

dr hab. inż. ANDRZEJ GRABOWSKI, prof. Instytutu (ORCID: 0000-0002-0924-2140)

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Kontakt: [angra@ciop.pl](mailto:angra@ciop.pl)

DOI: 10.5604/01.3001.0014.4999

# Symulacja współpracy z robotem w wirtualnym środowisku pracy.

## Wyniki badań ankietowych – praktyka (2)

Fot. World Image/Bigstockphoto



W artykule przedstawiono wyniki badań dotyczących zastosowania rzeczywistości wirtualnej do analizy wpływu przemysłowego robota współpracującego na pracownika. Omówiono wyniki analizy statystycznej pomiarów z przeprowadzonych badań. Omówiono wpływ obecności robota na wskaźniki obiektywne takie jak czas i precyzja realizowanych zadań montażu silników oraz wskaźniki subiektywne takie jak lęk, niepokój i obecność przestrzenna opisująca realizm symulacji w środowisku wirtualnej rzeczywistości.

*Słowa kluczowe: roboty współpracujące, rzeczywistość wirtualna, wyniki badań*

### Cooperation with robots in the virtual occupational environment. Survey research – practice (2)

The article presents the results of research on the use of virtual reality to analyze the impact of an industrial collaborative robot on an employee. The results of the statistical analysis of measurements from the conducted research are discussed. The impact of the presence of an industrial robot on objective indicators such as time and precision of the performed tasks of assembling motors as well as subjective indicators such as anxiety and spatial presence describing the realism of simulation in virtual reality was discussed.

*Keywords: robots, virtual reality, research results*

### Wstęp

W pierwszej części artykułu, opublikowanej w numerze 10/2020 „Bezpieczeństwa Pracy”, omówione zostało stworzone wirtualne środowisko pracy, a także teoretyczne założenia badań, których celem było zbadanie, jak układać się będzie współpraca człowieka z robotem w przemysłowym środowisku pracy [1].

Cel tych badań motywowany był postępującą na świecie robotyzacją [2], zwłaszcza rosnącym trendem pojawiania się robotów współpracujących z człowiekiem, a także faktem, że – zgodnie z niedawnymi wynikami badań naukowych – pracownicy nie są wciąż pozbawieni obaw w kontekście kooperacji z maszynami [3].

Celem artykułu jest prezentacja wyników nie tylko jakościowej, ale również ilościowej oceny wpływu obecności robota współpracującego na pracownika. Wpływ ten może dotyczyć samopoczucia pracownika, poziomu lęku oraz wydajności i poprawności realizowanej pracy. Te ostatnie w przeprowadzonym eksperymencie mierzone są poprzez czas montażu oraz jego dokładność. Wpływ obecności robota na samopoczucie pracownika, w tym subiektywnie postrzegany poziom lęku, był mierzony za pomocą odpowiednio dobranych narzędzi kwestionariuszowych.

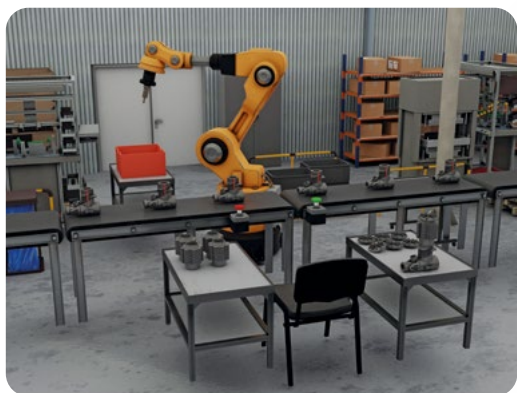
Do badań zostało wykorzystane przygotowane w tym celu wirtualne środowisko pracy, wzorowane na linii montażowej. Zadaniem uczestnika symulacji był montaż elementów silników spalinowych: cylindra i pokrywy cylindra. Zadanie było realizowane w dwóch trybach: samodzielnie lub we współpracy z robotem przemysłowym (rys. 1.), w taki sposób, że w obu przypadkach zadania wykonywane przez człowieka były takie same. Jest to niezbędne, aby umożliwić ocenę wpływu bezpośredniej obecności robota na czas wykonywanych zadań.

### Przebieg i wyniki badań

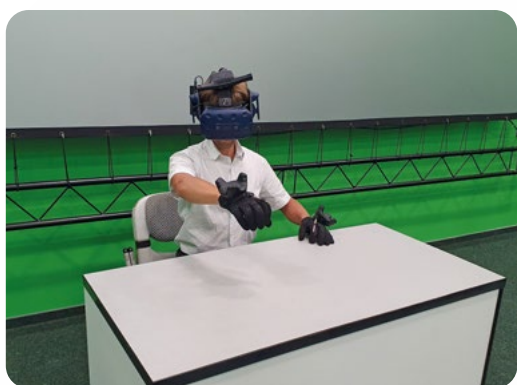
Podczas badań nie odnotowano poważniejszych problemów ze sprzętem ani oprogramowaniem. W badaniach wzięło udział 40 osób, wszystkie uzyskane przez nie wyniki uznane zostały za poprawne i były brane pod uwagę podczas dalszej analizy (fot.).

