

IDZIOR Marek<sup>1</sup>  
 BAJERLEIN Maciej<sup>2</sup>  
 KARPIUK Wojciech<sup>3</sup>  
 BIELIŃSKI Maciej<sup>4</sup>  
 BOROWCZYK Tomasz<sup>5</sup>  
 DASZKIEWICZ Paweł<sup>6</sup>  
 STOBNICKI Paweł<sup>7</sup>

## Analiza uszkodzalności silnika dwusuwowego w aspekcie regulacji i eksploatacji

*Silniki dwusuwowe, eksploatacja, zatarcie  
mieszanka uboga, pilarka łańcuchowa*

### Streszczenie

Artykuł przedstawia dyskusję na temat możliwości wystąpienia uszkodzeń silnika dwusuwowego stosowanego we współczesnych pilarkach łańcuchowych. W zarysie prezentuje opis budowy silników aplikowanych do pilarek, uwzględniając nowe trendy konstrukcyjne. Ponadto zawiera informacje dotyczące przyczyn uszkodzeń silników pilarek łańcuchowych, ze szczególnym uwzględnieniem możliwości zatarcia tłoka w cylindrze silnika. Przedstawia wyniki badań zatartego silnika i wyjaśnia przyczyny jego uszkodzenia. Teoretyczna i praktyczna analiza zjawiska zakończona została wnioskami.

### ANALYSIS OF FAILURE PROCESSES TWO-STROKE ENGINES IN ASPECT OF CONTROL AND OPERATION

### Abstract

This article presents a discussion on the possibility of damage to a two stroke engine applied in modern chainsaws. In outline presents a description of the construction of engines used in chain saws, taking into account new trends in design. It also contains information about the causes of engine damage to chainsaws, with particular emphasis on causes of seizure the piston in the cylinder. Also presents the results of seized engine and explain the reasons for its failure. Theoretical and practical analysis of the phenomenon has been completed applications.

### 1. WSTĘP

Dwusuwowe silnik benzynowe małej mocy, są nadal wykorzystywane do budowy układów napędowych maszyn i pojazdów. W odróżnieniu od silników czterosuwowych posiadają inne cechy konstrukcyjne, przede wszystkim wynikające z zastosowania innego typu układów rozrządu, smarowania oraz chłodzenia.

W obecnych aplikacjach silnik dwusuwowy projektowany jest najczęściej jako jednostka wysokoobrotowa, wykorzystywana m.in. sportach motorowodnych, motorowerach oraz w maszynach użytkowych niewielkich rozmiarów, takich jak pilarki łańcuchowe, kosy spalinowe, kosiarki etc. Z wymienionych grup, stosowanie silnika dwusuwowego najbardziej rozpowszechnione jest w maszynach stosowanych w rolnictwie, ogrodnictwie i leśnictwie. Szczególnie w maszynach ręcznych, gdyż posiada wysoki, masowy wskaźnik mocy (dla pilarek łańcuchowych wynosi on 1,5 – 3,5 kg/kW). W artykule postanowiono zająć się problematyką silników dwusuwowych stosowanych w wspomnianych pilarkach spalinowych, ze względu na powszechność użytkowania a przez to i usterkowość tych urządzeń.

<sup>1</sup> Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań.  
Tel: + 48 61 665-23-55, Fax: + 48 61 665-22-04, E-mail: marek.idzior@put.poznan.pl

<sup>2</sup> Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań.  
Tel: + 48 61 665-22-07, Fax: + 48 61 665-22-04, E-mail: maciej.bajerlein@put.poznan.pl

<sup>3</sup> Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań.  
Tel: + 48 61 665-20-49, Fax: + 48 61 665-22-04, E-mail: wojciech.karpiuk@put.poznan.pl

<sup>4</sup> Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań.  
Tel: + 48 61 647-58-62, Fax: + 48 61 665-22-04, E-mail: maciej.bieliński@doctorate.put.poznan.pl

