

Kamil WRÓBEL*, Anna STASIUK-PIEKARSKA**

POMIAROWA METODA OCENY ERGONOMICZNOŚCI W PROJEKTOWANIU RĘCZNYCH ELEMENTÓW STEROWNICZYCH DLA OSÓB STARSZYCH

DOI: 10.21008/j.0239-9415.2016.069.10

W artykule przedstawiono uzasadnienie stosowania pomiarowych metod oceny ergonomiczności w projektowaniu ręcznych elementów sterowniczych. Zestawiono wybrane urządzenia i metody pomiarowe mogące posłużyć do oceny ergonomiczności układów sterowania. Zaprezentowano koncepcje autorskiego stanowiska badawczego i metodę oceny z wykorzystaniem statywu aparatu rentgenowskiego typu Tur DS 15-1 i symulatora N. Gurari i A.M. Okamure. Dla metody pomiarowej wyszczególniono cechę mierzoną, kryterium oceny i miernik. Za mierzoną cechę wybrano koordynację wzrokowo-ruchową i percepcję bezwzrokową wyrażoną dokładnością sterowania. Kryterium oceny oparto na poszczególnych uzyskanych wynikach ergonomiczności układów sterowania o różnych wartościach repertuaru cech. Jako miernik dokładności sterowania przyjęto wskaźnik jakości regulacji wyrażony całką o charakterystyce czasowej. Artykuł zawiera charakterystykę i etapy metody badań, schemat i ogólne parametry techniczne stanowiska badawczego. Celem artykułu jest przedstawienie koncepcji stanowiska pomiarowego do oceny ergonomiczności ręcznych elementów sterowniczych przeznaczonych dla osób starszych.

Słowa kluczowe: projektowanie ergonomiczne, osoby starsze, ręczne elementy sterownicze, pomiarowe metody oceny ergonomiczności

1. WPROWADZENIE

Jakość ergonomiczną ręcznych elementów sterowniczych (RES) można oceniać na wszystkich etapach cyklu życia wyrobu (Michalski, 2008; Słowikowski, 2000) i na wiele sposobów, w tym często przy zastosowaniu metod zaczerpniętych z in-

* Doktorant Wydziału Inżynierii Zarządzania Politechniki Poznańskiej.

** Katedra Ergonomii i Inżynierii Jakości, Wydział Inżynierii Zarządzania Politechniki Poznańskiej.

nych dziedzin naukowych takich jak np. medycyna, psychologia czy informatyka (Michalski, 2008; Tytyk, 2011). Ocena ergonomiczności jest istotna w procesie projektowania urządzeń sterowniczych, co potwierdzają publikacje (np. Dix i in. 2004; Preece i in., 2002; Słowikowski, 2000). Ergonomiczność RES wpływa na aspekt zawodności w układach antropotechnicznych (McCormick, 1964; Sławińska, 2011; Słowiński, 2014), a wysoki poziom ergonomiczności zmniejsza ryzyko powstawania wypadków wynikających z nadmiernego skomplikowania układów sterowania (Dźwiarek, 2012; Konopczyńska, Tytyk, 2011).

Spośród metod oceny ergonomiczności można wyróżnić metody i techniki oparte na wskaźnikach oceny subiektywnej (metody jakościowe) i parametrowej/szacunkowej (metody ilościowe). Podział ten stanowi najogólniejszą klasyfikację metod. Istnieje wiele źródeł literaturowych przemawiających za zastosowaniem każdego z wymienionych typów metod (np. Kwiatkowska, 2012; Mozol; Silverman, 2010; Stanton i in., 2005) (tab. 1). Powyższe przesłanki skutkują tworzeniem wielu metod jakościowo-ilościowych, które Tashakkori i Teddlie nazywają „metodologią trzeciej drogi” (Flick, 2010). Bryman, klasyfikując metody tzw. *trzeciej drogi*, wskazuje jedenaście kategorii łączenia metod ilościowo-jakościowych (Flick, 2010).