### Analiza danych statystycznych

W celu określenia wpływu obecności robota na liczbę złożonych elementów oraz dokładność złożenia silników należy porównać ze sobą dwa zbiory danych: pierwszy, zawierający informacje o silnikach złożonych



Rys. 1. Widok ogólny wirtualnego środowiska pracy  
Fig. 1. The work environment in virtual reality



Fot. Praca z robotem  
Photo. Cooperation with robot

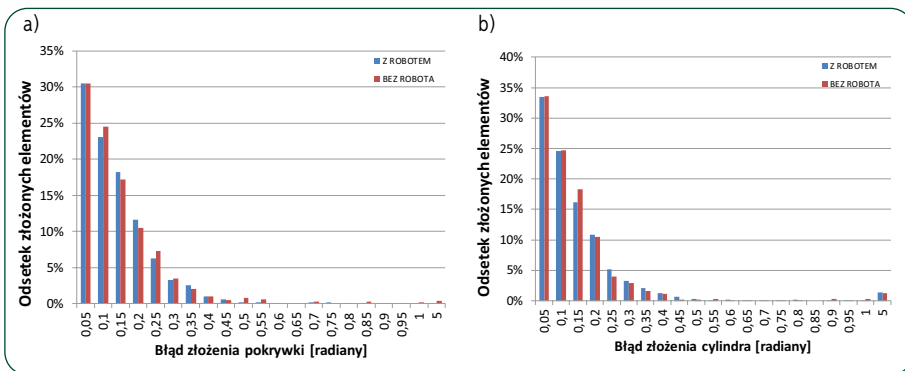
w obecności robota oraz drugi, z informacjami o silnikach złożonych bez robota.

W przypadku symulacji z robotem zostało złożonych 1825 kompletnych silników oraz 70 niekompletnych (czyli takich, w których brakowało co najmniej jednego elementu). Odsetek niekompletnych silników wyniósł 3,7%. Podczas symulacji bez robota zostało złożonych 1747 kompletnych silników oraz 54 niekompletne; odsetek niekompletnych wyniósł 3%. Wynika z tego, że w przypadku symulacji z robotem zostało złożonych więcej silników, ale zarazem większy był odsetek silników niekompletnych.

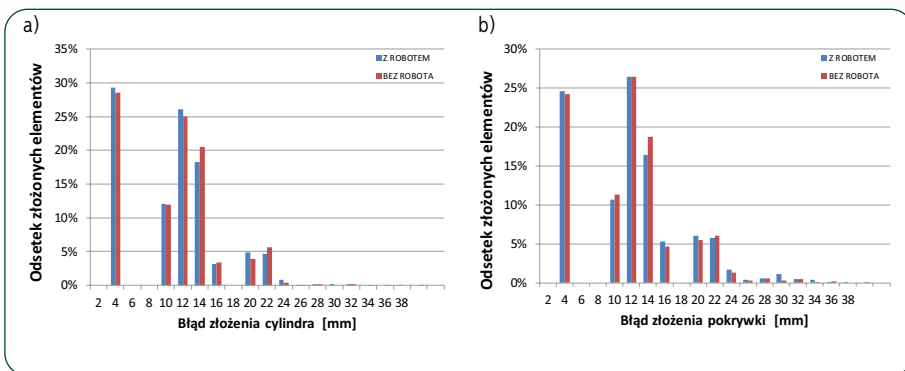
W odniesieniu do każdego złożonego kompletnego silnika wyznaczono wartość błędu ustawienia pokrywki i cylindra w korpusie silnika  $\Delta\varphi$  (wyrażonego w radianach przesunięcia kątownego wskaźników na cylindrze lub pokrywie względem wskaźnika na korpusie silnika) oraz  $\Delta r$  (wyrażonego w metrach przesunięcia osi cylindra lub pokrywki względem osi otworu w korpusie). Rozkład wartości  $\Delta\varphi$  i  $\Delta r$  przedstawiono na rys. 2. oraz 3.