<sup>5</sup> Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań.  
Tel: + 48 61 647-58-62, Fax: + 48 61 665-22-04, E-mail: tomasz.borowczyk@doctorate.put.poznan.pl

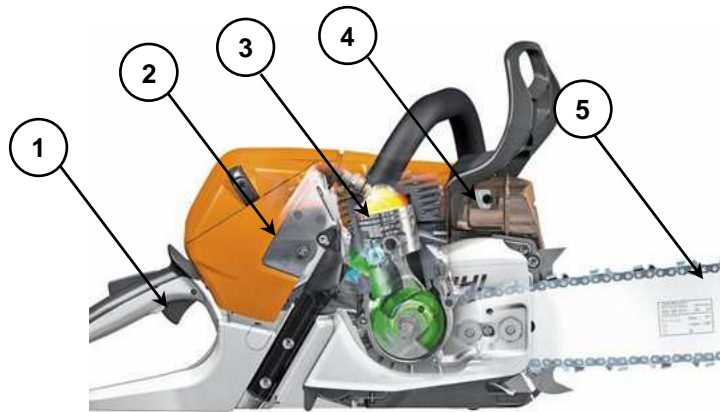
<sup>6</sup> Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań.  
Tel: + 48 61 647-58-62, Fax: + 48 61 665-22-04, E-mail: pawel.daszkiwicz@doctorate.put.poznan.pl

<sup>7</sup> Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań.  
Tel: + 48 61 665-20-49, Fax: + 48 61 665-22-04, E-mail: pawel.stobnicki@doctorate.put.poznan.pl

## 2. OPIS ZAGADNIENIA

### 2.1. Budowa współczesnej pilarki łańcuchowej

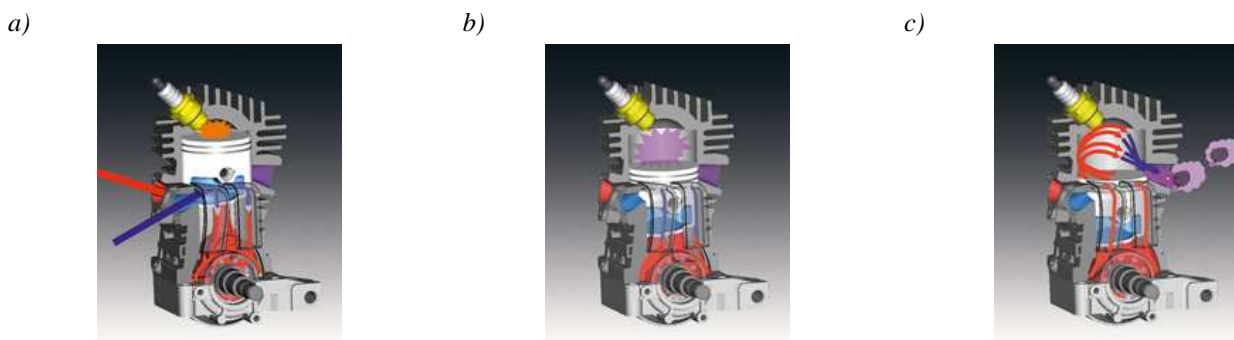
Budowę pilarki spalinowej, z wyróżnionymi niektórymi elementami przedstawiono na rys.1. Zasadą pracy silnik nie odbiega od przyjętych standardów. Powietrze zasysane jest przez silnik poprzez filtr powietrza (2), i dopływa do gaźnika, gdzie miesza się z paliwem, w którym rozpuszczony jest olej smarujący. Sterowanie przepustnicą gaźnika odbywa się dźwignią (1). Silnik (3), przy pomocy sprzęgła odśrodkowego i zębaki napędowej połączony jest z łańcuchem tnącym, którego ruch odbywa się wzdłuż prowadnicy (5).



