



mgr inż. MIESZKO WODZYŃSKI (ORCID: 0000-0002-1378-7901)

dr inż. ANDRZEJ DĄBROWSKI (ORCID: 0000-0002-6727-1580)

Kontakt: miwod@ciop.pl, andab@ciop.pl

DOI: 10.54215/BP.2022.08.20.Wodzynski

Zastosowanie technik VR do wspomagania szkolenia operatorów przenośnych pilarek łańcuchowych



Fot. Kadmy/Bigstockphoto

Przenośne pilarki łańcuchowe są w Polsce powszechnie użytkowane w budownictwie, rolnictwie i pracach przydomowych, jednak stanowią źródło poważnych urazów, ponieważ piła łańcuchowa może łatwo wejść w kontakt z ciałem operatora. W artykule przedstawiono możliwości wspomagania szkoleń operatorów pilarek z wykorzystaniem budowanego w CIOP-PIB wirtualnego trenera. Oceniono wpływ realizowanych programów szkoleń oraz techniczne możliwości sprzętu komputerowego, który jest dostępny na rynku, na perspektywę skutecznego wdrożenia takiego rozwiązania w Polsce. Zaprezentowano wyniki wstępnych badań dotyczących interakcji człowiek – środowisko wirtualne podczas symulacji pracy pilarką. Uczestnicy badań potwierdzili zalety stosowanej techniki komputerowej. Wskazywali na jej niewielką uciążliwość i niski poziom stresu towarzyszący jej użytkowaniu, wysoki poziom jej akceptacji i duże możliwości odwzorowania rzeczywistego środowiska pracy.

Słowa kluczowe: wspomaganie komputerowe, szkolenie, rzeczywistość wirtualna, VR, przenośna pilarka łańcuchowa, bezpieczeństwo

The use of VR techniques in computer-aided training for operators of portable chainsaws

Portable chain saws are commonly used in Poland in construction, agriculture and domestic work, but are a source of serious injury because the chain can easily come into contact with the body of the operator. The article presents possibilities of supporting chainsaw operator training with the use of a virtual trainer built at CIOP-PIB. It assesses the influence of training programs and technical possibilities of computer equipment available on the market on the possibility of effective implementation of such a solution in Poland. The results of preliminary tests of human interaction with the virtual environment during the simulation of chainsaw operation were presented. The participants of the tests confirmed the advantages of the applied computer technology indicating: minor inconvenience and low level of stress (during use), high level of its acceptance and high possibility of replicating the real working environment.

Keywords: computer support, training, virtual reality, VR, portable chainsaw, safety

Wstęp

Leśnictwo stanowi jedną z gałęzi gospodarki narodowej państwa, której głównym zadaniem jest użytkowanie lasów w celu zrównoważonego pozyskiwania ich naturalnych zasobów i utrzymanie trwałości naturalnych ekosystemów w odpowiednich warunkach [1]. Jest jednak również działalnością obciążoną ryzykiem poniesienia przez pracownika uszczerbku na zdrowiu, a nawet śmierci.

Maszynami, które w Polsce nadal powszechnie się wykorzystuje – również w leśnictwie – do pozyskiwania drewna, są przenośne pilarki łańcuchowe. Jednocześnie stanowią one jedno z głównych źródeł wypadków podczas wykonywania prac. Przenośne pilarki łańcuchowe znajdują ponadto zastosowanie w budownictwie i rolnictwie oraz w pracach amatorskich. Pilarki mogą mieć różny napęd, jednak większość użytkowników decyduje się na maszyny z napędem spalinowym.

Mimo że w tych maszynach zastosowano wiele nowych rozwiązań poprawiających ergonomię i bezpieczeństwo obsługi [3, 4], to jednak operator musi trzymać pilarkę w rękę w stosunkowo bliskiej odległości od ciała, więc poruszając się i nieosłonięta piła łańcuchowa może łatwo wejść z nim w kontakt. Wypadki się zdarzają i w większości są spowodowane kontaktem z poruszającym się narzędziem pilarki, zwłaszcza podczas wystąpienia zjawiska odbicia [5, 6].

Wskutek tych wypadków dochodzi do poważnych urazów [7]. Według danych statystycznych w USA urazów powodowanych piłą łańcuchową doznają różni użytkownicy – zarówno drwale, pracownicy szkółek leśnych czy inne osoby zawodowo wykorzystujące te maszyny, jak i użytkownicy pilarek w gospodarstwach domowych. Notuje się tam rocznie od 40 do 90 tys. wypadków podczas użytkowania pilarek łańcuchowych, w tym od 40 do 60 wypadków ze skutkiem śmiertelnym [8]. W Polsce według danych statystycznych KRUS [9] kolejno w latach 2019 i 2020 zarejestrowano 325 i 235 wypadków podczas użytkowania przenośnych pilarek łańcuchowych, co stanowiło odpowiednio 7,0% i 6,2% ogólnej liczby wypadków w rolnictwie.

