędowe wyposażane są w precyzyjne, wrażliwe na jakość paliwa układy wtryskowe, skomplikowane turbosprężarki i układy sterowania elektronicznego, które muszą sprostać restrykcyjnym normom Euro 6 w zakresie emisji spalin [9]. Z badań literaturowych [2, 10, 11] wynika, że przyczyną powstawania niesprawności mogą być również: wadliwe wykonanie pod względem technologicznym i technicznym części, podzespołu, niewłaściwa eksploatacja, np. uszkodzenia mechaniczne lub stosowanie niewłaściwych materiałów eksploatacyjnych. Produkowane obecnie pojazdy rolnicze charakteryzują się dużym wyężeniem, to znaczy znacznym nasileniem oddziaływań czynników cieplnych, mechanicznych oraz chemicznych, co prowadzi do znacznej intensyfikacji procesów starzenia i zużycia (na skutek korozji, tarcia, zmęczenia materiału). Reasumując, stan techniczny pojazdów rolniczych ulega systematycznym zmianom w okresie eksploatacji bez względu na stopień zaawansowania technologicznego i technicznego.

Do czynników eksploatacyjnych, mających bezpośredni wpływ na stan techniczny należą:

- rodzaj wykonywanych prac polowo-transportowych: pojazdy rolnicze pracują w szczególnie trudnych warunkach dużego zapylenia oraz zmiennych i dużych obciążeniach,
- warunki atmosferyczne, tj. opady deszczu i śniegu, wilgotność, zanieczyszczenie,
- wahania temperatury powietrza w ciągu doby,
- przyjęty system eksploatacji,
- jakość stosowanych materiałów eksploatacyjnych,
- stosowanie części zamiennych o właściwym poziomie jakości.

Szczegółowa analiza zużycia elementów mechanicznych ciągników stosowanych w rolnictwie wskazuje na różnorodny jego przebieg i przyczyny je wywołujące. Czynniki decydujące o szybkości i rodzaju uszkodzeń to:

- zwiększanie luzów w parach kinematycznych,
- osłabienie mocowania elementów,
- zmiana nastaw regulacyjnych,
- wyczerpanie się zasobu eksploatacyjnego (rezerwu),
- przekroczenia dopuszczalnych wartości wymuszeń, obciążenia, przyspieszenia oraz zaistniałe efekty termiczne,
- błędy operatora.

## Charakterystyka występujących usterek silników

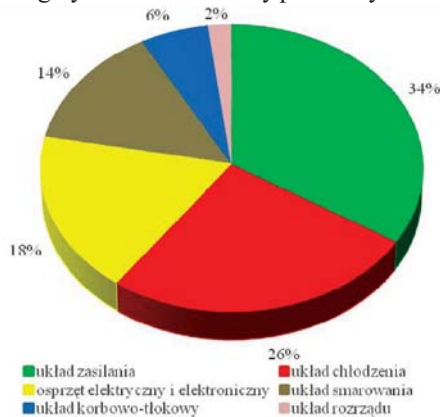
Na intensywność i charakter uszkodzeń ciągników wpływa również system profilaktycznej obsługi oraz jego faktyczna realizacja w eksploatacji pojazdów. Warunkiem koniecznym utrzymania pojazdów, ich układów i zespołów w stanie sprawności technicznej jest ciągłe diagnozowanie i prognozowanie jego stanów technicznych [6, 12]. Okresy międzynaprawcze silników współczesnych ciągników rolniczych przekraczają kilkanaście sezonów, przy rocznej eksploatacji średnio 300 mtg, w zależności od wielkości gospodarstw i nasycenia energetycznego danego gospodarstwa. Od silników wymaga się, by pracowały w trudnych warunkach przy zmiennych obciążeniach, w warunkach dużego zapylenia i wilgotności powietrza. Jak wykazują wyniki badań prowadzonych przez wielu autorów, główną przyczyną uszkodzeń współczesnych silników jest stosowanie zanieczyszczonych paliw napędowych [1, 4, 7]. Szczegółowa analiza zużycia elementów mechanizmów ciągników stosowanych w rolnictwie wskazuje na różnorodny jego przebieg. Na ogół nie ma jednego oddziaływania i rodzaju na procesy zużyciowe, ale zawsze jest ten wiodący, dominujący [3, 5]. Najczęściej obserwuje się zużycie powierzchniowe, charakteryzujące się ubytkami warstwy wierzchniej spowodowanymi obciążeniem kontaktowym. Ze względu na rodzaj uszkodzeń można wyróżnić uszkodzenia pierwotne (niezależne) oraz wtórne (zależne). Uszkodzenia wtórne są skutkami powstałych wcześniej uszkodzeń pierwotnych, np. zatarcie silnika (uszkodzenie wtórne) na skutek usterki w układzie smarowania (uszkodzenie pierwotne).