Rys.1. Budowa współczesnej pilarki łańcuchowej z zaznaczonymi elementami składowymi (opis w tekście)[1]

### 2.2. Silniki dwusuwowe stosowane w pilarkach spalinowych

W pilarkach łańcuchowych najczęściej stosuje się silniki o pojemnościach skokowych od 30 cm<sup>3</sup> do 100 cm<sup>3</sup> i mocach od 1,2 kW do 10 kW. Od 1997 nałożono na ówczesnie produkowane silniki wykorzystywane w maszynach użytkowych normy toksyczności spalin. W 2002 normy zaostrzono, a od roku 2009 obowiązuje ostania z wprowadzonych zmian. Silniki takie sprawdza się w testach NRSC (Non-Road Stationary Cycle), dla pilarek ręcznych wykonuje się testy w trybie G3. Wprowadzone normy (także normy BHP) wymusiły na producentach intensyfikację badań nad zmniejszeniem wskaźników emisji substancji szkodliwych z silnika oraz zużycia paliwa. Prace producentów silników do pilarek dotyczy przede wszystkim poprawy systemów spalania, w szczególności fazy przepłukania, która jest najbardziej odpowiedzialna za emisję niespalonych węglowodorów i innych substancji szkodliwych w spalinach. Jednym z takich rozwiązań jest system MIX-2 wprowadzony w pilarkach firmy STIHL (rys.2).



Rys.2. Zasada działania systemu MIX-2: a) początek suwu prac – świeże powietrze trafia pod tłok, b) suw pracy – powietrze zbiera się w wolnych objętościach wyciętych w tłoku, c) okres przepłukania – powietrze wypycha spaliny z cylindra [7]

System MIX-2 działa w następujący sposób: "Podczas procesu przepłukiwania warstwa powietrza nie zawierająca paliwa zostaje umieszczona pomiędzy wydalonymi spalinami a świeżą porcją mieszanki w skrzyni korbowej silnika. Ta powietrzna poduszka redukuje straty paliwa występujące w związku z procesem przepłukiwania cylindra (czyli składniki mieszanki, które nie uległy spalaniu, wydalone wraz ze spalinami)" [7].

Innym obszarem dotyczącym silników dwusuwowych, nad którym prowadzone są prace jest mieszalnikowy układ smarowania. Jednak jak do tej pory olej smarujący, dostarczany jest do cylindra silnika i skrzyni korbowej wraz z paliwem, z którym jest uprzednio zmieszany. W większości pilarek (szczególnie o zminimalizowanych rozmiarach), olej mieszany jest z paliwem przez użytkownika w danym stosunku objętościowym. Nie ma możliwości zmiany składu mieszanki podczas pracy silnika, a co jest wymagane ze względu na prawidłowe jego działanie, szczególnie przy

generowanej zmiennej prędkości i momencie obrotowym [4]. Problem ten zostaje rozwiązany przez stworzenie szeregu zaleceń, które użytkownik powinien przestrzegać, by zapewnić prawidłowe działanie silnika i bezawaryjną pracę.

### 2.3. Zalecenia eksploatacyjne i regulacyjne silników pilarek łańcuchowych

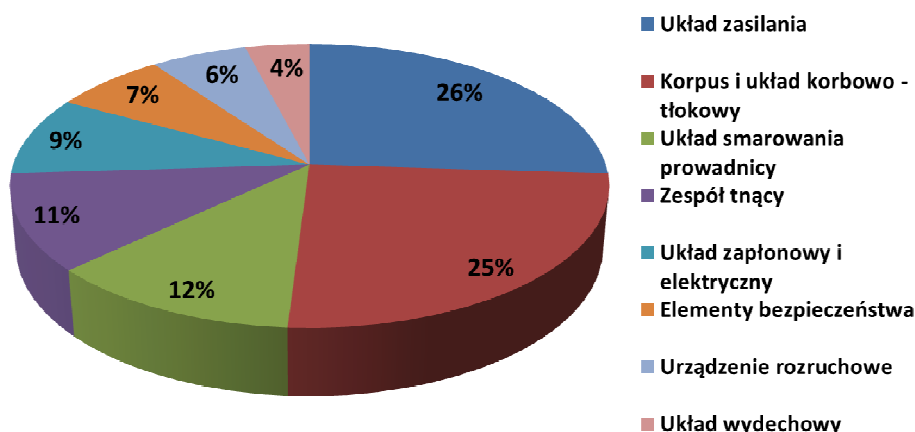
W korelacji z powyższymi informacjami, zalecenia stawiane użytkownikowi stwarzają potencjalne możliwości wystąpienia awarii pilarek ze względu na nieprawidłowości związane z regulacją oraz eksploatacją. Do zaleceń eksploatacyjnych, dotyczących silnika należy zaliczyć m.in.:

- stosowanie odpowiedniej proporcji oleju do paliwa – najczęściej wynosi 1:50,
- stosowanie odpowiedniego oleju – zgodnego z zaleceniami producenta,
- stosowanie paliwa, niezanieczyszczonego – o odpowiednim składzie chemicznym, pozbawionego wody,
- odpowiednio częsta wymiana zanieczyszczonego filtra powietrza i paliwa,
- zwrócenie uwagi na szczelność układu dolotowego i wydechowego,
- unikanie nadmiernego przeciążania urządzenia, oraz co istotne z punktu widzenia składu mieszanki paliwowo – olejowej, unikać pracy pilarki bez obciążenia przy dużych prędkościach obrotowych,
- podczas normalnej pracy, najlepiej użytkować pilarkę przy znamionowej prędkości obrotowej silnika, przy obciążeniu 75%,
- unikać pracy długotrwałej pracy urządzenia bez obciążenia.

Istotnym staje się również podanie zaleceń regulacyjnych silnika, do których zalicza się m.in.:

- prawidłową regulację gaźnika – czynnego przekroju dyszy głównej oraz dyszy biegu jałowego,
- prawidłowej regulacji urządzenia rozruchowego wzbogacającego mieszankę,
- prawidłowa regulacja ustawienia układu zapłonowego – ogranicza się jedynie do regulacji odstępu moduły zapłonowego od koła zamachowego,
- odpowiedni naciąg łańcucha i sprawność układu smarowania prowadnicy – zmniejszenie oporów stawianych silnikowi,
- prawidłowo funkcjonujące sprzęgło odśrodkowe i układ zębatkowy.

Nieprzestrzeganie powyższych zaleceń skutkuje szybkim zużyciem silnika pilarki i dysfunkcjom urządzenia. Informacje zawarte w publikacjach [uszkodzenia pilarek] potwierdzają, że szczególnie eksploatacja i regulacja silnika ma wpływ na trwałą niezawodną pracę urządzenia. Na podstawie badań opisanych w publikacji [2] ustalono, że w silnikach pilarek najczęstszemu defektowi podlega układ zasilania (26%), w tym awarie w obrębie gaźnika (zanieczyszczone dysze, nieprawidłowa regulacja oraz montaż) oraz nieszczelności układu dolotowego (rys.3). Częstym usterką (25%) ulega również układ korbowo tłokowy (zatarcia tłoka w cylindrze, układ łożyskowania) oraz korpusu silnika jak i całej pilarki (uszkodzenia mechaniczne). Około 9% niedomagań występuje w układzie zapłonowym – w szczególności świec zapłonowych oraz elektronicznych modułów zapłonu. Defekty układu wydechowego zdarzają się stosunkowo rzadko (4%) związane są m.in z niedrożnością, wynikającą z odkładania się nagaru w kanałach wydechowych cylindra i w tłumiku spalin.



Rys.3. Struktura uszkodzeń poszczególnych układów pilarek spalinowych [na podst. 2]