Z kolei zgodnie z danymi GUS [2] za 2020 r. w leśnictwie przyczyną ludzkie (brak czynnika materialnego lub nieodpowiednie postępowanie się nim, nieużywanie sprzętu ochronnego, niewłaściwe zachowanie się, zły stan psychofizyczny) odpowiadały: w sektorze publicznym – za 81% ogólnej liczby wypadków, w sektorze prywatnym – za 73% ogólnej liczby wypadków.

Statystyki wypadków wskazują na konieczność zintensyfikowania działań w zakresie edukacji operatorów maszyn, w tym osób postępujących się spalinowymi przenośnymi pilarkami łańcuchowymi. W tych działaniach do uzupełnienia praktycznych szkoleń operatorów można wykorzystać moduł wirtualnego trenera [10] (projektowany i budowany w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym), który stanowi rozwinięcie i znaczące udoskonalenie

dotychczasowych rozwiązań w Europie^{1,2}, i na świecie.

Celem artykułu jest przedstawienie możliwości wspomagania szkoleń operatorów spalinowych przenośnych pilarek łańcuchowych z wykorzystaniem wirtualnego trenera i z uwzględnieniem:

- szkoleń funkcjonujących w Polsce,
- technicznych możliwości dostępnego sprzętu komputerowego,
- wyników wstępnych badań interakcji człowiek – środowisko wirtualne podczas symulacji pracy spalinową przenośną pilarką łańcuchową.

¹ Stihl, Farming Simulator 17 Chainsaw STIHL MS660, <https://gamesmods.net/farming-simulator-2019/other-fs19-mods/89070-stihl-ms660-chainsaw-v10.html> [dostęp: 30.12.2021].

² Forestry South Africa, 18th Annual Report, December 2019, <https://www.forestrysouthafrica.co.za/wp-content/uploads/2020/11/FSA-Annual-report-2019-colour.pdf> [dostęp: 30.12.2021].

Szkolenia operatorów przenośnych pilarek łańcuchowych w Polsce

W Polsce zakresy programów szkoleń operatorów przenośnych pilarek łańcuchowych są zróżnicowane w zależności od grupy użytkowników tych maszyn. Drwale – operatorzy przenośnych pilarek łańcuchowych są szkoleni zgodnie z wymaganiami prawa [11]. Do pracy z użyciem pilarki można dopuścić wyłącznie pracowników, którzy z wynikiem pozytywnym ukończyli szkolenie obejmujące część teoretyczną i praktyczną. Analiza wybranych programów tego typu kursów wskazuje, że czas trwania tych szkoleń jest różny^{3,4} (zob. tabelę).

³ Dolnośląski Zakład Doskonalenia Zawodowego we Wrocławiu, OKZ Złotyja, kurs „Drwal-operator pilarki”, <http://dzz-kursy-szkolenia.blogspot.com/2014/04/kurs-drwala-operatora-pilarki-zlotyja.html> [dostęp: 14.01.2022].

⁴ ProLogos, kurs „Pilarz-drwal”, <https://kurspilarzy.pl/pilarz-drwal.html> [dostęp: 14.01.2022].

Tabela. Czas trwania szkoleń teoretycznych i praktycznych w ramach programów szkoleniowych przeznaczonych dla drwali, operatorów pilarek w budownictwie i rolników używających te maszyny
Table. The time dimension of theoretical and practical training as part of training programs for lumberjacks, construction chain saws operators and farmers using these machines