W obu przypadkach (z robotem oraz bez niego) uzyskiwana dokładność montażu elementów jest bardzo podobna, a obserwowane różnice nie są istotne statystycznie. Zdecydowana większość elementów została złożona ze stosunkowo niewielkim błędem, a w przy-

Rys. 1-7. Źródło/Source: archiwum CIOP-PIB



Rys. 2. Wyrażone w radianach błędy umieszczenia w korpusie silnika: a) cylindra  $\Delta\varphi_c$ , b) pokrywki,  $\Delta\varphi_p$   
Fig. 2. Errors in the location of elements in the engine body expressed in radians: a) cylinder  $\Delta\varphi_c$ , b) cover,  $\Delta\varphi_p$



Rys. 3. Wyrażone w metrach błędy umieszczenia w korpusie silnika: a) cylindra  $\Delta r_c$ , b) pokrywki  $\Delta r_p$   
Fig. 3. The errors in the positioning of elements in the engine body expressed in meters: a) cylinder  $\Delta r_c$ , b) covers  $\Delta r_p$

Tabela 1. Wartość średnia oraz mediana błędu złożenia cylindra oraz pokrywki  
Table 1. Average value and median of assembly error of cylinder and cover

	$\Delta\varphi_c$ – błąd złożenia cylindra [radiany]		$\Delta\varphi_p$ – błąd złożenia pokrywki [radiany]		$\Delta r_c$ – błąd złożenia cylindra [m]		$\Delta r_p$ – błąd złożenia pokrywki [m]	
	średnia	mediana	średnia	mediana	średnia	mediana	średnia	mediana
Z robotem	$0,13 \pm 0,01$	0,08	$0,13 \pm 0,01$	0,09	$0,0093 \pm 0,0003$	0,0100	$0,0106 \pm 0,0003$	0,0100
Bez robota	$0,13 \pm 0,01$	0,09	$0,13 \pm 0,01$	0,09	$0,0094 \pm 0,0003$	0,0100	$0,0103 \pm 0,0003$	0,0100

padku błędu złożenia elementu wyrażonego w radianach odsetek złożonych elementów spada wykładniczo wraz ze wzrostem  $\Delta\varphi$  (rys. 3.). Wartości średnie oraz medianę przedstawiono w tab. 1. W przypadku  $\Delta\varphi$  mediana jest znacznie mniejsza od wartości średniej. Jest to związane z postacią rozkładu błędu złożenia elementów silnika (rys. 3.). Występowanie nawet niewielkiej liczby elementów o dużej wartości błędu złożenia zauważalnie zwiększa wartość średniej.

Pomimo tego, że obecność robota nie wpływa na wartość  $\Delta\varphi$  oraz  $\Delta r$ , czyli na dokładność montażu kompletnych silników, zaobserwowano istotną statystycznie różnicę w wartości średniej czasu, który był potrzebny na złożenie kompletnego silnika. W przypadku pracy bez udziału robota złożenie kompletnego silnika zajmowało średnio  $44,8 \pm 1,3$  sekundy (mediana: 37,5 s). Natomiast w przypadku symulacji z robotem złożenie kompletnego

silnika zajmowało średnio  $42,8 \pm 1,3$  sekundy (mediana: 35 s). Osoby współpracujące z robotem potrzebowały średnio ok. 2 s mniej na złożenie kompletnego silnika, a ich wydajność pracy była większa o około 5% przy zachowaniu tej samej dokładności montażu silników. Należy tutaj przypomnieć, że symulacja została przygotowana w taki sposób, aby obecność robota nie mogła bezpośrednio wpłynąć na czas złożenia silnika (w obu przypadkach zadania wykonywane przez osoby biorące udział w symulacji były takie same). Rozkład czasu potrzebnego na złożenie silnika pokazano na rys. 4.

Można zauważyć, że krótkie czasy montażu występują znacznie częściej w przypadku symulacji z robotem, natomiast długie czasy składania silnika są obserwowane częściej w przypadku cykli pracy bez robota. Wynika z tego wniosek, że obecność robota wpływała pozytywnie na wydajność pracy.

Tabela 2. Statystyki opisowe dla poszczególnych podskal testu SPQ

Table 2. Descriptive statistics of the SPQ questionnaire subscales

	N	Minimum	Maksimum	Średnia	Odchylenie standardowe
Obecność – autolokacja	40	6,00	31,00	21,88	6,04
Obecność – możliwe akcje	40	11,00	31,00	22,63	5,18
Obecność – zaangażowanie uwagi	40	15,00	32,00	25,73	3,60
Obecność – podtrzymanie niedowierzania	40	5,00	23,00	15,18	3,64

Tabela 3. Wyniki na skali STAI wyrażone w stenach

Table 3. The results on the STAI scale expressed in sten

	Min	Max	M	SD
STAI lęk stan przed współpracą z robotem (niezależnie od dnia pomiaru)	2	6	3,65	1,35
STAI lęk stan po współpracy z robotem (niezależnie od dnia pomiaru)	1	8	3,98	1,72

Tabela 4. Statystyki opisowe uzyskane w kolejnych pomiarach przy zastosowaniu NARS