### 2.4. Przyczyny zacierania silników pilarek łańcuchowych

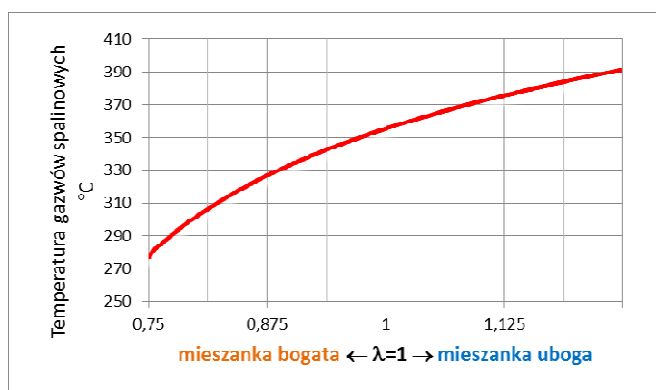
Z punktu widzenia eksploatacyjnego oraz kosztów ewentualnych napraw najbardziej niepożądane są defekty występujące w układzie korbowo – tłokowym a w szczególności zatarcie tłoka w cylindrze.

W ogólnym ujęciu zatarcie tłoka w cylindrze następuje w wyniku przekroczenia temperatury granicznej w skojarzeniu pierścienie – tłok, która zasadniczo wynika z:

- nieprawidłowości w układzie smarowania – zbyt mała ilość oleju bądź zła jego jakość doprowadza do zamian parametrów w styku; tarcie płynne zmienia się w mieszane bądź suche,
- nieprawidłowości w system spalania – zbyt wysoka temperatura procesu, wynikająca z niewłaściwego składu mieszanki paliwowo-powietrznej (spalania mieszanek ubogich) oraz nieprawidłowy moment zapłonu (źle funkcjonujący układ zapłonowy).

W odniesieniu do silników dwusuwowych stosowanych w pilarkach spalinowych gdy przyczyna zatarcia leży w układzie smarowania, wynika ona ze źle funkcjonującego układu mieszalnikowego. Szczególnie w okresie docierania silnika pilarki bardzo ważne jest przestrzeganie stosunku objętościowego paliwa i oleju. Jak wspomniano powyżej, dla większości silników wynosi on 50:1. Jeśli jest zbyt mało oleju rozpuszczonego w paliwie, który trafia wraz z nim do skrzyni korbowej, to może dojść do pogorszenia warunku smarowania w skojarzeniu pierścieni i gładzi cylindra oraz wzrostu temperatury. Choć znane są badania [5], że silniki dwusuwowe pracują poprawnie na mieszance o stosunku nawet 500:1, to jednak niewątpliwie mieszanka o uboższym składzie powoduje, że pogorszone są warunki tarcia i rośnie prawdopodobieństwo zatarcia silnika. Na parametry mieszanki znaczenie mają również fizykochemiczne właściwości paliwa, związane szczególnie z obecnością wody. Choć stosowne oleje smarujące całkowicie rozpuszczają się w paliwie, to jednak obecność wody pogarsza rozpuszczalność, a w związku z tym rośnie skłonność do niejednorodności w składzie mieszanki oraz również pogorszenie warunków smarowania i skłonności do zacierania. Obecność wody w paliwie wpływa również niekorzystnie na korozję elementów silnika.

Największy wpływ na występowanie uszkodzeń, doprowadzających również do zatarcia silnika dwusuwowego ma spalanie mieszanek ubogich. Po pierwsze, podczas spalania z ilością tlenu większą, niż wynika to ze stechiometrii, reakcje zachodzą w sposób bardziej długotrwały. Mówi się wtedy o tzw. „spalania przewlekłym”, którego efektem jest spadek dynamiki procesu spalania i unoszenia części energii poza układ (w suwie wydechu). Konsekwencją takiego stanu rzeczy jest podniesienie temperatury w okolicy okien wydechowych silnika, gazów spalinowych oraz tłumika. Przykładowy wzrost temperatury gazów spalinowych, w zależności od składu mieszanki przedstawiono na rys.4. Widoczny jest wzrost temperatury o około 40°C.