Szkolenia teoretyczne			
Rodzaj szkolenia	Rodzaje zajęć	Czas trwania zajęć	Uwagi
Szkolenie dla drwali – operatorów pilarek	Techniki ścinki i obalania drzew	6-13 godz.	Ujęto także ścinkę drzew trudnych oraz usuwanie złomów
	Techniki okrzyszowania drewna (drzew ściętych)	1-2 godz.	–
	Techniki przerzynki drewna, tj.: kłód i dłużyc	1 godz.	–
Szkolenie dla operatorów pilarek w budownictwie	Technika pracy pilarkami	4 godz.	Wykłady obejmują: przygotowanie maszyny do pracy, przygotowanie stanowiska pracy, technikę pracy pilarkami podczas ścinki i obalania drzew, okrzyszowania, usuwania złomów i wywrótów oraz przerzynki
Szkolenie dla rolników używających pilarki łańcuchowe	Omówienie zasad bezpieczeństwa użytkowania pilarek	1 godz. (przypuszczalny czas trwania wykładu teoretycznego nt. pilarek)	Zajęcia w ramach trwającego ok. 5-6 godzin spotkania z rolnikami, obejmującego głównie: stosowanie środków ochrony indywidualnej, zasady bezpieczeństwa przy pozyskiwaniu drewna, pokazy cięcia pilarką łańcuchową oraz konkurs testowy z nagrodami
Szkolenia praktyczne			
Rodzaj szkolenia	Rodzaje zajęć	Czas trwania zajęć	Uwagi
Szkolenie dla drwali – operatorów pilarek	Techniki ścinki i obalania drzew	45-54 godz.	Ujęto także ścinkę drzew trudnych oraz usuwanie złomów
	Techniki okrzyszowania drewna (drzew ściętych)	6-10 godz.	–
	Techniki przerzynki drewna, tj.: kłód i dłużyc	6 godz.	Ujęto także usuwanie wywrótów
Szkolenie dla operatorów pilarek w budownictwie	Techniki ścinki i obalania drzew	1,5 godz.	Ramy czasowe wg informacji od prowadzących szkolenia
	Techniki okrzyszowania drewna	2,5 godz.	
	Techniki przerzynki drewna	3,5 godz.	
Szkolenie dla rolników	Pokazy cięcia pilarką łańcuchową	1-2 godz. (przypuszczalny czas trwania pokazu pracy pilarką)	Zajęcia w ramach trwającego ok. 5-6 godzin spotkania z rolnikami, obejmującego m.in. omówienie zasad bezpieczeństwa użytkowania pilarek
Słowniczek:			
Złom – drzewo złamane, stojące, zwykle już martwe (pień lub pniak). Bezpośrednimi przyczynami powstawania złomów są na ogół wiatr i śnieg.			
Wywrót – drzewo z naderwanym korzeniem lub całkowicie wyrwcone w wyniku działania wiatru, rzadziej w wyniku okiści i deszczu.			
Kłoda – sztuka drewna okrągłego o długości do 6 m. Długość określa każdorazowo umowa pomiędzy leśnikami a odbiorcami drewna.			
Dłużyc – cały pień ściętego drzewa o długości powyżej 6 m i o średnicy w górnym (cieńszym) końcu 14 cm.			

Przepisy prawa [12] określają obowiązki pracodawcy w odniesieniu do szkoleń operatorów pilarek w budownictwie, prowadzonych przez Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego w Warszawie.

Czas trwania szkoleń teoretycznych i praktycznych, przeznaczonych dla drwali, operatorów pilarek w budownictwie i rolników, przedstawiono w tabeli na s. 13.

Zakres programów jednodniowych szkoleń KRUS nie jest ustalony, a z dostępnych informacji wynika, że zajęcia obejmują: omówienie zasad bezpieczeństwa użytkowania pilarek i pozyskiwania drewna, pokazy cięcia pilarką łańcuchową, przekazanie materiałów prewencyjnych i popularyzatorskich oraz konkursy z nagrodami^{5,6}.

Należy również zwrócić uwagę, że niektórzy organizatorzy szkoleń (zwłaszcza dla drwali) próbują ominąć szkolenie praktyczne, wybierając tryb zdalny bez jakichkolwiek zajęć praktycznych z maszynami. Można tu przytoczyć zapis jednej z rozmów z przedstawicielem firmy prowadzącej szkolenia zamieszczony w „Gazecie Leśnej” [13]:

– Dzień dobry, chciałem spytać o kurs operatora pilarki, w internecie widziałem ogłoszenie.

– Tak, oczywiście. Dokument kosztuje 300 zł.

– Dokument? A jak to szkolenie przebiega?

– No, wysyłamy do pana materiały, pan się zapoznaje i dostaje dokument o ukończeniu kursu, po 24 godzinach.

– I nie ma żadnego wyjazdu, ćwiczeń w terenie? Bo ja mało czasu mam, wie pan...

– No, za coś takiego trzeba zapłacić dziesięć razy więcej. Ale pan się nie martwi, na dokumencie nie ma wzmianki o tym, że kurs jest korespondencyjny.

– I to jest tak zgodnie z prawem?

– No tak, wykorzystujemy lukę w przepisach. Kursant może zgodnie z prawem opuścić część zajęć – i pan to właśnie robi. A kurs jest nadal ważny.