Tabela 1. Zalety i wady metod jakościowych i ilościowych. Źródło: oprac. własne na podst. (Kwiatkowska, 2012; Mozol; Silverman, 2010; Stanton i in., 2005)

Metody	Zalety	Wady
Jakościowe	<p>pozwalają określić punkt widzenia osoby badanej;</p> <p>pozwalają ocenić zachowanie badanego podczas pracy;</p> <p>identyfikują problemy w interakcji użytkownika z urządzeniem;</p> <p>pomagają twórczo rozwiązywać problemy;</p> <p>nie wymagają dużych nakładów czasu ani kosztów podczas stosowania;</p>	<p>oparte są na statystyce badanych czynników i opierają się na założeniach twórców;</p> <p>mają charakter subiektywny;</p> <p>wyników badań nie można poddać obróbce statystycznej;</p> <p>są niedokładne;</p> <p>wymagają pozyskiwania danych do oceny przy każdym stosowaniu; wymagają udziału ekspertów;</p>
Ilościowe	<p>obiektywne;</p> <p>mają strukturę i opierają się na statystyce;</p> <p>zakładają istnienie reguł; dokonują ich pomiaru;</p> <p>opisują relację między poszczególnymi zmiennymi;</p> <p>wykrywają zależności;</p> <p>stanowią sposób identyfikacji problemów przez badania statystyczne;</p> <p>umożliwiają ocenę wydajności pracy;</p> <p>umożliwiają tworzenie baz danych, przez co nie wymagają każdorazowych badań;</p>	<p>często nie uwzględniają czynnika ludzkiego;</p> <p>podejście statystyczne może być zawodne w kontekście testowania hipotez w oparciu o dane;</p> <p>często pewne badane czynniki są określone z góry, co przesądza o wynikach takich badań – są mało elastyczne;</p> <p>są czasochłonne i kosztowne w procesie pozyskiwania danych;</p> <p>wymagają nauki stosowania i/lub pozyskiwania danych; wymagają urządzeń pomiarowych</p>

Klasyfikację metod oceny ergonomiczności przedstawiają badacze dziedziny *human-computer interaction* (np. Fu, Schmidt, 2001; Rautenberg, 1998). Także Preece i in. (2002) na podstawie czterech paradygmatów: szybko i na brudno (ang. *buick and dirty*), testowanie jakości użytkowej (ang. *usability testing*), studiowanie w warunkach naturalnych (ang. *field studies*) oraz ewaluacja predykcyjna (ang. *predictive evaluation*) wyróżniają 5 rodzajów oceny ergonomicznej:

- obserwację użytkowników,
- pytania użytkowników o ich opinie,
- pytanie ekspertów o ich zdanie,
- testowanie działań użytkowników,
- modelowanie zadań wykonywanych przez użytkownika.

Wybór konkretnego rodzaju metod do oceny ergonomiczności w poszczególnych etapach życia wyrobu wiąże się z ich zaletami i wadami, przez co wciąż stanowi wyzwanie dla badaczy i praktyków (Michalski, 2008).

Wybór metody badawczej, która zostanie wykorzystana do diagnozy danego wyrobu powinna zależeć od tego, czego badacz przez jej zastosowanie chce się dowiedzieć (Kwiatkowska, 2012). W tym kontekście można wyróżnić metody oceny ergonomiczności RES pod względem ich zastosowania (Wróbel, Stasiuk-Piekarska, 2015).

Większość metod czy technik w ocenie ergonomiczności RES uwzględnia kilka rodzajów wymagań, przez co metody te pozwalają na ocenę wielokryterialną. Natomiast istotne w projektowaniu RES dla osób starszych są przede wszystkim wymagania poznawcze, sensoryczne i motoryczne (Biswas, Langdon, 2012; Schaie, 2004; Schieber, 2003).

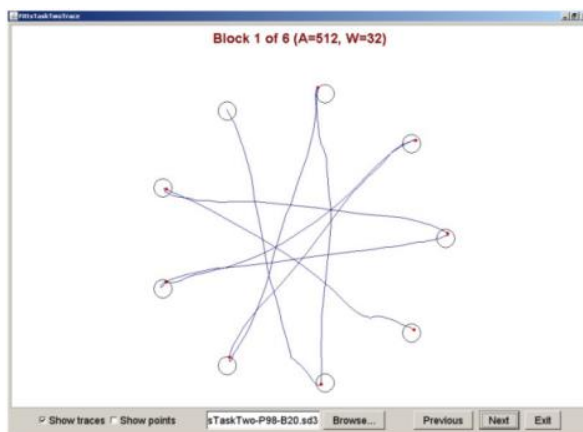
Silnym argumentem przemawiającym za wykorzystywaniem metod pomiarowych w ocenie ergonomiczności RES jest obniżona zdolność osób starszych do postrzegania i oceniania rzeczywistości oraz formułowania własnych odczuć (Wróbel, Stasiuk-Piekarska, 2015). Problem ten dotyczy także metod eksperckich (Słowikowski, 2001). Stanowi to trudność w pozyskiwaniu danych do oceny ergonomiczności (Butlewski et al., 2014). W konsekwencji ocena przy wykorzystaniu metod pomiarowych jest wiarygodniejsza i dokładniejsza. Ponadto dane uzyskane z badań empirycznych mogą znaleźć zastosowanie w metodach modelowania środowiska wirtualnego i metodach eksperckich. Tak też ocena jakości ergonomicznej RES, zwłaszcza dla osób starszych, powinna wiązać się przede wszystkim z oceną zdolności psychomotorycznych za pomocą metody pomiarowej opartej na ocenie efektywności działania układu antropotechnicznego. Takim wyznacznikiem efektywności działań może być pomiar dokładności sterowania podczas wykonywanych zadań sterowniczych [26].