Table 4. Descriptive statistics obtained in subsequent measurements using NARS

	Pomiar przed 1. treningiem (N=20)				Pomiar po 1. treningu (N=20)				Pomiar po ostatnim treningu (N=40)			
	Min	Max	M	SD	Min	Max	M	SD	Min	Max	M	SD
S1 Negatywna postawa wobec interakcji z robotami	2	13	<b>7,80</b>	3,07	2	13	<b>7,05</b>	2,89	2	16	<b>8,23</b>	3,29
S2 Negatywna postawa wobec wpływu społecznego robotów	6	18	<b>9,90</b>	2,99	4	17	<b>8,70</b>	3,54	3	18	<b>10,00</b>	3,64
S3 Negatywna postawa wobec emocji w interakcjach z robotami	8	16	<b>12,00</b>	2,25	6	18	<b>11,45</b>	2,84	7	18	<b>12,23</b>	2,74

Tabela 5. Rzetelność pomiaru NARS – wartości współczynnika alfa Cronbacha

Table 5. Reliability of NARS measurement – values of Cronbach's alpha coefficient

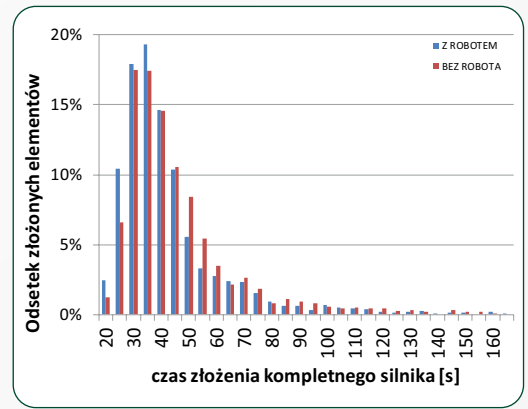
	Długość skali	Czas pomiaru		
		przed 1. treningiem	po 1. tr.	po ostatnim tr.
S1 Negatywna postawa wobec interakcji z robotami	6	0,49	0,47	0,64
S2 Negatywna postawa wobec wpływu społecznego robotów	5	0,53	0,60	0,66
S3 Negatywna postawa wobec emocji w interakcjach z robotami	3	0,65	0,76	0,79

Ochotnicy biorący udział w badaniach wykonywali 4 cykle pracy w wirtualnym środowisku: 2 pierwszego dnia (zaraz po treningu) oraz kolejne 2 następnego. Wyznaczenie średniego błędu złożenia elementu oraz średniego czasu potrzebnego na złożenie silnika w zależności od numeru cyklu pracy umożliwia określenie wpływu czasu spędzonego w wirtualnym środowisku (czyli doświadczenia) na umiejętności osób badanych. Widoczny jest wyraźny trend spadkowy w przypadku czasu potrzebnego na złożenie silnika – w każdym kolejnym cyklu pracy osoby badane pracowały wydajniej (rys. 5.). Największy spadek widoczny jest pomiędzy 1. i 2. cyklem pracy. Warto zauważyć, że osoby, które w 1. cyklu pracy współpracowały z robotem, pracowały wydajniej niż osoby, które składały silniki bez jego udziału.

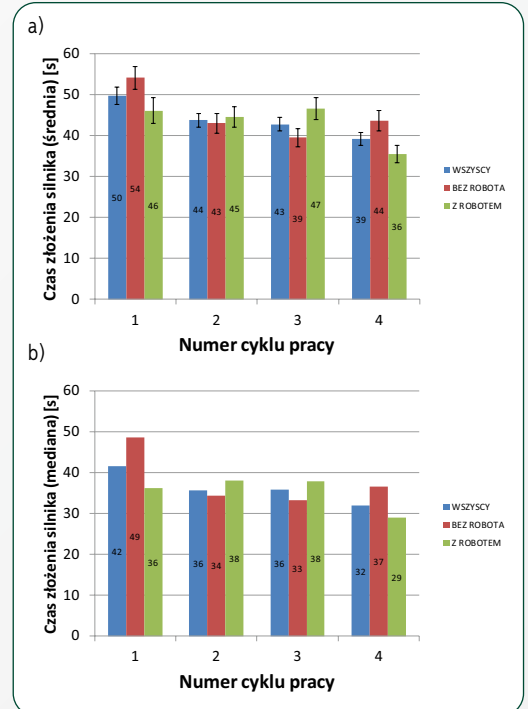
W przypadku dokładności montażu elementów silnika trend spadkowy nie jest tak wyraźny, jednakże można zaobserwować, że drugiego dnia (3. i 4. cykl pracy) elementy silnika były montowane z większą dokładnością (rys. 6. i rys. 7.). Osoby, które przechodziły

trening w obecności robota, składały elementy silnika w 1. cyklu pracy z większą dokładnością.