Wykorzystanie możliwości technicznych dostępnego sprzętu komputerowego do budowy trenera

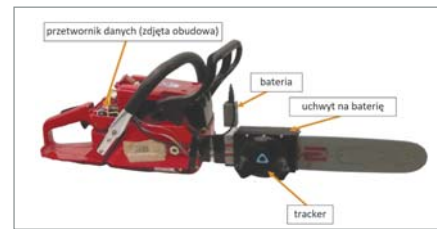
W Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym trwają prace projektowe i konstrukcyjne nad trenerem wspomagającym szkolenia operatorów przenośnych pilarek łańcuchowych. Aplikacja

⁵ Bezpieczna praca pilarką łańcuchową – szkolenie dla rolników oraz członków Ochotniczej Straży Pożarnej z gminy Czerniewice, PT KRUS w Tomaszowie Mazowieckim, Chociwie, 12.11.2019, <https://wydarzenia-prewencyjne.krus.gov.pl/wydarzenie/bezpieczna-praca-pilarka-lancuchowa-szkolenie-dla-rolnikow-oraz-czlonkow-ochotniczej-strazy-pozarnej-z-gminy-czerniewice/67249> [dostęp: 14.01.2022].

⁶ Szkolenie dla rolników i członków ich rodzin nt. „Zasad ochrony zdrowia i życia w gospodarstwach rolnych” w Lubiewie, PT KRUS w Świeciu, Lubiewo, 11.03.2019 <https://wydarzenia-prewencyjne.krus.gov.pl/wydarzenie/szkolenie-dla-rolnikow-i-czlonkow-ich-rodzin-nt-zasad-ochrony-zdrowia-i-zycia-w-gospodarstwach-rolnych-w-lubiewie/58380> [dostęp: 14.01.2022].



Fot. 1. Bezprzewodowe gogle VR (zasoby CIOP-PIB)
Photo 1. Wireless VR goggles (CIOP-PIB resources)



Fot. 2. Atrapa przenośnej pilarki łańcuchowej z charakterystycznymi elementami (zasoby CIOP-PIB)
Photo 2. Dummy portable chainsaw with characteristic components (CIOP-PIB resources)



Fot. 3. Interakcja rękawic haptycznych z atrapą pilarki łańcuchowej (zasoby CIOP-PIB)
Photo 3. Interaction of haptic gloves with a dummy chainsaw (CIOP-PIB resources)



Fot. 4. Wizualizacja pilarki łańcuchowej w środowisku wirtualnym (zasoby CIOP-PIB)
Photo 4. Visualization of a chainsaw in a virtual environment (CIOP-PIB resources)

trenażera opiera się na wykorzystaniu technologii rzeczywistości wirtualnej. Dzięki włączeniu ćwiczeń z wykorzystaniem trenera do szkoleń teoretycznych wykładowcy mogliby zademonstrować uczestnikom zasady bezpieczeństwa pracy pilarką oraz wyrobić w nich i utrwalić odpowiednie nawyki (a także na bieżąco poprawiać błędy bez narażania kogokolwiek na ciężkie urazy, powstające w realnym środowisku pracy). Zajęcia praktyczne pozwalają na poznanie specyfiki pracy pilarką oraz na doskonalenie umiejętności operatorów, dlatego nie powinny być ograniczane czasowo poprzez wprowadzanie zajęć z zastosowaniem trenera.

Aplikacja komputerowa trenera jest dostosowana do zestawu gogli VR z bezprzewodowym adapterem i słuchawkami generującymi dźwięk przestrzenny (fot. 1). Sterowanie wirtualną pilarką łańcuchową odbywa się dzięki zastosowaniu atrapy rzeczywistej maszyny (fot. 2).

Położenie i rotacja pilarki w przestrzeni są określone na podstawie danych z trackera umieszczonego na atrapie. Sama pilarka jest śledzona przez system tzw. latarni (lighthouses) rozstawionych w miejscu prowadzonej symulacji. Dzięki temu możliwe jest precyzyjne określenie położenia atrapy maszyny. Pozostałe dane o użytkowaniu pilarki, takie jak stan przycisku przyspiesznika i hamulca, mierzone są za pomocą czujników i przekazywane bezprzewodowo dzięki komunikacji z systemem VR. Dodatkowo zastosowanie rękawic haptycznych symuluje siłowe sprzężenie zwrotne i służy do sterowania interakcją w środowisku cyfrowym (np. do podnoszenia wirtualnych przedmiotów). Dzięki precyzyjnemu śledzeniu położenia i rotacji atrapy pilarki następuje odwzorowanie jej ruchu w środowisku wirtualnym. Sposób zastosowania rękawic przedstawiono na fot. 3 i 4.

