

Łukasz Warguła^{a)*}, Piotr Krawiec^{a)}, Mateusz Kukła^{a)}, Bartosz Wieczorek^{a)}, Piotr Kaczmarzyk^{b)}

^{a)} Poznan University of Technology / Politechnika Poznańska

^{b)} Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute / Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego – Państwowy Instytut Badawczy

* Corresponding author / Autor korespondencyjny: lukasz.wargula@put.poznan.pl

Innovations in Chainsaws Utilised as Mechanical Rescue Devices

Innowacje w pilarkach łańcuchowych stosowanych jako mechaniczne urządzenia ratownicze

ABSTRACT

Aim: The aim of the article is to identify innovative design solutions in chainsaws which are used in rescue and firefighting operations. The review concerns commercial solutions, scientific publications and patents. It enables to determine development trends of chainsaws utilised as mechanical rescue devices.

Project and methods: Although chainsaw evolution analysis is available in the literature, in the greatest part it concerns only timber harvesting conditions. It lacks a review of technical solutions adapted to rescue and firefighting operations which may involve: wood impurities, the need to work on unstable ground and in limited space, the need to maintain focus in stressful and unpredictable situations. Fire protection units operations are aimed at saving people's health and life, therefore they should be carried out with the use of machines and devices with the best properties.

Conclusions: The solutions presented in the article may affect the development of rescue teams equipment, thereby increasing their efficiency and work safety. Currently, there is a trend toward the use of mobile chainsaws involving: increased durability for cutting wood with impurities, low-emission drives with limited impact on the operator, systems protecting the operator's body against the chain blade during uncontrolled and unpredictable situations, bio-degradable oils for chain lubrication. It is necessary to conduct research on innovative solutions towards the usefulness of chainsaws in rescue operations.

Keywords: chainsaw, mechanical rescue devices, mobile wood saws, petrol saws, electric saws

Type of article: review article

Received: 06.04.2020; Reviewed: 11.05.2020; Accepted: 08.06.2020;

Authors' ORCID IDs: Ł. Warguła – 0000-0002-3120-778X; P. Krawiec – 0000-0003-3076-0337; M. Kukła – 0000-0003-3456-3824;

B. Wieczorek – 0000-0003-0808-298X; P. Kaczmarzyk – 0000-0003-4310-6086;

Percentage contribution: Ł. Warguła – 40%; P. Krawiec – 15%; M. Kukła – 15%; B. Wieczorek – 15%; P. Kaczmarzyk – 15%;

Please cite as: SFT Vol. 55 Issue 1, 2020, pp. 142–153, <https://doi.org/10.12845/sft.55.1.2020.9>;

This is an open access article under the CC BY-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu jest wskazanie innowacyjnych rozwiązań konstrukcyjnych w pilarkach łańcuchowych stosowanych w warunkach akcji ratowniczych i gaśniczych. Przegląd obejmuje rozwiązania komercyjne, publikacje naukowe oraz patenty. Umożliwia nakreślenie trendów rozwoju pilarek łańcuchowych stanowiących mechaniczne urządzenia ratownicze.

Projekt i metody: W literaturze dostępne są analizy ewolucji pilarek łańcuchowych, dotyczą one jednak głównie warunków pozyskiwania drewna. Brakuje przeglądu rozwiązań technicznych przystosowanych do akcji ratowniczych i gaśniczych, którym towarzyszą specyficzne warunki: zanieczyszczenia ciętego drewna, praca na niestabilnym podłożu i w ograniczonej przestrzeni, potrzeba dużego skupienia operatorów w stresujących i nieprzewidywalnych sytuacjach. Ze względu na to, że prace prowadzone przez jednostki ochrony przeciwpożarowej służą ratowaniu zdrowia i życia ludzi, powinno się do nich wykorzystywać maszyny i urządzenia o jak najlepszych właściwościach.

Wnioski: Rozwiązania zaprezentowane w artykule mogą przyczynić się do rozszerzenia asortymentu zespołów ratowniczych, a tym samym poprawy ich efektywności i bezpieczeństwa pracy. Trendem w rozwoju wyposażenia jednostek ochrony przeciwpożarowej są przenośne pilarki charakteryzujące się: piłami łańcuchowymi o podwyższonej trwałości podczas cięcia drewna zanieczyszczonego, niskoemisyjne i mało oddziaływujące napędy, układy

zabezpieczające ciało operatora przed ostrzem piły łańcuchowej podczas niekontrolowanych i nieprzewidywalnych sytuacji, biodegradowalne oleje do smarowania piły łańcuchowej. Dostrzegana jest również konieczność prowadzenia badań nad innowacyjnymi rozwiązaniami w kierunku ich przydatności w akcjach ratowniczych.

Słowa kluczowe: piła łańcuchowa, mechaniczne urządzenia ratownicze, przenośne pilarki do drewna, pilarki spalinowe, pilarki elektryczne

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 06.04.2020; **Zrecenzowany:** 11.05.2020; **Zaakceptowany:** 08.06.2020;

Identyfikatory ORCID autorów: Ł. Warguła – 0000-0002-3120-778X; P. Krawiec – 0000-0003-3076-0337; M. Kukla – 0000-0003-3456-3824; B. Wieczorek – 0000-0003-0808-298X; P. Kaczmarzyk – 0000-0003-4310-6086;

Procentowy wkład merytoryczny: Ł. Warguła – 40%; P. Krawiec – 15%; M. Kukla – 15%; B. Wieczorek – 15%; P. Kaczmarzyk – 15%;

Proszę cytować: SFT Vol. 55 Issue 1, 2020, pp. 142–153, <https://doi.org/10.12845/sft.55.1.2020.9>;

This is an open access article under the CC BY-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

Introduction

A chainsaw is one of the basic tools used by fire protection units in a wide range of activities. Its main application involves works associated with wood, including: firebreaks formation, fallen trees removal, safety works during firefighting operations, as well as, cutting of wooden elements in structural collapse incidents. Especially, the latter example is considered to be the most adverse operation condition for the machines in question. It stems from the fact that the wood, cut during rescue operation may contain impurities which affect negatively the chain, and, in consequence, lead to the rapid blunting or damage of the links.

In order to increase the chainsaws durability and their range of applications, scientific units, researchers and manufacturers improve the chains of mobile saws. Tests associated with reducing the motor drive's negative impact on a chainsaw operator are also conducted. Their main objectives include the reduction of: tool weight, noise, vibration and toxic exhaust emissions.

Saws belong to the group of devices with an uncovered working part. It constitutes a great threat for their operators. This problem has been noticed by the institutions responsible for employee protection, hence these devices are subject to standardised safety requirements described in the Polish and European standard PN-EN ISO 11681-1. Also in this area new technologies are available.

In research articles, inventions and commercial solutions there are concepts which could support rescue operations in which chainsaws are applied. However, available reviews do not encompass new solutions that would significantly affect rescue teams work. This paper presents an overview of innovative design solutions concerning petrol saws and their cutting chains, drives and safety systems – with an indication of beneficial functions for rescue and firefighting works.

Wprowadzenie

Pilarka łańcuchowa to jedno z podstawowych narzędzi będących na wyposażeniu jednostek ochrony przeciwpożarowej (JOP). Jest wykorzystywana w szerokim zakresie działań realizowanych przez JOP. Stosuje się ją głównie do prac związanych z drewnem: formowania pasów przeciwogniowych w lasach, usuwania wiatrolomów, zabezpieczenia akcji przeciwpożarowych oraz przecinania drewnianych konstrukcji w katastrofach budowlanych. Najbardziej niekorzystne warunki użytkowania tych maszyn dotyczą ostatniego z wymienionych przypadków. Wynika to z tego, że rozcinane drewno może zawierać zanieczyszczenia wywierające negatywny wpływ na piłę łańcuchową, prowadząc do jej szybkiego stępienia lub uszkodzenia ogniw.

Aby zwiększyć trwałość i zakres zastosowań przenośnych pilarek, jednostki naukowe, wynalazcy oraz producenci udoskonalają piły łańcuchowe tych urządzeń. Trwają również badania nad ograniczeniem negatywnego oddziaływania, jakie na operatorów pilarek wywierają napędy. Do głównych celów tych badań zaliczana jest redukcja: masy narzędzia, wydzielanego przez nie hałasu, drgań oraz emisji toksycznych związków spalin.