## Metodyka badań

W pierwszej połowie 2017 r. w firmie TECHBUD specjalizującej się w kompleksowych naprawach głównych oraz bieżących silników wysokoprężnych przeprowadzono badania uszkodzeń zespołów silników wielocylindrowych w grupie 50 ciągników John Deere. Przeprowadzone badania dowodzą, że następstwem awarii silników w ponad 30% przypadków było uszkodzenie układu paliwowego. Statystyka uszkodzeń układów silników i ich osprzętu (rys. 1) przedstawia się następująco:

1. układ korbowo-tłokowy - 3 uszk. (6%),
2. układ rozrządu - 1 uszk. (2%),
3. układ smarowania - 7 uszk. (14%),
4. układ zasilania - 17 uszk. (34%),
5. układ chłodzenia - 13 uszk. (26%),
6. osprzęt elektryczny i elektroniczny - 9 uszk. (18%).

Awariom ulegały również elementy pozostałych układów.

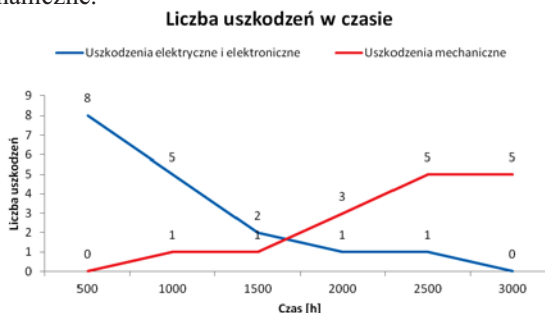


Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 1. Udział poszczególnych uszkodzeń zespołów w silnikach ciągników marki John Deere o mocy 50-400 kW w grupie poddanej badaniom w firmie TECHBUD

Fig. 1. The share of individual damages to the units in John Deere tractors of 50-400 kW in the TECHBUD test group

Przeprowadzono również analizę uszkodzeń ciągników po okresie gwarancyjnym na grupie reprezentatywnej 60 ciągników po przepracowaniu 3000 mtg. Podczas eksploatacji ciągników dochodzi do różnego rodzaju zużyć, które są zmienne w całym okresie eksploatacji. Obserwuje się narastanie ilościowe pewnych usterek do pewnego okresu pracy, zmniejszenie intensywności ich występowania oraz pojawianie nowego rodzaju usterek. Przedstawiono je na rys. 2 z podziałem na uszkodzenia elektryczne i elektroniczne oraz uszkodzenia mechaniczne.



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 2. Przebiegi zużyciowe silników ciągników rolniczych

Fig. 2. Wear patterns of agricultural tractor motors

Usterki w silnikach ciągników szeregują się w pewien zmienny ciąg w zależności od liczby przepracowanych godzin. Zmniejsza się wraz z przebiegiem liczba usterek elektrycznych

i elektronicznych, tj. usterek okablowania, usterek czujników (sensorów) o różnym przeznaczeniu, aktuatorów, awarii klimatyzacji itp., wzrasta natomiast liczba uszkodzeń mechanicznych związanych z układami w ciągniku, np. elementy cierne sprzęgieł wiskotycznych, elektrozawory modułacyjne sprzęgieł, niesprawności wynikające z utraty szczelności układów silnika i układów hydraulicznych. Najczęstsze usterki układów napędowych to uszkodzenia łożysk i uszkodzenia synchronizatorów w skrzyniach manualnych.