Uzyskane wyniki wskazują, że trening przeprowadzony wśród uczestników pracujących w obecności robota był bardziej efektywny. Osoby te składały silniki szybciej i z większą dokładnością (jest to szczególnie widoczne w przypadku dokładności montażu cylindra – rys. 6.). Fakt, że drugiego dnia osoby badane uzyskiwały lepsze rezultaty (zarówno pod względem wydajności, jak i dokładności), mógł być spowodowany koniecznością adaptacji do nowego środowiska. Na podstawie otrzymanych wyników można przypuszczać, że zastosowany trening był za krótki. Należy jednak podkreślić, że z punktu widzenia celu badań nie ma to znaczenia, gdyż wszystkie osoby (zarówno te współpracujące z robotem, jak i pracujące bez niego) spędziły w wirtualnym środowisku tyle samo czasu. Ponadto, jak wynika z rys. 5., trening, po którym umiejętności osób badanych nie poprawiałyby się w miarę upływu czasu, powinien być dłuższy



Rys. 4. Rozkład czasu złożenia kompletnego silnika  
Fig. 4. Distribution of the assembly time of a complete engine



Rys. 5. Wartość średnia (a) oraz mediana (b) czasu złożenia silnika w zależności od numeru cyklu pracy  
Fig. 5. Average value (a) and median (b) of the engine assembly time depending on the work cycle number

niż cały cykl badań (czyli dłuższy niż 4 cykle pracy przeprowadzone w ciągu dwóch dni).

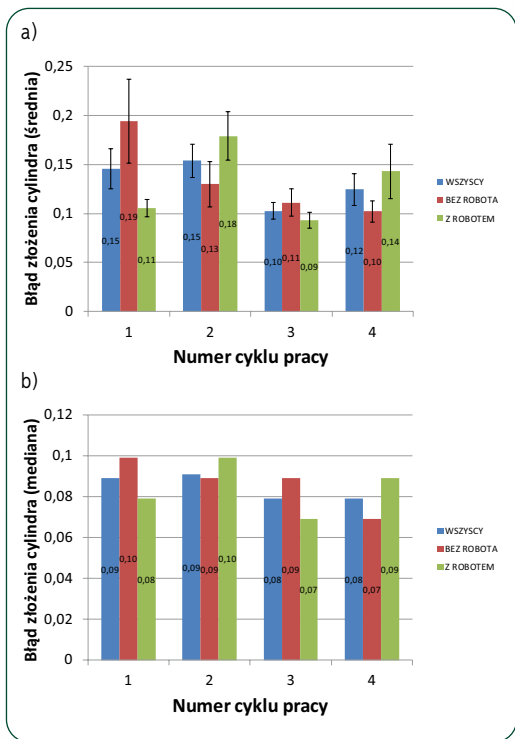
### Wyniki badań ankietowych

#### Kwestionariusz obecności przestrzennej (SPQ) [4]

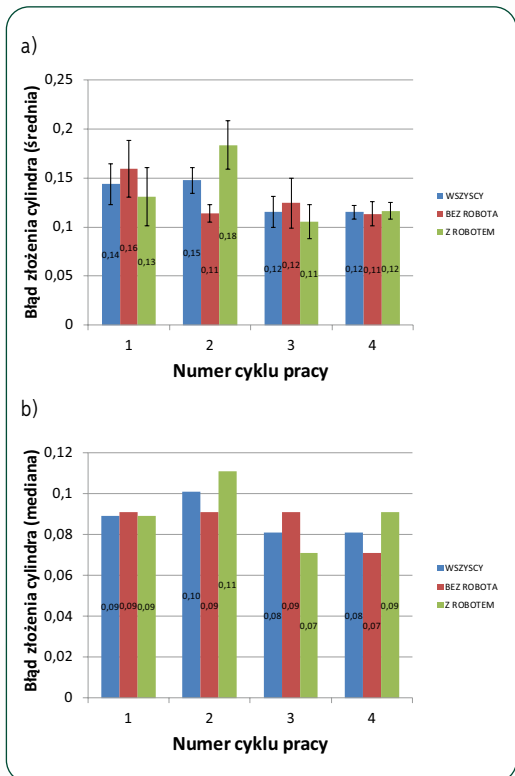
Wyniki badań potwierdziły dobre właściwości psychometryczne kwestionariusza. Osoby badane osiągnęły średni lub nieco ponad przeciętny poziom obecności w środowisku. Głębsza interpretacja nie jest obecnie możliwa z powodu braku polskich norm dla kwestionariusza obecności przestrzennej.

Poziom obecności przestrzennej nie był związany z poprawnością wykonania zadania ani z innymi zmiennymi sytuacyjnymi.