Pilarki są urządzeniami z odkrytą częścią roboczą, co stanowi duże zagrożenie dla operatora. Problem ten jest dostrzegany przez instytucje odpowiedzialne za ochronę pracowników, stąd narzędzia te podlegają znormalizowanym wymogom bezpieczeństwa opisanym w polskiej i europejskiej normie PN-EN ISO 11681-1. Również w tym zakresie dostępne są nowe technologie.

W publikacjach naukowych, wynalazkach oraz rozwiązaniach komercyjnych pojawiają się innowacje mogące wspomóc działania ratowniczo-gaśnicze z wykorzystaniem pilarek łańcuchowych. W dostępnych zestawieniach brakuje jednak informacji o nowych rozwiązaniach, które w istotny sposób wpłynęłyby na efektywność pracy zespołów ratowniczych. W artykule przedstawiono przegląd innowacyjnych rozwiązań konstrukcyjnych pilarek spalinowych (w zakresie pił łańcuchowych, napędów oraz układów bezpieczeństwa) – ze wskazaniem funkcji przydatnych podczas prac ratowniczych i gaśniczych.

Cutting chains (saw chains)

The classic use for mobile chainsaws is to cut trees. This process is well recognised in forestry sciences. The trend in this area is heading towards replacement of mobile petrol chainsaws operators with tree harvesters equipped with cutting chains [1–2]. However, rescue operations demand a complex decision-making process. Moreover, often the use of heavy vehicles is not possible – and in these situations operators are still irreplaceable.

During rescue operations, the material being cut often contains metal, concrete, plastic and soil with stones. To meet challenges that come with it, the market offers cutting chains for mobile saws, designed for cutting: wood containing nails, reinforced glass, composites, concrete, brick structures, metal sheets, ferrous and non-ferrous metals (see Figure 1).

Piły łańcuchowe

Klasyczne zastosowanie przenośnych pilarek łańcuchowych dotyczy cięcia drzew. Proces ten jest dobrze rozpoznany w naukach leśnych. Trendem w tej dziedzinie jest dążenie do zastępowania operatorów przenośnych pilarek spalinowych harvesterami wyposażonymi w piły łańcuchowe [1–2]. Jednak prace ratowniczo-gaśnicze wiążą się ze złożonym procesem decyzyjnym, często z brakiem możliwości wykorzystania ciężkich pojazdów – w takich sytuacjach operatorzy nadal są nie do zastąpienia. Podczas akcji ratowniczych cięty materiał drewniany nierzadko absorbuje zanieczyszczenia w postaci: metalu, betonu, tworzyw sztucznych oraz ziemi z kamieniami. Wychodząc naprzeciw tym wyzwaniom, rynek oferuje piły łańcuchowe do pilarek przenośnych przeznaczone do cięcia: drewna z gwoździami, szkła zbrojonego, kompozytów, betonu, konstrukcji ceglanych, blach, metali żelaznych i nieżelaznych (zob. ryc. 1).

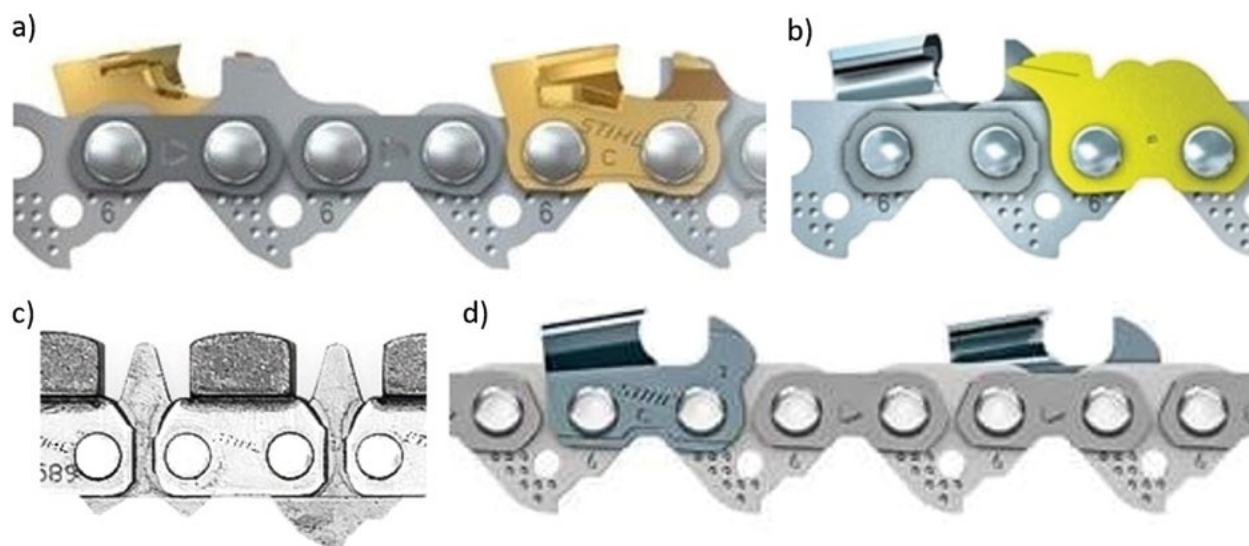


Figure 1. Cutting chains for mobile chainsaws: a) for wood contaminated with sand, b) for wood with spikes, c) for concrete, d) for wood
Rycina 1. Piły łańcuchowe pilarek przenośnych: a) do drewna zanieczyszczonego piaskiem, b) do drewna z gwoździami, c) do betonu, d) do drewna

Source: Politechnika Poznańska archives.

Źródło: Archiwum własne Politechniki Poznańskiej.

An example of a saw chain for wood with nails, reinforced glass, armoured glass, steel sheets up to 0.8 mm, bituminous felt, insulation materials, roller shutter doors and partition walls is Rapid Duro Rescue (RDR) produced by Stihl. In this model the chain's cutting teeth blades are covered with a metal alloy, thus guaranteeing high strength and resistance to impact loads. Additionally, the cutting process is supported by 3-hump link which allows gentle guidance of the tool and reduced damage to the cutting teeth. According to the manufacturer's specifications saws with such cutting chains – thanks do the applied technical solutions – are characterised by a minimum risk of kickback and low vibration level.

An example of a chainsaw for cutting concrete, reinforced concrete, bricks and asphalt is a 36 GBE Stihl diamond saw, designed for wet work (it requires a water spray system).

Przykładem piły łańcuchowej do drewna z gwoździami, szkła zbrojonego, szkła pancernego, blach stalowych do 0,8 mm, pap bitumicznych, materiałów izolacyjnych, bram roletowych oraz lekkich murów jest Rapid Duro Rescue (RDR) Stihl. Ostrza zębów tnących w tym modelu pokryte są w całości stopem trwałych metali, co gwarantuje dużą wytrzymałość oraz odporność na obciążenia udarowe. Dodatkowo proces cięcia wspomaga 3-garbowe ogniwo łączące, które umożliwia łagodne prowadzenie narzędzia, redukując uszkodzenie zębów tnących. Według specyfikacji producenta zastosowane rozwiązania techniczne sprawiają, że pilarki z takimi piłami łańcuchowymi wykazują minimalną skłonność do odbić oraz niski poziom wibracji.

Przykładem piły łańcuchowej do cięcia betonu, betonu zbrojonego, cegieł oraz asfaltu jest diamentowa piła 36 GBE Stihl do

Saw chains dedicated for cutting wood contaminated with sand and formwork boards contaminated with ceramic shell are characterised by increased durability (in comparison to a standard chainsaw). Examples of such tools are: Stihl's Rapid Duro 3 and Oregon saws, made with MultiCut technology.

The main research trends relate to the testing of mobile saw chains used for cutting wood. Analyses are carried out regarding: cutting performance [3–6], cutting force [7–8], cutting resistance [9], chain tension [10], blade geometry [11] and saw kickback depending on the wood type [12]. The authors have noticed the lack of research on chains intended for cutting wood contaminated with sand or steel elements in the aspect of cutting efficiency, operating costs and usability in rescue works.