Celem artykułu jest przedstawienie koncepcji stanowiska pomiarowego do oceny ergonomiczności ręcznych elementów sterowniczych przeznaczonych dla osób starszych.

2. OCENA POMIAROWA ERGONOMICZNOŚCI RES

Ergonomiczność systemów antropotechnicznych często przeprowadza się za pomocą metod pomiarowych w procesie projektowania conceptualnego, jak i w fazie tworzenia prototypów wyrobów. Metody pomiarowe w ocenie ergonomiczności RES cechują się określonymi zaletami i wadami (Stanton i in., 2005). Do zalet zalicza się między innymi wiarygodność i dokładność wyników, to, że ocenę interakcji badanych czynników, stanowią podstawę dla innych metod ilościowych, np. ekspertowych, przez co nie muszą być stosowane za każdym razem. Do wad zalicza się długi czas badań, wysokie koszty, uwzględnianie tylko wybranych czynników, wymagają specjalistycznej wiedzy i pomijają subiektywne oceny osób badanych.

Do oceny ergonomiczności RES i zdolności psychomotorycznych człowieka od wielu lat służą metody, tj. Aparat Piórkowskiego, Miernik Czasu Reakcji oraz support i aparat krzyżowy. Metody te są dobrze znane, i choć stosuje się je od blisko kilkudziesięciu lat, to także dziś znajdują zastosowanie w doborze i diagnostyce pracowników. W niniejszym artykule skupiono się na przedstawieniu i omówieniu pięciu urządzeń i metod pomiarowych powstałych w ostatnich piętnastu latach mogących posłużyć do oceny ergonomiczności RES. Urządzeniami tymi są: interaktywna wizualizacja prawa Fittsa z wykorzystaniem JavaScript i D3, miernik momentów obrotowych z miernikiem EMG, pokrętło *JOY*, miernik dokładności sterowania opracowany przez N. Gurari i A.M. Okamura oraz symulator ED2-MF3.



Rys. 1. Interaktywna wizualizacja prawa Fittsa oparta o JavaScript i D3 (www.simonwallner.at)

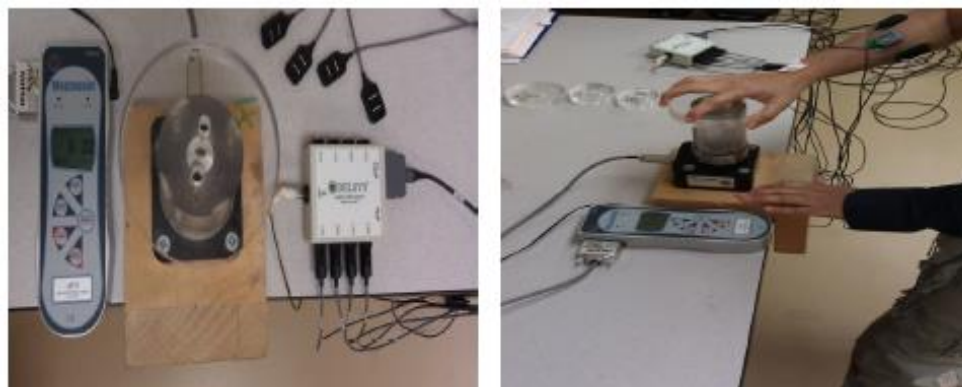
Interaktywna wizualizacja prawa Fittsa oparta o JavaScript i D3, pierwotnie opracowana w 2012 roku przez pracowników University of Copenhagen opiera się o tzw. prawo Fittsa (rys. 1). Zgodnie z prawem Fittsa czas potrzebny na przesunię-

cie się do określonego celu, zależy od rozmiaru celu i dystansu do niego (Fitts, 1954). Prawo Fittsa stosowane jest zarówno do bezpośrednich ruchów ręką, jak i za pomocą urządzeń wejściowych w komunikacji między człowiekiem z komputerem. Program służy do porównywania jakości ergonomicznej różnych urządzeń wejściowych, rozmieszczenia i wielkości punktów na ekranie komputera.