Bardzo duży wpływ na uszkodzenie mechaniczne w układach korbowo-tłokowych, smarowania mają interwały pomiędzy wymianami oleju w silniku, filtry paliwa, jak i zasiarczenie oleju napędowego, nieprzestrzeganie terminów i przebiegów okresowych przeglądów silnika (diagnostyka, pomiary, regulacje, wymiana materiałów i płynów eksploatacyjnych), niezwracanie uwagi na symptomy nieprawidłowej pracy silnika.

## Wpływ zanieczyszczeń paliwa na uszkodzenia układu wtryskowego

**Zawartość siarki.** Parametr świadczący o tym, czy olej napędowy jest przyjazny dla środowiska. W ostatnich latach ten parametr był najczęściej ograniczany w oleju napędowym, ponieważ stanowi źródło emisji dwutlenku siarki do powietrza. Zmniejszanie zawartości siarki w olejach napędowych jest również wynikiem doświadczeń z silnikami Diesla, w których stwierdza się znaczny udział związków siarki w tworzeniu bardzo twardych nagarów stanowiących przyczynę uszkodzeń silnika. Norma PN-EN 590 określa zawartość siarki w oleju napędowym na poziomie  $\leq 10 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  [8]. W normie europejskiej często wartość ta jest podawana, jako 10 ppm (*parts per milion*). Zawartość siarki w paliwie ma duże znaczenie ekologiczne - zbyt duża jej zawartość powoduje pogorszenie jakości spalin oraz może uszkodzić katalizator spalin, co wiąże się ze sporym wydatkiem. Zasiarczenie wpływa na starzenie się oleju.

**Zawartość wody.** Woda powoduje rozwój procesów korozyjnych w układzie paliwowym, a poza tym w sezonie zimowym staje się katalizatorem powstawania dużych kryształów parafinowych, które zatykają filtr paliwa. Norma PN-EN 590 przewiduje zawartość wody w oleju napędowym na poziomie  $\leq 200 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  [8]. Stosowanie zawodnionego paliwa może spowodować korozję, a następnie zatarcie pomp wtryskowych i wtryskiwaczy. Widoczne na rys. 3 i 4 uszkodzenia głowicy i elementów układu wtryskowego są najczęściej spotykanym w praktyce efektem zastosowania paliw o niewłaściwych parametrach. Jednocześnie wykluczają one wady produkcyjne, nieprawidłowy montaż fabryczny oraz regulację i jednoznacznie kwalifikują uszkodzenie do wad nabytych w trakcie eksploatacji.

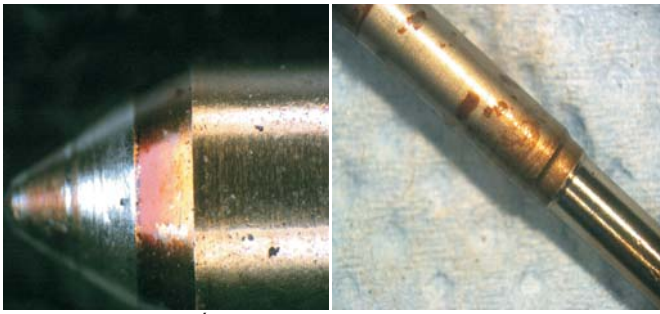


Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 3. Głowica pokryta produktami spalania, m.in. popioły siarczanowe, które nie ulegają wypaleniu

Rys. 3. Lower head cover covered with combustion products, among others sulphated ashes that do not burn out