Drives

Chainsaw drives are mainly combustion engines (see Figure 2a). They have many disadvantages related to their usage. The major ones include: extensive noise, vibration and dangerous exhaust gas emission. The engines are subject to exhaust emission regulations for non-road mobile machinery held in hands [13]. The requirements for the low weight of the structure (due to necessity of holding the device in hands), the position of the engine in three axes (according to the Cartesian coordinate system) as well as the resulting problems with engine lubrication, have led to the use of 2-stroke engines. In such engines, the crank-piston system lubrication is based on the oil supplied to the combustion chamber with the fuel-air mixture. It is burnt there, which increases the emission of toxic exhaust compounds. The carburettor fuel apply system is common in this type of engines [14–15]. Stihl for chainsaw models with MTronic systems and Husqvarna for models with Auto-Tune systems have introduced carburettors with electric fuel valve (controlled electronically). This type of valve opens and closes the fuel supply channel, but the fuel is sucked by the force resulting from the vacuum in carburettor. This solution is more advantageous than the use of a classic mechanical carburettor, in which fuel suction is a continuous process, and the amount of supply dose depends on the pressure in the suction channel.

The latest innovation in fuel supply systems in petrol chainsaws is the use of a fuel injector. Contrary to the electric fuel valve – not only does it adjust the opening time, but also allows to supply fuel at a certain pressure, regardless of the suction force in the suction channel. In 2019, Stihl introduced to market the MS 500i model equipped with an electronic injection-ignition system. Such systems, in comparison to carburettor, are characterised by more accurate delivery of fuel to the cylinder. This solution reduces fuel consumption and the emission of toxic combustion products [16–20].

The dynamic development of electrical devices sourcing energy from batteries is also visible among chainsaws (see Figure 2b). The indisputable advantage of chainsaws with these

pracy na mokro (stąd przenośna pilarka łańcuchowa wymaga układu natryskowego wody).

Piły łańcuchowe przeznaczone do cięcia drewna zanieczyszczonego piaskiem oraz desek szalunkowych zanieczyszczonych skorupą ceramiczną cechuje – w porównaniu ze standardową piłą łańcuchową – podwyższona trwałość. Przykładowe narzędzia tego rodzaju to piły Rapid Duro 3 firmy Stihl oraz piły firmy Oregon, wykonane w technologii MultiCut.

Główne trendy badawcze dotyczą badań pił łańcuchowych pilarek przenośnych stosowanych do cięcia drewna. Prowadzone są analizy dotyczące: wydajności cięcia [3–6], siły cięcia [7–8], oporów skrawania [9], napięcia łańcucha [10], geometrii ostrzy [11] oraz odrzutów piły ze względu na gatunek drewna [12]. Autorzy dostrzegają brak badań łańcuchów użytkowanych do cięcia drewna zanieczyszczonego piaskiem lub elementami stalowymi, opisujących wydajność cięcia, koszty eksploatacji oraz użyteczność tych elementów w działaniach ratowniczych.

Napędy

Napędy pilarek łańcuchowych to głównie silniki spalinowe (zob. ryc. 2a), obciążone wieloma wadami związanymi z ich użytkowaniem. Wśród podstawowych można wyróżnić: hałas, drgania, emisję gazów spalinowych. Podlegają one przepisom emisji spalin dotyczących niedrogowych maszyn ruchomych trzymanych w rękach [13]. Wymagania w odniesieniu do niskiej masy konstrukcji (ze względu na trzymanie urządzenia w rękach) oraz pozycja pracy silnika w trzech osiach (zgodnie z kartezjańskim układem współrzędnych), a także wynikające z tego problemy przy smarowaniu silnika skłaniają do stosowania silników dwusuwowych. W takich silnikach smarowanie układu korbowo-tłokowego odbywa się z wykorzystaniem oleju dostarczanego do komory spalania z mieszkanką paliwowo-powietrzną. Dochodzi wówczas również do jej spalania, co przyczynia się do zwiększonej emisji toksycznych związków spalin. Powszechny w tego typu silnikach jest gaźnikowy układ zasilania paliwem [14–15]. Firma Stihl w modelach pilarek z układami M-Tronic oraz firma Husqvarna w modelach z układami Auto-Tune wprowadziły gaźniki z elektrycznym zaworem paliwowym sterowanym elektronicznie. Zawór taki otwiera i zamyka kanał dostarczający paliwo, jednak pobieranie paliwa odbywa się przez siłę wynikającą z podciśnienia w gaźniku. Rozwiązanie to jest korzystniejsze od zastosowania klasycznego mechanicznego gaźnika, w którym zasysanie paliwa jest procesem ciągłym, zaś ilość dostarczanej dawki zależy do ciśnienia w kanale ssącym.

Najnowszą rewolucją w układach zasilania paliwem w pilarkach spalinowych jest zastosowanie wtryskiwacza paliwa. Wtryskiwacz – w przeciwieństwie do elektrycznego zaworu paliwowego – poza funkcją regulacji czasu otwarcia umożliwia dostarczanie paliwa pod określonym ciśnieniem, niezależnie od siły ssącej w kanale ssącym. W 2019 roku firma Stihl wprowadziła na rynek model MS 500i wyposażony w elektroniczny układ wtryskowo-zapłonowy. Układy takie względem gaźnikowych cechuje dokładniejsze dostarczanie nośnika energii do cylindra. Zmniejsza to zużycie paliwa oraz emisję toksycznych związków spalin [16–20].

drives is the lack of exhaust gas emission. In 2016, research realised by A. Colantoni [4] did not confirm the higher standards of using electric (battery) saws in relation to mass and generated vibrations. The results indicate that these parameters depend on the saw model and manufacturer. They showed, however, reduced noise in case of electric saws (84–96 dB) compared to petrol (97–109 dB). Also research carried out in 2019 by F. Neri and his team confirmed the lower noise emission while using electric chainsaws (81–91 dB) compared to ones driven by petrol engines [21]. Modern electric saws powered by batteries – through the use of lithium-ion batteries, which can be recycled in 97% – are characterised by a sufficiently high power level and durability [22–23]. Product life cycle tests conducted by A. Kristinsdóttir and D. Corredor in 2011 showed that electric chainsaws using batteries have a lower overall environmental impact than those powered by petrol [24]. On the other hand, vibration and noise emission tests carried out in 2018 by the research group led by W. Rukat proved that – regardless of the power unit type (electric, combustion) – noise and vibration emissions levels determined for a standard eight-hour working time are exceeded [25]. In the same year, comparative tests of petrol and electric (battery) saws were carried out in real working conditions while cutting trees. These tests confirmed the thesis that electric chainsaws can be a good alternative to petrol those powered by petrol [26]. Researchers have shown that electric chainsaws have lower levels of energy consumption, noise and vibration transmitted onto the operator hands. However, they noted that their disadvantage is the 'powerful' battery power which at this stage of device development is sufficient in forestry work, but only on a small scale. The improvement of this parameter will contribute to a wider range of applications for the tested tools. The electrification of devices in all branches of industry contributes to the dynamic development of batteries [27].

The authors of this article noted that there is no research on electric chainsaws powered by batteries with respect to firefighting and rescue applications. Devices used for such purposes are exposed to work in higher temperatures and irregular usage time affecting the charging cycles. This mode of operation can reduce battery life. In addition, there is neither any analysis of the battery replacement costs, nor any of its durability. Electric chainsaws batteries need to be charged or replaced, contrary to petrol chainsaws, where refuelling ensures continuous operation. In rescue and firefighting applications discharged battery does not constitute a major problem, because it can be charged in a rescue vehicle. The authors do not describe pneumatic-powered chainsaws requiring air ducts (see Figure 2c), since they consider them too complicated for rescue operations.