Rys. 6. Wartość średnia (a) oraz mediana (b) błędu złożenia cylindra  $\Delta\phi$ , wyrażonego w radianach w zależności od numeru cyklu pracy  
Fig. 6. Average value (a) and median (b) of the cylinder assembly error  $\Delta\phi$ , expressed in radians depending on the number of the work cycle



Rys. 7. Wartość średnia (a) oraz mediana (b) błędu złożenia pokrywki  $\Delta\phi$ , wyrażonego w radianach w zależności od numeru cyklu pracy  
Fig. 7. Average value (a) and median (b) of the cover assembly error  $\Delta\phi$ , expressed in radians depending on the work cycle number

Reportowane przez osoby badane zakłócenia w procedurze badania nie miały istotnego wpływu na ogólny poziom obecności. Oznacza to, że środowisko wirtualne spełniło swoją rolę, badani dobrze się do niego zaadaptowali i poruszali się w jego warunkach dość sprawnie – nauczyli się reguł interakcji z przedmiotami w środowisku i korzystali z nich.

STAI – skala lęku jako cechy i stanu [5]

Statystyki opisowe przedstawione w dalszej części artykułu podsumowują pomiary uzyskane bezpośrednio przed współpracą i po współpracy z robotem (niezależnie od dnia pomiaru). Wyniki wyrażone są na skali stenowej (skala znormalizowana o średniej = 5,5 i SD = 2).

Uzyskane w badaniu oszacowania poziomu lęku (traktowanego jako stan) pozwalają stwierdzić, że w badanej próbie występowało stosunkowo niskie nasilenie tej emocji. Niewielka wariancja dla wskaźników lęku wskazuje też na dużą homogeniczność grupy pod tym względem.

Dalsze analizy wykazały brak różnic w poziomie lęku obserwowanym przed kontaktem ze środowiskiem wirtualnym i po nim. Wydaje się, że sytuacja eksperymentalna nie była dla badanej próby – studentów politechniki – źródłem istotnego stresu.

Analizy korelacyjne nie wykazały istotnych związków pomiędzy miarami lęku (traktowanego jako stan) a wskaźnikami jakości wykonania zadania roboczego. Poziom odczuwanego lęku nie dezorganizował działania. Nie był też zależny od obecności robota.

Nastroj

Każdy z badanych dwukrotnie w czasie eksperymentu oceniał nasilenie emocji pozytywnych (określał się jako spokojny, lekki, optymistyczny, zadowolony, pełen wigoru, entuzjastyczny) i negatywnych (przygnębiony, znudzony, rozczarowany, bezsilny, napięty, podminowany).

Nie zaobserwowano istotnych zmian nastroju po kontakcie ze środowiskiem wirtualnym. Nastroj nie uległ obniżeniu ani podwyższeniu w wyniku kontaktu z robotem. Nie zaobserwowano istotnych statystycznie korelacji pomiędzy nastrojem a przystosowaniem do środowiska wirtualnego mierzonym za pomocą kwestionariusza obecności przestrzennej.

NARS – skala negatywnych postaw wobec robotów [6]

Poniżej przedstawiono statystyki opisowe dla poszczególnych podskal NARS.

Przeprowadzone analizy nie ujawniły istotnych różnic w deklarowanych postawach wobec robotów w pomiarze przeprowadzonym bezpośrednio po zakończeniu pracy z włączonym oraz wyłączonym robotem.

Uzyskane w badaniu współczynniki rzetelności pozwalają natomiast stwierdzić, że skala NARS umożliwiła uzyskanie wiarygodnych oszacowań, w sytuacji stosowania jej wobec osób, które miały już dłuższy kontakt z robotami. Wyniki uzyskane w NARS przed treningiem charakteryzują stosunkowo niskie współczynniki rzetelności (tab. 5.); uzyskane po treningu są nieco wyższe, aby uzyskać maksymalne (i stosunkowo zadowalające z psychometrycznego punktu widzenia) wartości w pomiarze przeprowadzonym po ostatniej sesji w środowisku VR.

Na podstawie wyników uzyskanych w skali NARS nie udało się wykazać istnienia związków pomiędzy mierzonymi postawami a jakością wykonania zadania roboczego.

Postawa i zachowanie wobec robotów

Analizy wykazały istnienie istotnych zależności między poziomem cech osobowości, wynikami w skali NARS oraz poziomem obecności a postawą i deklaracją zachowania wobec robotów. Chęć współpracy z robotami jest wyższa u osób, które osiągnęły większy stopień obecności w środowisku mierzony podskalami „możliwe akcje” i „zaangażowanie uwagi”.

Wnioski

Zdecydowana większość – 75% – respondentów deklarowała posiadanie doświadczeń w kontaktach z technologią rzeczywistości wirtualnej (VR). Respondenci ocenili ogólny poziom realności środowiska powyżej średniej. Według nich przebywanie w środowisku VR nie miało wpływu na ich samopoczucie. Respondenci ocenili grafikę oraz interakcję z otoczeniem środowiska VR jako przeciętnie realne, natomiast wysoko ocenili realność dźwięku w środowisku VR. Wykonywane zadanie robocze respondenci ocenili jako raczej realne, a wpływ sprzętu VR jako nieprzeszkadzający w koncentracji na zadaniu. Wpływ robota na poczucie bezpieczeństwa oceniony został jako pozytywny.