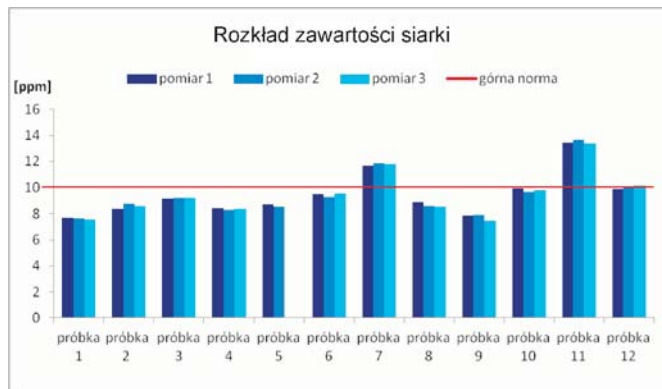
Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 4. Wzery korozyjne na iglicy wtryskiwacza (z lewej), głęboka korozja wżerowa iglicy (z prawej)  
Fig. 4. Pitting corrosion on the needle of the injector needle (on the left), deep pitted corrosion of the needle (on the right)

#### Analiza próbek paliwa pobranych z układów paliwowych

Próbki pobrano losowo z ciągników na terenie powiatu przeworskiego zaopatrujących się w olej napędowy w różnych stacjach paliw i firmowych dystrybutorów. Pomiarów próbek wykonano zgodnie z obowiązującymi normami i metodyką: PN-EN ISO 20884:2012 - wersja polska - Przetwory naftowe - Oznaczanie zawartości siarki w paliwach do pojazdów samochodowych - Rentgenowska spektrometria fluorescencyjna z dyspersją fali.

Badania próbek paliwa wykazały, że w 17% wszystkich analizowanych przypadków wykryto zwiększoną ilość siarki w granicach powyżej 10% normy (rys. 5).



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 5. Rozkład zawartości siarki w analizowanych próbkach  
Fig. 5. Distribution of sulfur content in analyzed samples

Warte podkreślenia jest dotrzymanie - w większości - wymagań jakościowych przez producentów olejów napędowych zgodnie z normą PN-EN 590:2013-12.

Z danych Urzędu Ochrony Konsumenta oraz Inspekcji Handlowej z roku na rok poprawia się jakość oleju napędowego.

#### Wpływ obecności powietrza w systemie paliwowym na uszkodzenia elementów układu

Często przyczyną niedomagań w pracy silnika może być zapowietrzenie się układu zasilania wynikające z nieszczelności układu, pęknięcia lub przetarcia się przewodu paliwowego, a także zapchania filtrów jako rezultat rozszczelnienia się filtra paliwa. Typowe objawy to: silnik daje się uruchomić, lecz po chwili gaśnie. Zapowietrzenie instalacji paliwowej (nadmierna ilość powietrza) wpływa na przyspieszone zużycie podzespołów układu wtryskowego (brak smarowania elementów paliwem, uderzenia elementów o siebie z po-

wodu braku płynu). Oznaką wizualną zapowietrzenia są pęcherzyki powietrza w przewodach przelewowych i wypływające śrubami odpowietrzającymi podczas przepompowania układu. Trzecią z najczęstszych przyczyn niedomagań jest naturalne zapowietrzenie układu podczas wymiany wkładu filtra paliwa albo przy innych pracach związanych z układem wtryskowym. Jeżeli konstrukcja silnika nie przewiduje samoczynnego odpowietrzenia go, trzeba przeprowadzić całą operację ręcznie. Obecność pęcherzyków powietrza w separatorze oraz miejsca przedostawania się powietrza do instalacji paliwowej pokazano na rys. 6-7.

a)