Dynamiczny rozwój urządzeń elektrycznych pozyskujących energię z akumulatorów widoczny jest również wśród pilarek łańcuchowych (zob. ryc. 2b). Niepodważalną zaletą pilarek z tymi napędami jest brak emisji gazów spalinowych. W 2016 roku badania zespołu A. Colantoni [4] nie potwierdziły jednoznacznie wyższych standardów użytkowania pilarek elektrycznych (akumulatorowych) w zakresie masy i emisji generowanych drgań. Wyniki wskazują, że parametry te zależą od modelu i producenta pilarki. Wykazały natomiast redukcję hałasu pilarek elektrycznych (84–96 dB) względem spalinowych (97–109 dB) na korzyść tych pierwszych. Badania wykonane w 2019 roku przez F. Neri wraz z zespołem również potwierdziły niższą emisję hałasu podczas użytkowania pilarek elektrycznych (81–91 dB) względem spalinowych [21]. Współczesne pilarki elektryczne zasilane akumulatorami – dzięki zastosowaniu akumulatorów litowo-jonowych, które w 97% można poddać recyklingowi – charakteryzują się odpowiednio wysokim poziomem mocy i trwałości [22–23]. Badania cyklu życia produktu prowadzone przez A. Kristinsdóttir i D. Corredor w 2011 roku wykazały, że pilarki łańcuchowe napędzane elektrycznie z wykorzystaniem baterii mają mniejszy całkowity wpływ na środowisko niż pilarki spalinowe [24]. Z kolei badania drgań i hałasu prowadzone w 2018 roku przez zespół W. Rukata udowodniły, że niezależnie od rodzaju jednostki napędowej (elektryczna, spalinowa) przekraczają poziom emisji hałasu i wibracji określony dla standardowego ośmiogodzinnego czasu pracy [25]. W tym samym roku wykonano testy porównawcze pilarek spalinowych i elektrycznych (akumulatorowych) w rzeczywistych warunkach pracy podczas wycinania drzew. Potwierdziły one, że pilarki elektryczne mogą być dobrą alternatywą dla pilarek spalinowych [26]. Badacze wykazali, że pilarki elektryczne charakteryzują się niższym poziomem zużycia energii, hałasu i wibracji oddziałujących na rękę oraz ramiona operatorów. Zaznaczyli jednak, że słaby punkt tych urządzeń stanowi moc akumulatorów „powerful”, która na tym etapie rozwoju jest wystarczająca w pracach leśnych, ale na małą skalę. Poprawa tego parametru przyczyni się do szerszej gamy zastosowań badanych narzędzi. Elektryfikacja urządzeń we wszystkich gałęziach przemysłu przyczynia się do dynamicznego rozwoju akumulatorów [27].

Autorzy niniejszego artykułu odnotowali brak badań elektrycznych pilarek łańcuchowych zasilanych bateriami w zastosowaniach ratowniczo-gaśniczych. Urządzenia takie są narażone na pracę w podwyższonych temperaturach oraz na nieregularny czas użytkowania wpływający na cykle ładowania. Taki tryb użytkowania narzędzia może prowadzić do ograniczenia żywotności baterii. Ponadto brakuje analizy kosztów wymiany baterii oraz ich trwałości. W przeciwieństwie do pilarek spalinowych, w których uzupełnienie paliwa zapewnia ciągłą pracę, pilarki elektryczne wymagają ładowania baterii lub ich wymiany. W zastosowaniach ratowniczych i gaśniczych rozładowanie akumulatora nie stanowi jednak poważnego problemu – wymienne akumulatory mogą ładować się w pojazdach ratowniczych. Autorzy nie opisują pilarek z napędem pneumatycznym (zob. ryc. 2c), wymagających przewodów dostarczających powietrze, uznając je za zbyt skomplikowane w obsłudze podczas akcji ratowniczych.

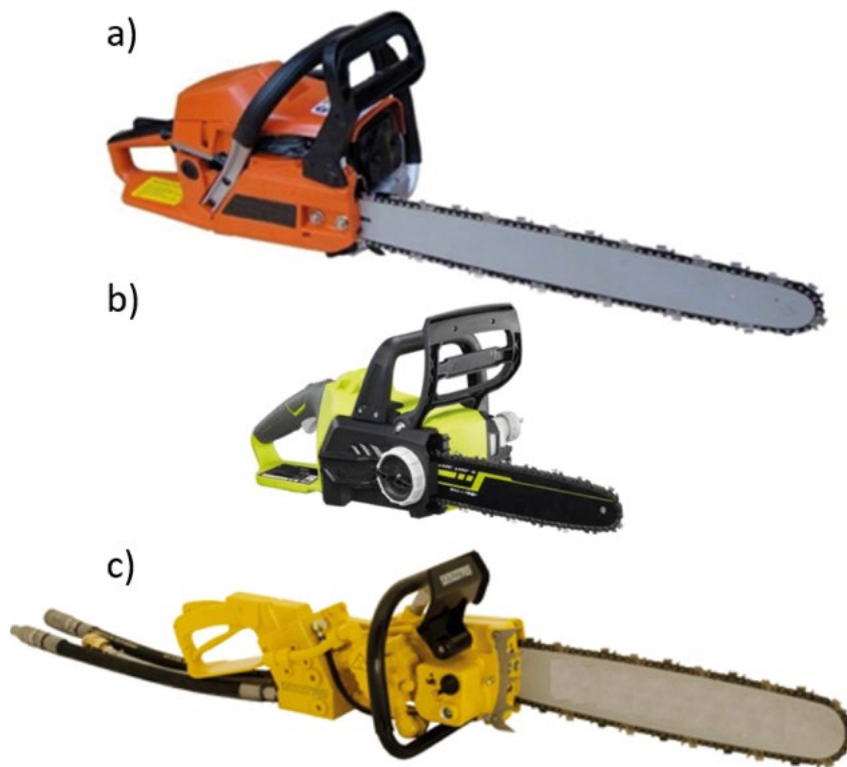


Figure 2. Chainsaws with drive: a) petrol, b) electric (battery), c) hydraulic
Rycina 2. Pilarki łańcuchowe z napędem: a) spalinowym, b) elektrycznym (akumulatorowym), c) hydraulicznym
Source: Poznan University of Technology archives.
Źródło: Archiwum własne Politechniki Poznańskiej.

Security Systems

The hazards associated with working as a chainsaw operator can be divided into two types. The first results from the impact of the noise [28–32], hand and arm vibrations [28–36], dust exposure [28], combustion products exhaust [37–40] and improper use of the tool [41–43]. The second type of danger is attributed to chainsaw operators who participate in rescue operations. Haste, unstable ground, limited space, contaminated cut material of an unpredictable structure – all these factors can lead to injuries of people near the chainsaw.

To reduce the negative impact on operators, special protective personal equipment for mobile chainsaws is used. It involves for example: protective helmets, ear muffs, goggles or face shield, protective gloves, pants, and footwear with steel and non-slip soles. Access to the handy first aid kit is also recommended at the scene. Security systems, mentioned in the crossheading above, consist of: chain brake, front cover (safety brake lever), throttle lever lock, chain saw gripper, right hand shield and anti-vibration system [44–47]. Additional safety systems intended for rescuers include a shield covering the chainsaw blade, which also limits the depth of cut. It protects against accidental contact with the operator's body. The solution proposed by Cutters Edge in the MultiCut 16 model has the function of adjusting the depth of cut and easy operation mode – even when operator is working in protective gloves.

Układy bezpieczeństwa

Zagrożenia dla operatora pilarki łańcuchowej można podzielić na dwa rodzaje. Pierwszy wynika z wpływu hałasu [28–32], wibracji rąk i ramion [28–36], narażenia na pyły [28] i gazy spalinowe [37–40] oraz niewłaściwego użytkowania narzędzia [41–43]. Na drugi rodzaj zagrożeń narażeni są operatorzy pilarek łańcuchowych biorący udział w akcjach ratowniczych. Pośpiech, niestabilne podłoże, ograniczona przestrzeń, zanieczyszczony materiał cięcia o nieprzewidywalnej strukturze – wszystkie te czynniki mogą przyczynić się do urazów u osób przebywających w pobliżu piły łańcuchowej.