Na podstawie analizy statystycznej danych rejestrowanych podczas badań można powiedzieć, że:

- Uzyskiwana przez badanych dokładność montażu (umieszczania) elementów w korpusie silnika przy współpracy z robotem i bez jego obecności była bardzo podobna, obserwowane różnice nie są istotne statystycznie.
- W przypadku symulacji z robotem zostało złożonych więcej silników. W porównaniu z osobami pracującymi bez obecności robota, osoby współpracujące z robotem potrzebowały mniej czasu na złożenie kompletnego silnika, a ich wydajność pracy była większa przy zachowaniu tej samej dokładności montażu silników.

Jednocześnie w przypadku symulacji z robotem większy był odsetek silników niekompletnych.

- Krótkie czasy montażu występują znacznie częściej w przypadku symulacji z robotem, natomiast długie czasy składania silnika są obserwowane częściej w przypadku cykli pracy bez robota. Oznacza to, że obecność robota wpływała pozytywnie na wydajność pracy. Mogło to być spowodowane tym, że osoby badane starały się rywalizować z robotem, natomiast osoby pracujące samodzielnie odczuwały mniejszą presję i pracowały wolniej.

- W każdym kolejnym cyklu pracy osoby badane pracowały wydajniej – widoczny jest wyraźny trend spadkowy w przypadku czasu potrzebnego na złożenie silnika. Warto zauważyć, że osoby, które w pierwszym cyklu pracy współpracowały z robotem, pracowały bardziej wydajnie niż osoby, które składały silniki bez obecności robota.

- Osoby, które przechodziły trening w obecności robota, składały elementy silnika w pierwszym cyklu pracy z większą dokładnością. Uzyskane wyniki wskazują, że trening przeprowadzony w obecności robota był bardziej efektywny. Osoby te składały silniki szybciej i z większą dokładnością.

- Na podstawie uzyskanych wyników można wyciągnąć wniosek, iż trening był zbyt krótki. Trwał on ok. 10 minut, jednak większą część z tego czasu osoba badana spędzała na nauce poruszania się w środowisku VR i ogólnej interakcji z nim. Wskazane byłoby wydłużenie fazy treningu polegającej na wykonywaniu zadania roboczego.

Na podstawie badania ankietowego można sformułować następujące wnioski:

- Osoby badane osiągnęły średni lub nieco ponadprzeciętny poziom obecności w środowisku VR. Poziom poczucia obecności przestrzennej nie był związany z parametrami wykonywanego zadania, nie miały na niego wpływu również zakłócenia w procedurze badań. Oznacza to dobry stopień zaadaptowania badanych do środowiska wirtualnego.

- W badanej próbie występowało stosunkowo niskie nasilenie lęku. Stwierdzono brak istotnych różnic w poziomie lęku obserwowanym przed kontaktem ze środowiskiem wirtualnym i po nim. Sytuacja eksperymentalna nie była dla badanej próby źródłem istotnego stresu. Analizy korelacyjne nie wykazały istotnych związków pomiędzy miarami lęku (traktowanego jako stan) a wskaźnikami jakości wykonania zadania roboczego. Poziom odczuwanego lęku nie był też zależny od obecności robota. Nie dezorganizował też działania.

- Nie zaobserwowano istotnych zmian nastroju po kontakcie ze środowiskiem wirtualnym. Nastroj nie uległ obniżeniu ani podwyższeniu w wyniku kontaktu z robotem.

- Nie udało się wykazać istnienia związków pomiędzy mierzonymi negatywnymi postawami wobec robotów a jakością wykonania zadania.

- Chęć współpracy z robotami jest wyższa u osób, które osiągnęły większy stopień obecności w środowisku.

## Podsumowanie

Podczas pracy z aktywnym robotem wydajność pracowników była większa (o ok. 5%) w porównaniu z pracą bez jego obecności. Jednocześnie, gdy pracownik nie współpracował z robotem, częściej występowały długie czasy montażu pojedynczego elementu. Sytuacja taka może być związana z motywującym wpływem robota przemysłowego na współpracujących z nim pracowników. Równocześnie obecność robota nie miała istotnego wpływu na zmianę dokładności montażu, natomiast negatywnie wpływała na liczbę niekompletnie zmontowanych elementów. Może to oznaczać, że osoby badane podczas pracy w obecności robota, dążąc do podniesienia wydajności, częściej myliły kolejność montażu lub wcisnęły przycisk kończący cykl pracy przed całkowitym zmontowaniem silników.