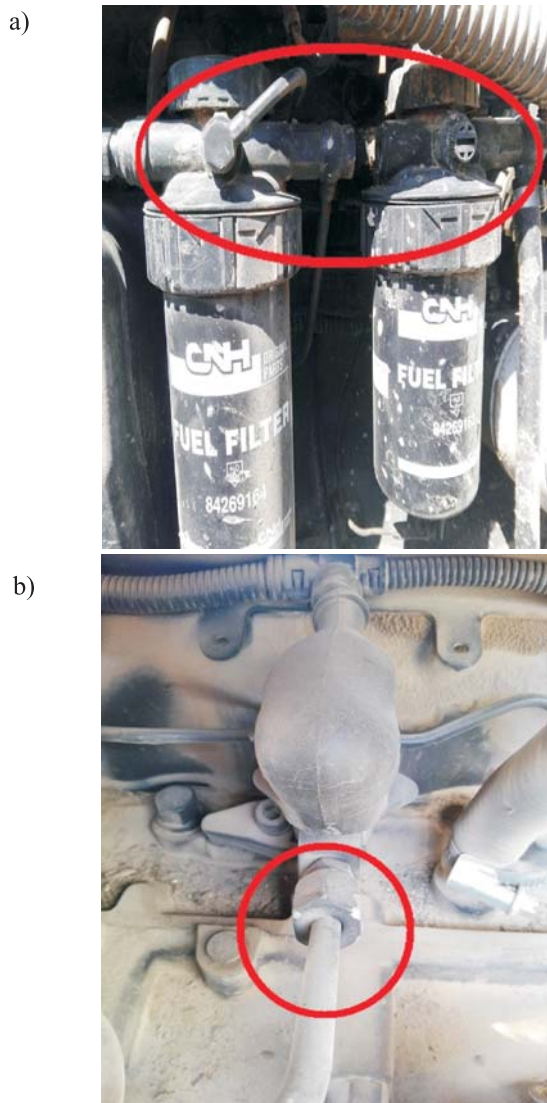
b)



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 6. Odstojnik paliwa niezapowietrzonego ciągnika John Deere 6150R (a), odstojnik paliwa w ciągniku Claas Arion (b): 1 - czujnik wody w filtrze paliwa informuje operatora o wodzie w paliwie, 2 - korek do zlewania wody z filtra  
Fig. 6. John Deere 6150R non-aerated fuel tank (a), fuel tank in the Claas Arion tractor (b): 1 - the water sensor in the fuel filter informs the operator of the water in the fuel, 2 - the filter plug for the water

Obecność powietrza w paliwie jest dopuszczalna jednak w niewielkiej ilości. Obserwując w przezroczystej rurce przepływ paliwa z pompy podającej do filtra dokładnego oczyszczania dopuszczalna jest pojedyncza strużka pęcherzy powietrza o średnicy nie większej niż  $\varnothing 1,6$  mm lub przepływ większego pęcherza powietrza do średnicy ok.  $\varnothing 6$  mm, ale z częstotliwością nie większą niż co 2-3 sekundy.



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 7. Uszkodzenia uszczelnienia filtrów oraz O-ringów po stronie niskiego ciśnienia ciągnika Case Maxxum (a), uszkodzenia miedzianych podkładek uszczelniających przewody paliwowe - strona niskiego ciśnienia (b)

Fig. 7. Damage to the filter seals and O-rings on the low pressure side of the Case Maxxum tractor (a), the damage of the copper sealing pads fuel lines - low pressure side (b)

### Podsumowanie

W artykule przedstawiono rodzaje uszkodzeń najnowszych silników ciągników spowodowane przez wybrane czynniki eksploatacyjne, mające istotny wpływ na trwałość i niezawodność.