W celu redukcji negatywnych oddziaływań na operatorów stosuje się specjalistyczne środki ochrony osobistej oraz wyposażenia przenośnych pilarek spalinowych. Wśród pierwszych wymienić można: kask ochronny, nauszniki, okulary lub osłonę twarzy (przyłbice), rękawice z ochronnymi wzmocnieniami, spodnie ochronne oraz obuwie ze stalowymi wzmocnieniami i podeszwami przeciwpoślizgowymi. Ważny jest także dostęp na terenie wykonywania prac do podręcznej apteczki. Wspomniane w śródtytułe układy bezpieczeństwa stanowiące wyposażenie pilarek to: hamulec piły łańcuchowej, osłona przednia stanowiąca dźwignię hamulca bezpieczeństwa, blokada dźwigni przepustnicy, chwytник piły łańcuchowej, osłona prawej ręki, system antywibracyjny [44–47]. Do dodatkowych układów bezpieczeństwa przewidzianych dla ratowników zalicza się osłonę na

przewodnicę i piłę łańcuchową, która stanowi również ogranicznik głębokości cięcia. Chroni ona przed przypadkowym dotknięciem ciała ratownika. Rozwiązanie firmy Cutters Edge w modelu Multi-Cut 16 posiada funkcję regulacji głębokości cięcia oraz jest łatwe w obsłudze – nawet w rękawicach ochronnych.



Figure 3. A chainsaw with a shield covering the guide and cutting chain
Rycina 3. Pilarka łańcuchowa z osłoną zakrywającą prowadnicę i piłę łańcuchową
Source: Poznan University of Technology archives.
Źródło: Archiwum własne Politechniki Poznańskiej.

One of the solutions developed by researchers – but not used commercially – is a system that recognises dangerous linear and angular acceleration of a chainsaw. Having recognised such a movement, the algorithm disconnects the drive or stops the saw chain [48]. This is one of the most effective methods of securing the operator in the case of a kickback.

Another factor indirectly affecting human health, and resulting from the use of chainsaws, is related to the pollution of the natural environment by chain and guide bar lubrications. Commercially, there are two types of oils. The first one is the mineral oil, which is a refined petroleum product that pollutes the environment with hydrocarbon compounds [49]. The second is easily degradable under the influence of microorganisms, otherwise known as biodegradable oil [50]. We may also distinguish synthetic (i.a. ester) and vegetable oils. Relative to mineral oils, they are characterised by higher density, higher flash point, lower freezing point [49], [51] and lower chain and guide bar noise [52]. A significant disadvantage is the oxidation of fatty acids causing the formation of a sticky or hard layer of dried oil, which increases the frictional resistance of the chainsaw [49].

Analyses of exhaust chainsaws damage show that their most defective parts are the saw's body and the crank-piston (50% of all damage) [53]. One of the less damaged elements are safety systems [53]. Chain and guidance are the most prone to exploitation. The reason for this is the already mentioned friction.

Jednym z rozwiązań opracowanych przez naukowców – nie stosowanym komercyjnie – jest układ rozpoznający niebezpieczne przyspieszenia liniowe i kątowe pilarki łańcuchowej. Algorytm rozpoznający niebezpieczny ruch pilarki łańcuchowej rozłącza jej napęd lub blokuje ruch piły łańcuchowej [48]. Jest to jedna z najskuteczniejszych metod zabezpieczenia operatora w sytuacji odbicia piły.

Czynnikiem pośrednio wpływającym na zdrowie ludzi, w wyniku użytkowania pilarek łańcuchowych, są środki smarne piły łańcuchowej i prowadnicy przedostające się do środowiska naturalnego. Komercyjnie dostępne są dwa rodzaje olei. Pierwszy to olej mineralny, który jest produktem rafinacji ropy naftowej, zanieczyszczającym środowisko związkami węglowodorowymi [49]. Drugi to oleje łatwo ulegające rozkładowi pod wpływem mikroorganizmów, inaczej nazywane biodegradowalnymi [50]. Można wśród nich wyróżnić oleje syntetyczne (m.in. estrowe) i roślinne. Względem mineralnych charakteryzują się większą gęstością, wyższą temperaturą zapłonu, niższą temperaturą zamarzania [49], [51], niższym hałasem związanym z poruszaniem się łańcucha po prowadnicy [52]. Znaczną wadą jest utlenianie kwasów tłuszczowych powodujące tworzenie się lepkiej lub twardej warstwy wyschniętego oleju, która to zwiększa opór tarcia przemieszczającej się po prowadnicy piły łańcuchowej [49].

Analizy uszkodzeń spalinowych pilarek łańcuchowych wykazują, że najbardziej wadliwymi elementami są korpus i układ korbowo-tłokowy (łączenie 50% uszkodzeń) [53]. Najmniej awaryjne są składowe układy bezpieczeństwa pracy [53]. Częściami najbardziej

The above-described innovative chainsaw materials and lubricants contribute to improving the durability of the cutting mechanism components. What is more, Oregon company proposes the use of chain links with an oil chamber to increase the service life of a saw chain. Such system, called LubriLink™, allows the oil to remain on the saw for a long time, limiting its shedding by centrifugal force. Another chain link system aimed at reducing friction and increasing efficiency through a unique design is LubriTec™. An alternative solution Lubriwell™ supports oil distribution throughout the guide bar. It has a hole in the chain link, located in the least loaded part of the guide link. The lubricant in the hole is kept longer on the tool surface, reducing friction during start-up, before the saw lubrication system begins to be fully functional. In addition, the hole in the link reduces the total weight of the chain, thereby reducing the load on the engine. Another solution, introduced by Oregon, that improves lubrication of the cutting mechanism, is the LubriDam™ system. The system has a small threshold located at the bottom of the guide bar groove, just behind the lubrication hole. This solution allows to retain the oil, and thus it is more effectively distributed along the entire length of the guide bar and chain. In consequence, each subsequent chain link guide accumulates oil and distributes it around the guide bar. The manufacturer shows a 135% increase in oil film thickness. Another system called Lubri-Jet™ uses angular lubrication hole in the guide bar to increase the dynamics of oil outflow. Taking above into account, this solution improves chain lubrication, but also more effectively removes dust and shavings from the outlet duct, thus reducing the possibility of blockage.

One of the problems when operating chainsaws is squeezing the guide bar by, e.g., a branch while cutting it from the bottom to top. In 2010, Y. Ishigure and his team presented a prototype solution, which is to counteract the chain blocking phenomenon. A guide with a movable part susceptible to clamping was presented [54]. Another innovation in the chainsaw design is the Oregon PowerSharp® system. In addition to the holes on the sharpening system, it has a mild rounding radius which reduces the kickback energy.

Chainsaw vibration is a disadvantageous phenomenon for operators. One of the sources of vibration in the chainsaw is the cutting mechanism. Oregon company has developed the Vibe-Ban™ system, which – according to the manufacturer specification – reduces vibration by 30%. Chainsaws cutting links made in this system are characterised by a reduced quantity of material in the back of the link part. That solution allows this part of the link to move freely over the edge of the guide bar. The space between the chain and guide bar enables the chainsaw to absorb shocks. When the working edge of the cutting link introduces into the wood surface, the back of the links is susceptible to slight movement. It stands in contrast to classic solutions in which wedging chain friction is observed over the whole surface.

podatnymi na zużycie na skutek eksploatacji pilarek są piły łańcuchowe i prowadnice. Przyczyną takiego zjawiska jest wspomniane wcześniej tarcie. Do poprawy trwałości elementów mechanizmu tnącego przyczyniają się wyżej opisywane innowacyjne materiały pił łańcuchowych oraz środki smarne. Firma Oregon – w celu zwiększenia żywotności pił łańcuchowych – proponuje zastosowanie ogniwi łańcucha z komorą olejową. System taki, nazwany LubriLink™, ma pozwalać na zachowanie oleju na piłę przez dłuższy czas, ograniczając zrzucenie go przez siłę odśrodkową. Kolejny system modyfikujący ogniwa łańcucha to LubriTec™. Ma zmniejszać tarcie i poprawiać wydajność poprzez specjalną konstrukcję. Z kolei Lubriwell™ wspomaga rozprowadzanie oleju na całej prowadnicy. Posiada otwór w ogniwi łańcucha umieszczony w najmniej obciążonej części ogniwa prowadzącego. Substancja smarująca znajdująca się w otworze dłużej utrzymuje się na powierzchni narzędzia, powodując zmniejszenie tarcia w trakcie uruchamiania, zanim układ smarujący piły zacznie w pełni funkcjonować. Ponadto otwór w ogniwi powoduje obniżenie całkowitej masy łańcucha, a przez to zmniejszenie obciążenia silnika. Innym rozwiązaniem firmy Oregon, poprawiającym smarowanie mechanizmu tnącego, jest system Lubri-Dam™. Układ posiada niewielki próg położony w dolnej części rowka prowadnicy, tuż za otworem smarowym. Dzięki temu rozwiązaniu olej zostaje zatrzymany i skuteczniej rozprowadzony po całej długości prowadnicy i łańcucha. Każde następne ogniwo prowadzące łańcucha tnącego zbiera olej i rozprowadza go wokół prowadnicy. Producent wykazuje zwiększenie grubości filmu olejowego o 135%. Z kolei w systemie Lubri-Jet™ zastosowano kątowy otwór smarujący w prowadnicy, co zwiększa dynamikę wypływu oleju. Dzięki temu rozwiązaniu poprawia się smarowanie piły łańcuchowej, ale również skuteczniej usuwane są pyły i wióry z okolic kanału wylotowego, co ogranicza możliwość zatoru.