Rys.4. Zmiana temperatury spalin w funkcji składu mieszanki [na podst. 6]

Taki wzrost temperatury pogarsza warunki tarcia w cylindrze silnika, nie jest jednak tak znaczny, by mógł doprowadzić bezpośrednio do zatarcia. Po drugie jednak, jeśli mamy do czynienia z mieszanką paliwowo – powietrzną ubogą w paliwo a bogatą w tlen, a w silniku dwusuwowym w tym paliwie (którego jest mniej) rozpuszczony jest olej smarujący to mniejsza ilość oleju smarującego doprowadza również do wspomnianego wzrostu temperatury i zmiany charakteru tarcia pierścieni o gładź cylindrową. Zatem spalanie mieszanek ubogich w silniku tego typu doprowadza nieuchronnie do gwałtownego wzrostu temperatury skojarzenia pierścieni i gładzi cylindrowej oraz w konsekwencji do zatarcia. Wzrost zjawisk niszczących jest szczególnie widoczny po stronie wydechowej tłoka (rys.5a).

a)



b)



Rys.5. Objawy zatarcia tłoka w cylindrze: a) w wyniku spalania mieszanki ubogiej, b) w wyniku zbyt dużego kąta wyprzedzenia zapłonu [6]

Efekt zubożenia mieszanki, mogą powodować również nieszczelności w układzie dolotowym. W takim przypadku mimo prawidłowej regulacji gaźnika, silnik zasysa tzw. fałszywe powietrze. Możliwość wystąpienia nieszczelności, jest minimalizowana na etapie konstrukcji, poprzez stosowanie specjalnych połączeń gwarantujących szczelność.

Wzrost temperatury w komorze spalania może być również wywołana nieprawidłowym funkcjonowaniem układu zapłonowego, zwłaszcza zapłonu za wczesnego. Zbyt wczesny inicjacja powoduje, że proces spalania zachodzi bardziej gwałtownie, z dużym stopniem przyrostu ciśnienia. Zwiększa się prawdopodobieństwa spalania detonacyjnego. Szczególnie obciążona termicznie jest część tłoka po stronie okien wydechowych, gdzie może dochodzić również do nadtopienia denka tłoka (rys.5b).

### 3. WYNIKI BADAŃ USZKODZONEJ PILARKI

#### 3.1. Przedmiot badania i metodyka

Badanie przeprowadzono na uszkodzonej pilarce przeznaczonej do lekkich prac leśnych o mocy 1,5 kW eksploatowanej w warunkach rzeczywistych. Badanie wykonano celem przedstawienia skutków spalania zbyt ubogiej mieszanki w silnikach dwusuwowych. W silniku stwierdzono zatarcie tłoka w cylindrze. Maszyna była eksploatowana przez krótki czas, około 1 mth. Ograniczono się do przeprowadzenia badań metodą organoleptyczną oraz przy użyciu mikroskopu do niewielkich powiększeń.

#### 3.2. Wyniki badań i przyczyna uszkodzenia pilarki

Pilarka była eksploatowana jako element praktycznie nowy, przy zbyt ubogiej mieszance paliwowo-powietrznej, w okresie docierania silnika. Taka sytuacja doprowadziła do zatarcia tłoka w cylindrze (rys.6). Zgodnie z przewidywaniami i w zgodności z powyższym opisem, większe ślady niekorzystnych zjawisk niszczących zaobserwowano po stronie kanałów wydechowych (gdzie panowała wyższa temperatura ze względu na przewlekły proces spalania i niedobór środka smarnego – rys.6b).

a)



b)



Rys.6. Zatarcie tłoka w cylindrze pilarki: a) widok płaszcza tłoka, b) widok tulei cylindrowej od strony kanałów wydechowych

Przyczyną niewłaściwego składu mieszanki, była nieprawidłowa regulacja gaźnika. Producenci pilarek stosują ograniczniki możliwości regulacji składu mieszanki, nakładając różnego rodzaju plomby i zabezpieczenia. W tym wypadku zabezpieczeniem przed spalaniem mieszanki ubogiej przez silnik był element z tworzywa sztucznego nakładany na główną śrubę regulacyjną składu mieszanki i został on zerwany, co oznacza, że urządzenie pracowało na niewłaściwych parametrach (rys.7).