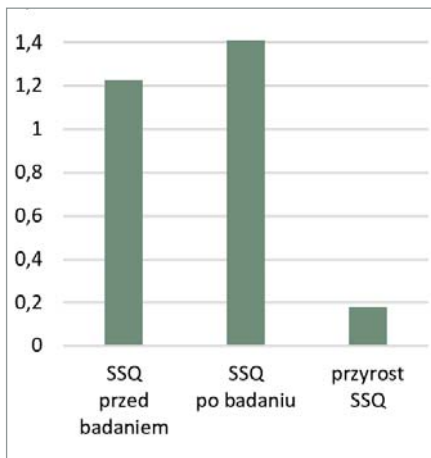
Przygotowano scenariusze opisujące reakcje trenera w zależności od poprawności wykonywanych czynności, przybliżające wydarzenia w aplikacji szkoleniowej i reakcje wirtualnego środowiska do rzeczywistości. Obsługa aplikacji szkoleniowej polega na poprawnym wykonywaniu zadań wyświetlanych na ekranie gogli. Operator ma do dyspozycji podpowiedzi w formie graficznej. Do następnego zadania można przejść pod warunkiem poprawnego wykonania zadania poprzedniego.

Scenariusz z reakcjami trenera zakłada wystąpienie sytuacji awaryjnych, które mogą się zdarzyć w momencie nieprawidłowego wykonania czynności. Przykładem takiej sytuacji jest spowodowanie odbicia pilarki (fot. 5). Jest to niebezpieczne zjawisko, do którego dochodzi w przypadku, gdy wierzchołek końcówki prowadnicy pilarki uderzy o twardy przedmiot, np. o fragment drzewa – wtedy następuje szybki i niekontrolowany ruch prowadnicy z poruszającym się po niej narzędziem tnącym w kierunku pilarza.



Fot. 5. Wystąpienie odbicia w aplikacji i wizualizacja awatara pilarki łańcuchowej poruszającej się w stronę operatora pilarki (zasoby CIOP-PIB)

Photo 5. The occurrence of a kickback in the application and visualisation of a chainsaw avatar moving towards the chainsaw operator (CIOP-PIB resources)



Rys. 1. Wyniki badania objawów choroby symulatorowej SSQ, zakres wartości: od 1 do 4

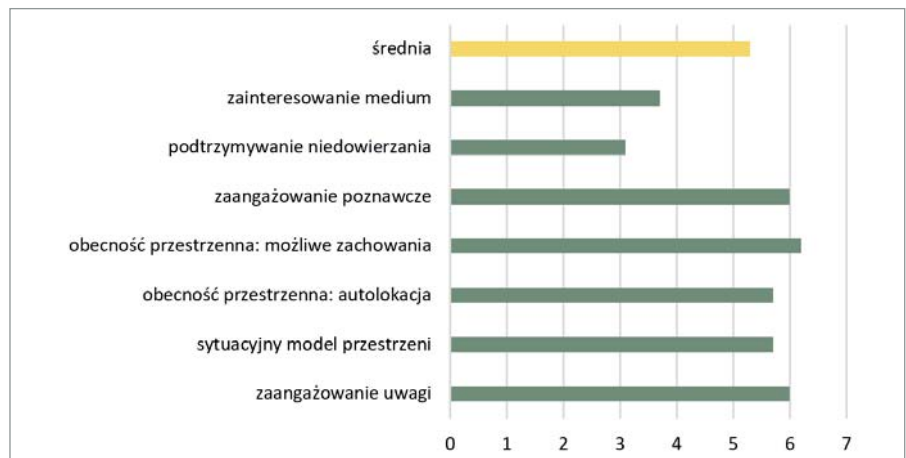
Fig. 1. SSQ simulator sickness test results, value range: 1 to 4

Badania interakcji człowiek – środowisko wirtualne podczas symulacji pracy spaliniową przenośną pilarką łańcuchową

W CIOP-PIB przeprowadzono testy wersji demonstracyjnej aplikacji w celu sprawdzenia interakcji człowieka ze środowiskiem wirtualnym. Wzięło w nich udział 26 osób. W badaniach zastosowano atrapę wirtualnej pilarki do sterowania wirtualną maszyną w symulowanym środowisku VR.

Do oceny użyteczności trenażera wykorzystano odpowiednie kwestionariusze.