wodność. Należy do nich stosowanie niewłaściwych lub niezgodnych ze specyfikacjami producenta środków eksploatacyjnych. Jak wykazują wyniki badań prowadzonych przez wielu autorów, główną przyczyną uszkodzeń współczesnych silników jest niewłaściwa eksploatacja silnika przez stosowanie zanieczyszczonych paliw napędowych. Obserwacje w zakresie eksploatacji układów wtrysku oraz przeprowadzone badania wskazują, że dość często uzyskują one stan niezdatności. Powstanie stanu niezdatności wiąże się zazwyczaj z nieodpowiednimi właściwościami stosowanego paliwa, podwyższoną zawartością siarki, a także zanieczyszczeniami stałymi, bądź obecnością domieszek paliw roślinnych. Dużym problemem dla nowoczesnych silników Diesla, oprócz stosowania paliw niskiej jakości, jest stosowanie zwykłego oleju napędowego. W Polsce zwykły olej napędowy jest bardzo zaszczepiony, co ma wpływ na powstawanie usterek w osprzęcie silnika (m.in. w układzie wtryskowym, układzie doładowania i układzie oczyszczania spalin), który jest najmniej trwały i najdroższy w naprawach. Do nowoczesnych silników ciągników rolniczych należy stosować nowoczesne paliwo beziarkowe, czyli paliwo klasy Premium, dostępne tylko na koncernowych stacjach paliw. Należy pamiętać, że najnowsze oleje silnikowe wymagają paliwa beziarkowego ze względu na możliwość zakwaszenia oleju silnikowego.

### Bibliografia

- [1] Baczewski K., Kałdoński T.: Paliwa do silników o zapłonie samoczynnym. Wyd. WKiŁ, Warszawa 2008.
- [2] Buchwald T. Analiza porównawcza wybranych procesów utrzymania maszyn i ciągników rolniczych. Inżynieria Rolnicza, 2013, 3(145), 9-16.
- [3] Hebda M., Wachal A.: Trybologia. Wyd. WNT, Warszawa 1980.
- [4] Jóska M., Kołodziejczyk D.: Wybrane problemy eksploatacyjne pojazdów i maszyn rolniczych w zakresie ich serwisowania. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, 2008, 2.
- [5] Klimkiewicz M., Bocheński C.: Trwałość i niezawodność maszyn. Wyd. SGGW, Warszawa 1993.
- [6] Kubiak P., Zalewski M.: Pracownia diagnostyki pojazdów samochodowych. Wyd. WKiŁ, Warszawa 2014.
- [7] Podniało A.: Paliwa, oleje i smary w ekologicznej eksploatacji. Wyd. WNT, Warszawa 2002.
- [8] Rozporządzenie Ministra Gospodarki w sprawie wymagań jakościowych dla paliw ciekłych z dnia 9 października 2015 r. w sprawie wymagań jakościowych dla paliw ciekłych. Dziennik Ustaw 2015 r. poz. 1680.
- [9] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady Nr.5715/2007 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-EURO 6).
- [10] Rybacki P., Durczak K.: Wyniki badań uszkodzeń awaryjnych wybranej grupy ciągników rolniczych. Inżynieria Rolnicza, 2010 5(123).
- [11] Serwis techniczny maszyn rolniczych. Poznań; Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego, 2010.
- [12] Wróblewski P., Kupiec J.: Diagnostyka podzespołów i zespołów pojazdów samochodowych. Wyd. WKiŁ, Warszawa 2015.

## INFLUENCE OF OPERATIONAL FACTORS ON DAMAGES OF MODERN ENGINES OF AGRICULTURAL TRACTORS

### Summary

This article presents many factors which have influence on unfitness of individual engine systems of agricultural tractors. The research was carried out into damages of engine units in group of 50 John Deere tractors with power of 50-400 kW in authorized service specialised in current and main repairs of tractor engines and analyses of individual engine subassemblies were performed. The analysis of wear patterns for mechanical, electric and electronic unfitness was performed to a course of 3000 h. The article presents the types of wear occurring in engine elements and injection equipment that is a reason of failure of engine in about 35% of cases. The randomly chosen samples of fuel were analyzed in terms of content of sulfur from tractor injection systems.

**Key words:** internal-combustion engine, damages of systems, operational factors, wear patterns