Rys.7. Przepustnica gaźnika i śruby regulacji składu mieszanki (widoczne zerwane zabezpieczenie śruby regulacyjnej)

Z kolei, przyczyną takiej regulacji był pierwotnie zakłócony system spalania silnika i nieprawidłowa jego praca, a która wynikała z nieszczelności w układzie wydechowym. Ze względu na wspomnianą już rolę układu wydechowego w

procesie spalania i wymianie ładunku, silnik nie rozwijał pełnej mocy i pracował nierównomiernie. Takie zakłócenia w pracy mogły objawowo odpowiadać pracy silnika na zbyt bogatej mieszance. W miejscu serwisowania urządzenia, przy pierwszym uruchomieniu urządzenia, mylnie twierdzono, że zbyt bogaty skład mieszanki doprowadza do nieprawidłowości w pracy pilarki. Regulacja poprawnie uregulowanego gaźnika w kierunku mieszanek ubogich doprowadziła do opisywanych skutków, z zatarciem tłoka włącznie. Za nieszczelność w układzie wydechowym odpowiadała jedna ze śrub, która była dokręcona zbyt małym momentem. Miejsce wydostawania się spalin przez nieszczelności układu wydechowego jest widoczne m.in. na metalowej przysłonie termicznej (rys.8).

a)



b)



Rys.8. Metalowa przysłona termiczna układu wydechowego: a) widok ogólny, b) miejsce nieszczelności x10

#### 4. WNIOSKI

Przeprowadzona analiza dotycząca silników dwusuwowych stosowanych w pilarkach łańcuchowych, pozwala na sformułowaniu wniosków i zaleceń eksploatacyjnych pozwalających na minimalizowanie możliwości wystąpienia awarii:

- Silniki dwusuwowe aplikowane do współcześnie konstruowanych pilarek łańcuchowych są zawansowanymi konstrukcjami, optymalizowanymi ze względu na uzyskanie minimalnych parametrów emisyjnych i wysokich wskaźników mocy,
- Uzyskiwane parametry i złożoność konstrukcji silników wymaga dotrzymania zasad eksploatacyjnych i regulacyjnych,
- Nieprzestrzeganie zasad doprowadza do możliwości występowania usterek, a w szczególności zatarcia silnika,
- Przyczyną zatarcia silnika jest m.in. spalanie mieszanek ubogich, gdyż w cylindrze silnika wzrasta temperatura z powodu przewlekłości procesu spalania oraz niedoboru środka smarnego rozpuszczonego w paliwie,
- Za spalanie mieszanek ubogich odpowiada: zła regulacja gaźnika, nieszczelności w układzie dolotowym, nieprawidłowy moment zapłonu – elementy te podczas eksploatacji wymagają drobiazgowego nadzoru,
- Szczególnie istotna jest praca pilarki w okresie docierania, w którym to okresie należy zwrócić uwagę na poprawność działania silnika, regulację gaźnika, właściwości paliwa i rozpuszczonego w nim środka smarnego w odpowiedniej proporcji,
- Za nieprawidłową pracę silnika mogą odpowiadać również nieszczelności w układzie wydechowym, których niewyeliminowanie może doprowadzić do złej diagnostyki usterek, nieprawidłowych regulacji a w konsekwencji nawet zatarcia silnika.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Kordziński Cz., Pogorzelski J.: *Mate silniki spalinowe*, Warszawa, PWN 1986.
- [2] Pilarek Z., Mielnicki P.: *Causes of defects of power chainsaws*, Acta Sci.Pol., Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria 7(4), 2008.
- [3] Pilarek Z., Mielnicki P., Stempski W.: *Uszkodzenia spalinowych pilarek wysięgnikowych i wykaszarek oraz ich przyczyny*, Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej, 3/2010.
- [4] Rychter T.: *Silniki dwusuwowe pojazdów*, Warszawa, WKŁ 1988.
- [5] Rychter T.: *ABC silnika dwusuwowego*, Warszawa, WKŁ 1974.
- [6] Instrukcja serwisowa: *Shindaiwa Chain Saws*, 1995.
- [7] www.stihl.com