Wyniki badania za pomocą kwestionariusza choroby symulatorowej (*Simulator Sickness Questionnaire – SSQ*) wykazały przyrost poziomu objawów tej choroby o wartość 0,18 (rys. 1). Wskaźnik SSQ [14] przed badaniem wynosił 1,23, natomiast po badaniu – 1,41 (maksymalna wartość to 4). Niewielki przyrost wskaźnika SSQ świadczy o minimalnym ryzyku wystąpienia choroby symulatorowej.



Rys. 2. Wyniki badania poziomu realizmu symulacji SPQ, zakres wartości: od 1 do 7

Fig. 2. SPQ spatial presence test results, value range: 1 to 7

Wyniki badania poziomu realizmu symulacji wirtualnej (SPQ) potwierdziły wysokie wrażenie obecności przestrzennej [15] (rys. 2). Pomiar poziomu akceptacji technologii (TAM) [16] wykazał natomiast, że stosowanie trenażera wzmacnia zwłaszcza intencję behawioralną (zamiar używania symulatora), postrzeganą użyteczność i łatwość korzystania z technologii. Użyteczność systemu VR była postrzegana na poziomie ok. 80%, co jest wysokim wskaźnikiem dla tego typu badań (rys. 3).

Poziom stresu towarzyszącego uczestnikom podczas używania trenażera był niewielki. Średnia wartość wskaźnika DSSQ (stresu i niepokoju) [17] wynosiła ok. 2,2 (w zakresie wartości od 1 do 7), co przedstawiono na rys. 4.

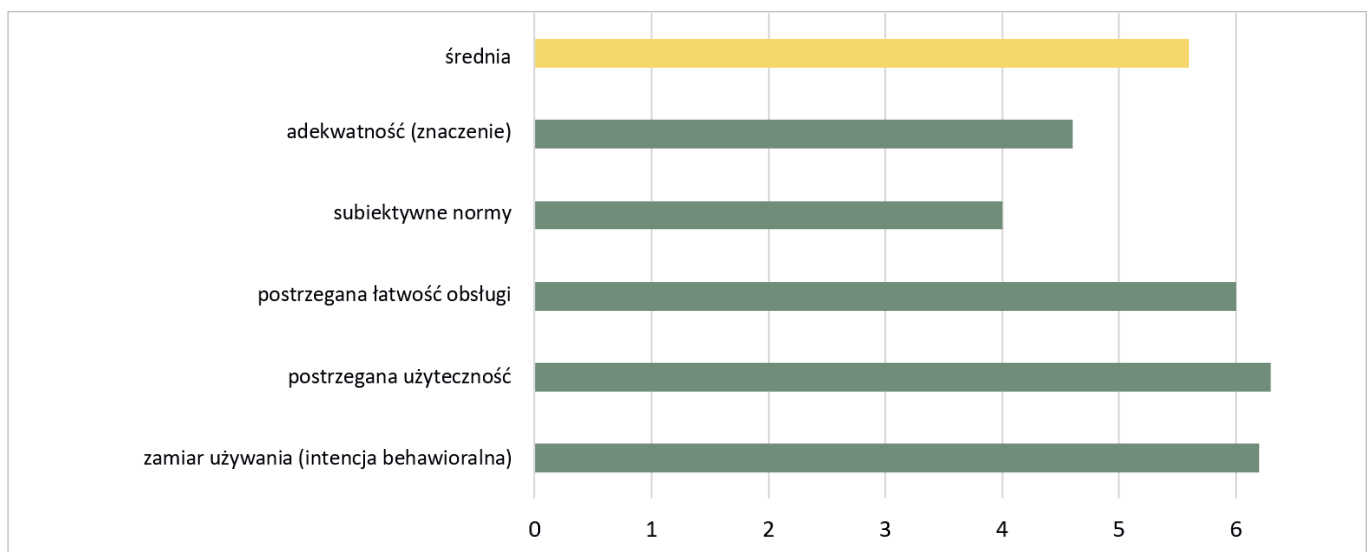
Wyniki przeprowadzonych badań wersji demonstracyjnej aplikacji potwierdziły użyteczność trenażera w procesie wspomaganego szkolenia operatorów pilarek łańcuchowych. Uczestnicy badania pozytywnie ocenili zastosowaną technikę komputerową (ocena obejmowała takie

aspekty, jak potencjalne uciążliwości związane z korzystaniem z techniki komputerowej, poziom jej akceptacji i poziom stresu towarzyszący używaniu trenażera) oraz możliwości odwzorowania przez nią rzeczywistego środowiska pracy.