Jednym z problemów podczas eksploatacji pilarek spaliny jest ściskanie prowadnicy przez np. odcinaną gałąź podczas cięcia z dołu do góry. W 2010 roku Y. Ishigure wraz z zespołem przedstawili rozwiązanie prototypowe przeciwdziałające zjawisku blokowania prowadnicy przez łańcuch. Zaprezentowano prowadnicę z ruchomą częścią podatną na zaciskanie [54]. Inną innowacją konstrukcji prowadnicy piły łańcuchowej jest system PowerSharp® firmy Oregon. Poza otworami na układzie ostrzącym posiada on łagodny promień zaokrąglenia, dzięki któremu następuje redukcja energii odbicia.

Wibracje pilarek spalinowych to niekorzystne dla operatorów zjawisko. Jednym ze źródeł wibracji w pilarence jest mechanizm tnący. Firma Oregon opracowała system Vibe-Ban™, który – wg danych producenta – zmniejsza poziom wibracji o 30%. Ogniwa tnące piły łańcuchowej wykonanej w tym systemie charakteryzują się zmniejszoną ilością materiału w tylnej części stopy ogniwa. Pozwala to tej części ogniwa na swobodne przemieszczanie się ponad krawędź prowadnicy. Przestrzeń pomiędzy łańcuchem i prowadnicą umożliwia piłę łańcuchowej spełnianie funkcji pochłaniacza wstrząsów. Kiedy krawędź robocza ogniwa tnącego zagłębia się w drewno, tylna część ogniwa jest podatna na niewielkie przemieszczenia. Przeciwnie dzieje się w przypadku klasycznych rozwiązań, gdzie w takich sytuacjach dochodzi do klinowania i tarcia łańcucha na całej powierzchni.

Summary

Available in the literature analyses of the cutting chains and mobile chainsaws evolution are conducted mainly from logging conditions perspective [55–56]. The authors of the article indicated innovations in the chainsaws with respect to the rescue and firefighting activities. The solutions presented in the article can contribute to the development of rescue teams equipment, increasing their efficiency and safety at work. The article also indicates the need for research into solutions that can be used in rescue activities. The trend that can be observed in the rescue team equipment development is the use of petrol chainsaws equipped with chains of increased durability for cutting contaminated wood. Low-emission and low-impact drives, systems protecting the operator's body against the sawing machines during uncontrolled and unpredictable situations were also introduced. Using a biodegradable oils for chain lubrication is included in these trends too.

What needs to be underlined is that chainsaws are not subject to certification of admittance process for the products used to assure public safety or to protect health, life and property. They are excluded from the list of the admittance regulation (Journal of Laws, Dz. U. No. 143, item 1002; Dz. U. No. 143, item 1002; Dz. U. No. 85 item 553; Dz. U. 2018 item 984), and as a result of that, fire protection units have freedom in their application. Therefore, it is important to publish information about these devices. This can be helpful for the operation of fire rescue units as well as may contribute to their greater awareness about the tools in question.

Podsumowanie

Dostępne w literaturze analizy ewolucji pił łańcuchowych oraz przenośnych pilarek są prowadzone głównie dla warunków pozyskiwania drewna [55–56]. Autorzy artykułu wskazali innowacje w zakresie pilarek łańcuchowych ukierunkowanych na prace w zakresie działań ratowniczo-gaśniczych. Zaprezentowane rozwiązania mogą przyczynić się do zwiększenia asortymentu zespołów ratowniczych, korzystnie wpływając na ich efektywność i bezpieczeństwo pracy. Dostrzeżono również konieczność prowadzenia badań nad innowacyjnymi rozwiązaniami w kierunku ich przydatności w akcjach ratowniczych. Trendem, który można zaobserwować w rozwoju wyposażenia zespołów ratowniczych, jest stosowanie pilarek spalinowych wyposażonych w łańcuchy o podwyższonej trwałości podczas cięcia drewna zanieczyszczonego. Wdrożono również niskoemisyjne i mało oddziaływujące napędy, układy zabezpieczające ciało operatora przed ostrzami ogniw tnących piły łańcuchowej podczas niekontrolowanych i nieprzewidywalnych sytuacji, a także biodegradowalne oleje do smarowania łańcucha.

Warto podkreślić, że pilarki łańcuchowe nie podlegają procesom dopuszczenia wyrobów służących zapewnieniu bezpieczeństwa publicznego lub ochronie zdrowia i życia oraz mienia. Nieuwzględnienie ich na liście rozporządzenia (Dz. U. Nr 143, poz. 1001; Dz. U. Nr 143, poz. 1002; Dz. U. Nr 85 poz. 553; Dz. U. 2018 poz. 984) oznacza, że jednostki ochrony przeciwpożarowej mają dowolność w ich stosowaniu. Dlatego ważne jest publikowanie informacji pomagających zwiększać świadomość na temat tych urządzeń oraz usprawniać funkcjonowanie straży pożarnych.

Literature / Literatura

- [1] Aniszewska M., Brzózko J., Skarzyński J., *Harwestery do pozyskiwania drewna stosowane w polskich lasach. Część 2. Głowice harwesterowe*, „Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna” 2011, 2.
- [2] Sowa J., Gieralowiec K., Gaj-Gieralowiec D., *Characteristics and development of the construction of logging harvester heads*, “Forestry Letters” 2013, 105, 3.
- [3] Acosta F.C., Oliveira D.C.D., Arruda C., Garcia M.L., Melo R.R.D., *Operational Performance of the Selective Cutting of Trees With Chainsaw*, “Floresta e Ambiente” 2018, 25, 3.
- [4] Colantoni A., Mazzocchi F., Cossio F., Cecchini M., Bedini R., Monarca D., *Comparisons between battery chainsaws and internal combustion engine chainsaws: performance and safety*, “Contemp Eng Sci” 2016, 9, 1315–1337.
- [5] Halilović V., Musić J., Bajrić M., Sokolović D., Knežević J., Kupusović A., *Fuel and lubricants consumption during timber felling and processing in the area of pj Forest office „Zavidovići”*, “Journal of the Forestry Society of Croatia” 2019, 143, 7–8, 337–345.
- [6] Maciak A., *Wpływ zużycia eksploatacyjnego piły łańcuchowej na uzyskiwane efekty skrawania*, „Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych” 2002, 486, 1.
- [7] Maciak A., Kubuska M., Moskalik T., *Instantaneous Cutting Force Variability in Chainsaws*, “Forests” 2018, 9, 10, 660, <https://doi.org/10.3390/f9100660>.
- [8] Kuvik T., Krilek J., Kováč J., Štefánek M., Dvorak J., *Impact of the selected factors on the cutting force when using a chainsaw*, “Wood Res” 2017, 62, 807–814.
- [9] Gendek A., *Parametry wpływające na zmienność oporów skrawania drewna piłą łańcuchową*, „Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych” 2009, 543.
- [10] Maciak A., Kubuska M., *Wpływ napięcia wstępnego na szybkość stępienia się ogniw piły łańcuchowej oraz wydajność skrawania*, „Leśne Prace Badawcze” 2018, 79, 3.
- [11] Komorowski J., *Wpływ geometrii ostrza żłobikowego piły łańcuchowej na skrawanie drewna sosnowego*, „Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa” 1990, 717–721.
- [12] Kaliniewicz Z., Maleszewski Ł., Krzysiak Z., *Influence of saw chain type and wood species on the kickback angle of a chainsaw*, “Technical Sciences” 2018, 21, 4, 323–334.
- [13] Waluś K. J., Warguła Ł., Krawiec P., Adamiec J. M., *Legal regulations of restrictions of air pollution made by non-road mobile machinery – the case study for Europe: a review*, “Environmental Science and Pollution Research” 2018, 25, 4, 3243–3259.