Nie odnotowano istotnego wpływu obecności robota na poczucie obecności przestrzennej osoby badanej, poziom odczuwanego przez nią lęku, jej nastroj ani poziom negatywnych postaw wobec robotów. Nie zaobserwowano również korelacji tych czynników z wskaźnikami jakości wykonania zadania roboczego. Również w subiektywnej ocenie osób badanych nie było negatywnych ocen wpływu robota przemysłowego na poczucie bezpieczeństwa.

Sytuacja taka wynikać może z faktu, że większy wpływ na zachowanie osób badanych miała sama świadomość obecności robota przemysłowego niż wykonywane przez niego ruchy. Robot poruszał się co prawda w bliskim sąsiedztwie pracownika, jednak jego postrzeganie mogło być utrudnione przez stosunkowo nieduży kąt widzenia zastosowanego infohelmu (40°). Na aspekt ten zresztą zwróciły uwagę 2 spośród osób badanych. Równocześnie jednak 5 osób zwróciło uwagę na to, że infohelm był mało wygodny i utrudniał skoncentrowanie się na zadaniu. Część z tych uwag dotyczyła problemów z jego ustawieniem, część jednak wiązała się z jego wymiarami i masą. Infohelmy o szerszym kącie widzenia charakteryzują się większymi gabarytami i masą. Podczas prowadzenia badań w środowisku VR niezmiernie istotne jest zatem znalezienie złotego środka pomiędzy parametrami infohelmu a jego gabarytami.

W każdym kolejnym cyklu pracy osoby badane pracowały wydajniej. Na wzrost wydajności miał wpływ trening prowadzony

w obecności robota. Procedura treningu w dużym stopniu wpływa na uzyskiwane podczas badań wyniki. Podczas projektowania badań wykorzystujących techniki VR należy położyć szczególny nacisk na ten aspekt.

Wyniki badań ankietowych pokazały dobry stopień zaadaptowania badanych do środowiska wirtualnego. Poziom lęku nie zmienił się w wyniku przebywania w środowisku VR, nie dezorganizował też działania. Kontakt ze środowiskiem nie miał również istotnego wpływu na nastrój osób badanych.

Należy jednak zwrócić uwagę, iż osoby badane rekrutowane były spośród studentów politechniki, wykazujących spory poziom kompetencji technicznych. W przypadku prowadzenia badań z udziałem innych grup można się spodziewać gorszych wyników. Konieczne jest staranne zaprojektowanie procedury badawczej ze szczególnym naciskiem położonym na odpowiedni dobór procedury treningu.

Biorąc pod uwagę uzyskane wyniki, jak również pozytywną ocenę środowiska VR wystawioną przez osoby badane, można stwierdzić, że techniki rzeczywistości wirtualnej są przydatne do prowadzenia prac badawczych z zakresu bezpieczeństwa i ergonomii pracy, stanowiących ważny element projektowania stanowisk pracy.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] GRABOWSKI, A. Symulacja współpracy z robotem w wirtualnym środowisku pracy. Wyniki badań ankietowych – założenia teoretyczne (1). *Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka* 2020, 589, 10:8-12.
- [2] Executive Summary World Robotics 2019. *Industrial Robots, International Federation of Robotics*, 2019. <https://ifr.org/downloads/press2018/Executive%20Summary%20WR%202019%20Industrial%20Robots.pdf>.
- [3] DEKKER, F., SALOMONS, A., WAAL, J. Fear of robots at work: The role of economic self-interest. *Socio-Economic Review*. 15. 10.1093/ser/mwx005., 2017. [https://www.researchgate.net/publication/313768794\\_Fear\\_of\\_robots\\_at\\_work\\_The\\_role\\_of\\_economic\\_self-interest](https://www.researchgate.net/publication/313768794_Fear_of_robots_at_work_The_role_of_economic_self-interest).
- [4] DAVIDSON, C.A., HOFFMAN, L., SPAULDING, W.D. Schizotypal personality questionnaire - brief revised (updated): An update of norms, factor structure, and item content in a large non-clinical young adult sample. *Psychiatry Research* 2016, 238, 345-355. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2016.01.053>.
- [5] SPIELBERGER, C.D. *State-Trait Anxiety Inventory: Bibliography* (2nd ed.). Palo Alto, CA: Consulting Psychologists Press 1989.
- [6] MOZARYN, J., RÓŻAŃSKA-WALCZUK, M., ŚWIDRAK, J., KUKIELKA, K., POCHWATKO, G. Wybrane predyktory postawy wobec robotów społecznych. *Prace naukowe Politechniki Warszawskiej. Elektronika* 2016, 195:15-24.

*Publikacja opracowana na podstawie wyników zadania badawczego realizowanego w ramach podstawowej działalności statutowej III-31 „Opracowanie metody wirtualnego projektowania pracy operatorów urządzeń przemysłowych w aspekcie bezpieczeństwa i ergonomii”, sfinansowanego ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.*