Podsumowanie

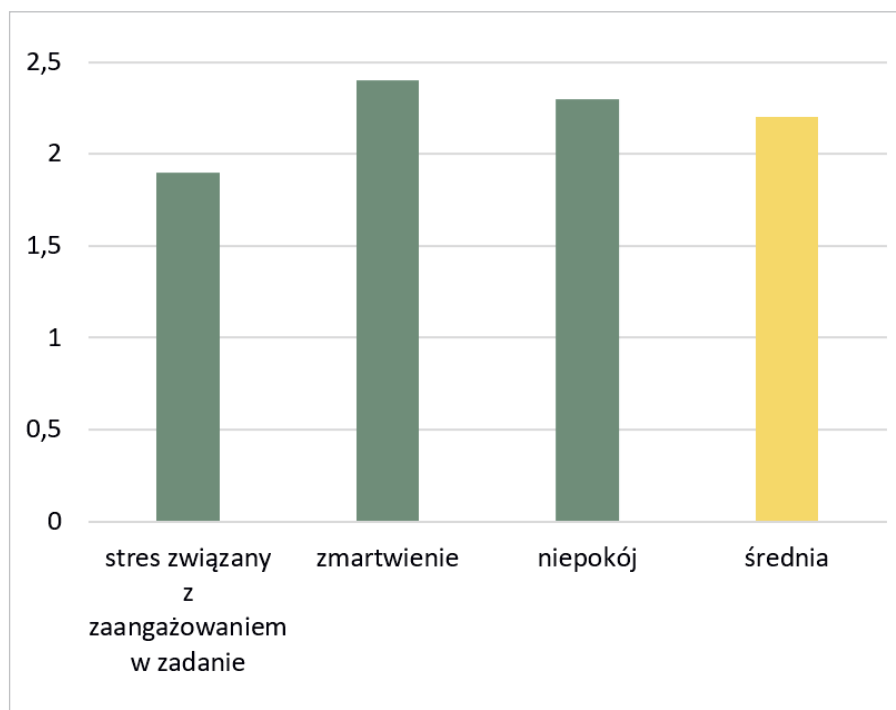
Budowane w CIOP-PIB stanowisko trenażera jest przeznaczone dla różnych grup operatorów przenośnych pilarek łańcuchowych, szkolących się w zakresie wybranych technik: ścinki i obalania drzew, przerzynki oraz okrzyszowania drewna.

Porównując opracowaną aplikację szkoleniową z dotychczasowymi rozwiązaniami w Europie i na świecie, można stwierdzić, że wnosi ona wiele nowych elementów w obszarze edukacyjnym. Wśród jej zalet można wymienić m.in.: zastosowanie urządzeń bezprzewodowych, wykorzystanie zjawiska siłowego sprzężenia zwrotnego (okrzyszowanie drewna, symulacja drgań pilarki, zastosowanie rękawic haptycznych), zastosowanie atrapy rzeczywistej pilarki



Rys. 3. Wyniki badania poziomu akceptacji technologii TAM, zakres wartości: od 1 do 7

Fig. 3. TAM technology acceptance test results, value range: 1 to 7



Rys. 4. Wyniki badania poziomu stresu i niepokoju DSSQ, zakres wartości: od 1 do 7

Fig. 4. DSSQ stress and anxiety test results, value range: 1 to 7

(zamiast kontrolerów VR), stosowanie sprzętu pomocniczego do pozyskiwania drewna (siekiery, klinów), zachowanie wrażenia obecności (immersji) w środowisku wirtualnym.

Na podstawie oceny wskaźników interakcji człowiek – środowisko wirtualne potwierdzono brak przeciwwskazań do korzystania z symulatora, a zwłaszcza małe ryzyko wystąpienia choroby symulatorowej, oraz wysoki poziom realizmu symulacji. Opracowane i zweryfikowane przez ekspertów scenariusze pracy pilarką, bazujące na realnym środowisku pracy i wykorzystujące odpowiednie rozwiązania techniczne, umożliwiają przeniesienie rzeczywistych technik pozyskiwania drewna do środowiska wirtualnego.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Ustawa z dnia 28 września 1991 r. o lasach (t.j. Dz.U. z 2022 r. poz. 672).
- [2] Rocznik statystyczny leśnictwa. Warszawa: GUS, 2021, s. 203, <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/roczniki-statystyczne/roczniki-statystyczne/rocznik-statystyczny-lesnictwa-2021,13,4.html> [dostęp: 30.12.2021].
- [3] DĄBROWSKI, A. Analysis and Laboratory Testing of Technical Injury Prevention Measures for Portable Combustion Chainsaws. *Forests*. 2020, 11(3): 276, doi: 10.3390/f11030276.
- [4] DĄBROWSKI, A. Aktualne wytyczne norm zharmonizowanych dotyczące technicznych środków ochrony przed urazami powodowanymi przez pilarkę łańcuchową. *Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka*. 2016, 3: 22-25.