- [14] Warguła Ł., Krawiec P., Waluś K. J., Polasik J., *Electronic control in injection-ignition systems in propulsion of non-road mobile machinery*, "Journal of Mechanical and Transport Engineering" 2018, 70, 1, 61–78.
- [15] Warguła Ł., Waluś K. J., Krawiec P., *Small engines spark ignited (SI) for non-road mobile machinery – review*. Transport Means 2018: Proceedings of the 22nd International Scientific Conference, October 03–05, 2018, Trakai, Lithuania. Part 2: 585–591.
- [16] Waluś K. J., Warguła Ł., Krawiec P., Adamiec J. M., *The impact of the modernization of the injection-ignition system on the parameters of motion of the motorcycle*, "Procedia Engineering" 2017, 177, 393–398.
- [17] Warguła Ł., *Innovative Injection-Ignition System in a Non-Road Small Engine – Construction System*, Transport Means 2019: Proceedings of the 23rd International Scientific Conference, October 02-04, 2019, Palanga, Lithuania, Part 2, 931–935.
- [18] Warguła Ł., Waluś K. J., *Wieloaspektowa ocena wpływu modyfikacji układu wtryskowo-zapłonowego część 1.*, *Inżynieria Wytwarzania*, Wydawnictwo uczelniane Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej im. Prezydenta Stanisława Wojciechowskiego w Kaliszu, Kalisz 2016, 227–236.
- [19] Warguła Ł., Waluś K. J., *Wieloaspektowa ocena wpływu modyfikacji układu wtryskowo-zapłonowego część 2.*, *Inżynieria Wytwarzania*, Wydawnictwo uczelniane Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej im. Prezydenta Stanisława Wojciechowskiego w Kaliszu, Kalisz 2016, 237–248.
- [20] Warguła Ł., Waluś K. J., *Wieloaspektowa ocena wpływu modyfikacji układu wtryskowo-zapłonowego część 3.*, *Inżynieria Wytwarzania*, Wydawnictwo uczelniane Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej im. Prezydenta Stanisława Wojciechowskiego w Kaliszu, Kalisz 2016, 249–258.
- [21] Neri F., Laschi A., Foderi C., Fabiano F., Bertuzzi L., Marchi E., *Determining noise and vibration exposure in conifer cross-cutting operations by using li-ion batteries and electric chainsaws*, "Forests" 2018 9(8), 501, <https://doi.org/10.3390/f9080501>.
- [22] Hanisch C., Loellhoeffel T., Diekmann J., Markley K. J., Haselrieder W., Kwade A., *Recycling of lithium-ion batteries: a novel method to separate coating and foil of electrodes*, "Journal of Cleaner Production" 2015, 108, 301–311, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.026>.
- [23] Boubaker K., Colantoni A., Allegrini E., Longo L., Di Giacinto S., Monarca D., Cecchini M., *A model for musculoskeletal disorder-related fatigue in upper limb manipulation during industrial vegetables sorting*, "International Journal of Industrial Ergonomics" 2014, 44, 601–605, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ergon.2014.03.005>.
- [24] Kristinsdóttir A. R., Corredor D. F. P., *Life cycle assessment of chainsaws. A case study of two Husqvarna products with different power systems*. Göteborg, Sweden 2011 ESA Report No. 2011:9.
- [25] Rukat W., Barczewski R., Jakubek B., Wróbel M., *The comparison of vibro-acoustic impact of chainsaws with electric and combustion drives*. In MATEC Web of Conferences, Proceeding of the 17th International Conference Diagnostics of Machines and Vehicles, 2018, 182, 02020, EDP Sciences, <https://doi.org/10.1051/mateconf/201818202020>.
- [26] Poje A., Potočnik I., Mihelič M., *Comparison of electric and petrol chainsaws in terms of efficiency and safety when used in young spruce stands in small-scale private forests*, "Small-scale Forestry" 2018, 17(3), 411–422.
- [27] Aaldering L. J., Song C. H., *Tracing the technological development trajectory in post-lithium-ion battery technologies: A patent-based approach*, "Journal of Cleaner Production" 2019, 241, 118343, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118343>.
- [28] Iftime M. D., Dumitrascu A. E., Ciobanu V. D., *Chainsaw operators' exposure to occupational risk factors and incidence of professional diseases specific to forestry field*, "International Journal of Occupational Safety and Ergonomics" 2019, 1–38.
- [29] Malinowska-Borowska J., Socholik V., Harazin B., *Stan zdrowia pracowników leśnych narażonych na hałas i wibracje miejscowe wytwarzane przez piły łańcuchowe*, "Medycyna Pracy" 2012, 63, 1, 19–29.
- [30] Wojtkowiak R., Kromulski J., Dubowski A., *Measurements of noise resulting from cutting chain movements on a chain-saw bar, lubricated with different oils*, "Acta Scientiarum Polonorum. Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria" 2007, 6, 1, 85–93.
- [31] Górski J., *Wstępne badania emisji akustycznej towarzyszącej skrawaniu drewna piłą łańcuchową*, "Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej" 2000, 3, 17–19.
- [32] Kováč J., Krilek J., Dado M., Beňo P., *Investigating the influence of design factors on noise and vibrations in the case of chainsaws for forestry work*. "FME Transactions" 2018, 46, 4, 513–519.
- [33] Wojcik K., Skarzynski J., Salek M., *Wpływ średnicy drewna sosnowego na drgania elektrycznej pilarki z piłą łańcuchową Stihl E180 przy przerzynce*, "Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych" 2009, 543.
- [34] Stempski W., Jabłoński K., Wegner J., *Relations between top-plate filling angle values of cutting chains and chain-saw vibration levels*, "Acta Scientiarum Polonorum" 2010, 9, 31–39.
- [35] Landekić M., Bačić M., Pandur Z., Šušnjar M., *Vibration Levels of Used Chainsaws*, "Forests" 2020, 11, 2, 249.
- [36] Feyzi M., Jafari A., Ahmadi H., *Investigation and analysis the vibration of handles of chainsaw without cutting*, "Journal of Agricultural Machinery" 2016, 6, 1, 90–101.
- [37] Dimou V., Kantartzis A., Malesios C., Kasampalis E., *Research of exhaust emissions by chainsaws with the use of a portable emission measurement system*, "International Journal of Forest Engineering" 2019, 30, 3, 228–239.
- [38] Lijewski P., Fuć P., Dobrzynski M., Markiewicz F., *Exhaust emissions from small engines in handheld devices*, In MATEC Web of Conferences, VII International Congress on Combustion Engines, Poznań, Poland, 27–29 June 2017, EDP Sciences: Lez Ili, France, 2017; Volume 118.