[5] DĄBROWSKI, A. Reducing kickback of portable combustion chain saws and related injury risks: laboratory tests and deductions. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE)*. 2012, 18(3): 399-417, doi: 10.1080/10803548.2012.11076943.

[6] DĄBROWSKI, A. Kickback risk of portable chainsaws while cutting wood of different properties: laboratory tests and deductions. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE)*. 2015, 21(3): 512-523, doi: 10.1080/10803548.2015.1095547.

[7] SIDLO, J., SIDLOWA, H. Accidental fatal cranio-cerebral injury caused by broken chain of sawing tool. *Forensic Science International*. 2018, 289: 15-17, doi: 10.1016/j.forsciint.2018.05.045.

[8] BALL, J., BLAIR, D.F. (2010). Preventing chain saw injury. The power of training and personal protective equipment. *Arborist News*. 2010, 19(5): 12-17.

[9] Wypadki przy pracy i choroby zawodowe rolników oraz działania prewencyjne KRUS w 2020 roku. Warszawa: KRUS, 2021, https://www.krus.gov.pl/fileadmin/moje_dokumenty/dokumenty/prewencja/statystyki/2021/Komunikat_o_wypadkach_i_chorobach_w_2020_roku_003.pdf [dostęp: 28.12.2021].

[10] WODZYŃSKI, M. Aplikacja komputerowa do szkoleń operatorów przenośnych pilarek łańcuchowych oraz przegląd rozwiązań z wykorzystaniem rzeczywistości wirtualnej i mieszanej. Monografia. [W:] R. Trębiński (red.), *Aspekty komputerowego wspomagania projektowania, wytwarzania i eksploatacji*. Warszawa: Wojskowa Akademia Techniczna, 2021, s. 281-292.

[11] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2006 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy wykonywaniu niektórych prac z zakresu gospodarki leśnej (Dz.U. nr 161 poz. 1141).

[12] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 20 września 2001 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy podczas eksploatacji maszyn i innych urządzeń technicznych do robót ziemnych, budowlanych i drogowych (t.j. Dz.U. z 2018 r., poz. 583 z późn. zm.).

[13] PROCNER, M. Drwal z patentem na niby. *Gazeta Leśna*. 2016, 9.

[14] KENNEDY, R.S., et al. Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness. *The International Journal of Aviation Psychology*. 1993, 3(3): 203-220, doi: 10.1207/s15327108ijap0303_3.

[15] VORDERER, P., et al. MEC Spatial Presence Questionnaire (MEC-SPQ). Short Documentation and Instructions for Application. IST-2001-37661. Hannover, Zurich, Porto, Helsinki, June 2004, https://www.researchgate.net/profile/FelizGouveia/publication/318531435_MEC_spatial_presence_questionnaire_MECSPQ_Short_documentation_and_instructions_for_application/links/598041b5458515687b4fa65d/MEC-spatial-presence-questionnaire-MEC-SPQ-Short-documentation-and-instructions-for-application.pdf [dostęp: 29.12.2021].

[16] ABU-DALBOUH, H.M. A questionnaire approach based on the technology acceptance model for mobile tracking on patient progress applications. *Journal of Computer Science*. 2013, 9 (6): 763-770, doi: 10.3844/jcssp.2013.763.770.

[17] MATTHEWS, G., et al. Profiling task stress with the dundee stress state questionnaire. [In:] L. Cavalcanti, S. Azevedo [eds], *Psychology of Stress*. Nova Science Publishers, Inc., 2013, pp. 49-91, https://www.researchgate.net/profile/Gerald-Matthews/publication/256650794_Profiling_Task_Stress_with_the_Dundee_Stress_State_Questionnaire/links/02e7e5256d15bb99c9000000/Profiling-Task-Stress-withthe-Dundee-Stress-State-Questionnaire.pdf [dostęp: 14.01.2022].

Opracowano i wydano na podstawie wyników V etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w zakresie zadań służb państwowych ze środków Ministerstwa Rodziny i Polityki Społecznej (zadanie nr 4.SP.08 pt. „Zastosowanie technologii rzeczywistości wirtualnej do szkolenia operatorów przenośnych pilarek łańcuchowych”). Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.