- [39] Dimou V., Kantartzis A., Malesios C., Kasampalis E., *Research of exhaust emissions by chainsaws with the use of a portable emission measurement system*, "International Journal of Forest Engineering" 2019, 30, 3, 228–239.
- [40] Hooper B., Parker R., Todoroki C., *Exploring chainsaw operator occupational exposure to carbon monoxide in forestry*, "Journal of occupational and environmental hygiene" 2017, 14(1), D1–D12.
- [41] Dąbrowski A., *Przyczyny wypadków powodowanych przez przenośne pilarki łańcuchowe*, „Bezpieczeństwo Pracy: nauka i praktyka” 2001, 10–13.
- [42] Cividino S. R. S., Gubiani R., Pergher G., Dell’Antonia D., Maroncelli E., *Accident investigation related to the use of chainsaw*, "Journal of Agricultural Engineering" 2013, 44.
- [43] Tobita K., Nitami T., Yoshioka T., *Factors associated with injuries related to chainsaw tree felling in Japan*, "International Journal of Forest Engineering" 2019, 30, 3, 190–194.
- [44] Dąbrowski A., *Analysis and Laboratory Testing of Technical Injury Prevention Measures for Portable Combustion Chainsaws*, "Forests" 2020, 11, 3, 276.
- [45] Dąbrowski A., *Przenośne pilarki łańcuchowe-ochrona operatora przed kontaktem z ruchomym narzędziem*, „Bezpieczeństwo Pracy: nauka i praktyka” 2019, 16–19.
- [46] Dąbrowski A., *Aktualne wytyczne norm zharmonizowanych dotyczące technicznych środków ochrony przed urazami powodowanymi przez pilarki łańcuchowe*, „Bezpieczeństwo Pracy: nauka i praktyka” 2016, 22–25.
- [47] Dąbrowski A., *Rozwiązania konstrukcyjne przenośnych pilarek łańcuchowych zwiększających bezpieczeństwo ich obsługi*, „Bezpieczeństwo Pracy: nauka i praktyka” 2004, 11–14.
- [48] Cividino S. R., Blanchini F., Lombardo R., Dell’Antonia D., Vujić T. D., Malev O., Gubiani R., *An Improved Safety Device for Electric Chainsaws*, "Contemporary Engineering Sciences" 2015, 27, 8, 1229.
- [49] Wojtkowiak R., Tomczak R. J., *Analiza porównawcza wybranych właściwości olejów smarujących układ tnący pilarki łańcuchowej*, „Rośliny Oleiste-Oilseed Crops” 2013, 24, 1, 317–325.
- [50] Zembrowski K., Dubowski A. P., Wojtkowiak R., *Biodegradowalne środki smarne dla urządzeń technicznych do pozyskiwania drewna*, „Technika rolnicza ogrodnicza leśna” 2010, 1, 23–28.
- [51] Wojtkowiak R., Dubowski A., *Badania porównawcze właściwości olejów smarowych układu tnącego pilarki łańcuchowej*, „Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych” 2002, 486, 1.
- [52] Wojtkowiak R., Kromulski J., Dubowski A., *Measurements of noise resulting from cutting chain movements on a chain-saw bar, lubricated with different oils*, "Acta Scientiarum Polonorum. Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria" 2007, 6, 1.
- [53] Pilarek Z., Mielnicki P., *Causes of defects of power chain-saws*, "Acta Sci. Pol., Silv. Colendar. Rat. Ind. Lignar." 2008, 7(4), 45–54.
- [54] Ishigure Y., Kachi H., Mori Y., Kawasaki H., *Pruning machine with a mechanism for preventing branch bite*. In Proc. of Forest Engineering: Meeting the Needs of the Society and the Environment (FORMEC 2010), 1–9.
- [55] Jelonek T., *Ewolucja piły łańcuchowej oraz pilarki jako środków do pozyskiwania drewna*, „Studia i Materiały Ośrodka Kultury Leśnej” 2015, 14.
- [56] Kranjec J., Poršinsky T., *History of chainsaw development*, "Nova Mehanizacija Šumarstva" 2011, 32, 23–37.

ŁUKASZ WARGUŁA, PH.D. ENG. – a graduate of the Faculty of Mechanical Engineering and Management at Poznan University of Technology. He obtained his Ph.D. in technical sciences in 2018 in the discipline of Machine Construction and Maintenance. Since 2016, he has been working at the Institute of Machine Design as an assistant professor. His scientific interests include machines and vehicles construction and operation as well as mechatronics in vehicles. He deals with the research and analysis the systems construction and designing effective solutions for the machines and vehicles drives.

PIOTR KRAWIEC, D.SC. ENG. PP PROF. – a graduate of the Faculty of Mechanical Engineering at the Poznan University of Technology. He obtained his doctoral degree in 2002 and in 2011 a postdoctoral degree. Since 1994, he has been working at the Department of Fundamentals of Machine Design. His specialisation includes: machine construction and operation, computer aided design, material testing, drive control, cargo transportation safety.

DR INŻ. ŁUKASZ WARGUŁA – ukończył studia na Wydziale Budowy Maszyn i Zarządzania na Politechnice Poznańskiej. W 2018 r. uzyskał stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie budowy i eksploatacji maszyn. Od 2016 r. pracuje w Instytucie Konstrukcji Maszyn na stanowisku adiunkta. Jego zainteresowania badawcze obejmują: konstrukcję i eksploatację maszyn i pojazdów oraz mechatronikę pojazdów. Zajmuje się badaniami i analizą budowy systemów oraz projektowaniem efektywnych rozwiązań w układach napędowych maszyn i pojazdów.

DR HAB. INŻ. PIOTR KRAWIEC, PROFESOR PP – ukończył studia na Wydziale Budowy Maszyn Politechniki Poznańskiej. Stopień doktora uzyskał w 2002 r., w 2011 r. stopień doktora habilitowanego. Od 1994 r. pracuje w Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn. Specjalność – budowa i eksploatacja maszyn, komputerowe wspomaganie projektowania, badania materiałów, sterowanie napędami, bezpieczeństwo transportu ładunków.

MATEUSZ KUKLA, PH.D. ENG. – received his bachelor and master degrees in mechatronics from the Poznań University of Technology. In 2018 he obtained his Ph.D. in mechanical engineering. Since 2013 he has been employed at the Institute of Machine Design as an assistant professor. The area of his scientific interest covers issues related to non-classical engineering materials – magneto-rheological elastomers. He conducts material research of these composites and engineering works related to their practical applications. In addition, he deals with issues related to the construction of machines and vehicles. He devotes particular interest to the construction of wheelchairs and their drive systems.

BARTOSZ WIECZOREK, PH.D. ENG. – a graduate of the Faculty of Construction Machinery and Transport at the Poznan University of Technology. Since 2015 he has been employed at the Institute of Machine Design in Poznań University of Technology. As part of his work, he deals with the methodology of designing and constructing rehabilitation devices dedicated to people with disabilities of the locomotor system. These works are directed towards the biomechanics of the human-wheelchair anthropotechnical system. His particular interest concerns the process of driving manual wheelchairs and its impact on the muscular system.

PIOTR KACZMARZYK, M.SC. ENG. – a graduate of the Faculty of Fire Safety Engineering at The Main School of Fire Service. Since 2015 he has been working in the Laboratory of Combustion Processes and Explosions at the Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute. His professional activity is associated with reaction to fire of building materials, explosion and fire protection systems, fire ventilation systems effectiveness evaluation using CFD tools. He is an author of many publications, technical standards and elaboration associated with building fire safety.

DR INŻ. MATEUSZ KUKLA – ukończył studia licencjackie i magisterskie na kierunku mechatronika na Politechnice Poznańskiej. W 2018 r. uzyskał stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynierii mechanicznej. Od 2013 r. pracuje w Instytucie Konstrukcji Maszyn na stanowisku adiunkta. Obszar zainteresowań badawczych autora obejmuje: nieklasyczne materiały inżynierskie – elastomery magneto-reologiczne. Prowadzi badania materiałowe tych kompozytów i prace inżynierskie związane z ich zastosowaniem praktycznym. Dodatkowo zajmuje się kwestiami związanymi z budową maszyn i pojazdów. Szczególną uwagę poświęca budowie wózków inwalidzkich i ich systemów napędowych.

DR INŻ. BARTOSZ WIECZOREK – ukończył studia na Wydziale Maszyn Roboczych i Transportu. Od 2015 r. pracuje w Instytucie Konstrukcji Maszyn. Zajmuje się między innymi metodologią projektowania i budowy urządzeń rehabilitacyjnych dla osób niepełnosprawnych ruchowo. Prace te skoncentrowane są na biomechanice systemów antropotechnicznych dla wózka inwalidzkiego. Szczególnie zainteresowania autora dotyczą poruszania się na manualnych wózkach inwalidzkich i ich wpływu na system mięśniowy.

MGR INŻ. PIOTR KACZMARZYK – absolwent Wydziału Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego w Szkole Głównej Służby Pożarniczej. Obecnie pracuje w Laboratorium Procesów Spalania i Wybuchowości w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwożarowej – Państwowym Instytucie Badawczym. Działalność zawodowa autora jest związana z takimi zagadnieniami jak: reakcja na ogień materiałów budowlanych, systemy zabezpieczeń przeciwpożarowych i przeciwwybuchowych obiektów budowlanych, ocena skuteczności działania systemów wentylacji pożarowej wykorzystujących narzędzia CFD. Jest autorem wielu publikacji, standardów technicznych oraz opracowań związanych z bezpieczeństwem pożarowym budynków.