Zadaniem osoby badanej jest przemieszczanie kursora pomiędzy wskazanymi punktami. Każde dotarcie do wyznaczonego punktu należy potwierdzić kliknięciem. Program w czasie rzeczywistym zbiera i prezentuje wyniki badania do czasu, gdy parametry wejściowe nie zostaną zmienione lub gdy osoba badana zakończy test (www.simonwallner.at).

Parametrami wejściowymi testu są: rodzaj, kształt i wielkość urządzeń sterujących (np. mysz komputerowa, joystick), rozmiar i odległość znaków względem siebie. Mierzonymi parametrami są: odchylenie błędu, prędkość sterowania, kierunek drogi sterowania i czas sterowania.

Opracowany przez F.A. Proma i współpracowników miernik momentów obrotowych w połączeniu z miernikiem EMG umożliwia ocenę obciążenia narządu ruchu i pomiar momentów obrotowych z użyciem elementu sterowniczego (rys. 2).



Rys. 2. Miernik momentów obrotowych i miernik EMG (Proma, Imrhan, Ricard)

Urządzenie składa się z przetwornika momentu obrotowego, cyfrowego wskaźnika momentu obrotowego AFTI firmy Mecmesin, systemu stacjonarnego EMG oraz sześciu okrągłych krążków z pleksi o sześciu różnych średnicach i tej samej grubości. Zadaniem badanego jest obrócenie każdego krążka o wskazany kąt i z zadany obciążeniem. Za pomocą miernika EMG jest możliwe odczytanie obciążenia oddziałującego na kończynę górną osoby badanej [10].

Oba urządzenia znajdują zastosowanie w wyznaczaniu maksymalnych sił niezbędnych do odkręcania pojemników, jak i w projektowaniu zamknięć czy elementów sterowniczych (tj. pokrętła czy kłamki do drzwi).

Pokrętło JOY opracowane przez S. Bortolatto i współpracowników to urządzenie służące do badania dynamiki ruchów ręki występującej z użyciem elementu sterowniczego, jakim jest pokrętło (rys. 3).



Rys. 3. Pokrętło JOY (Bortolatto i in., 2004)

Urządzenie składa się z silnika prądu stałego 35NT2R-82-426SP ESCAP generującego moment obrotowy. Silnik wspomagany jest przez serwomechanizm C25A1B firmy Advanced Motion Controls z wykorzystaniem sygnału PWM. Karta PCI Sensoray 626 to wielofunkcyjna karta wejść/wyjść generująca polecenia i sterująca serwonapędem. Na wale silnika zamontowane są dwa czujniki: Futek T5160 będący czujnikiem momentu obrotowego i współpracujący z modułem wzmacniacza Futek JM-2A oraz enkoder Elcisc X0045, który określa zakres obrotu kątownego wału. Na końcu urządzenia znajduje się pokrętło o średnicy 40 mm.



Rys. 4. Miernik dokładności sterowania (Gurari, Okamura, 2007)

Badanie, jakie przeprowadzili autorzy urządzenia, polegało na wykonaniu ruchu pokrętłem o określony stopień kątowny z użyciem od dwóch do pięciu palców. Zadanie wykonywane jest w określonym czasie ustalonym przez jednosekundowe

sygnały dźwiękowe i przy zmiennym obciążeniu. Dzięki oprogramowaniu i filtrom uzyskuje się modele reakcji operatorów podczas badania (Bortolatto i in, 2004). Modele mogą posłużyć do modelowania środowiska wirtualnego lub jako dane normatywne do projektowania elementów sterowniczych.

Miernik dokładności sterowania opracowany przez N. Gurari i A.M. Okamura służy do oceny dokładności sterowania przy zadanej sile obciążenia na elemencie sterowniczym i ograniczonych ruchach kończyn górnych w celu zdobycia danych do projektowania protez i ograniczeń fizycznych w środowisku wirtualnym (rys. 4).

Stanowisko badawcze składa się z symulatora pokręteł, komputera sterującego, wyświetlacza prezentującego położenie pokręteł na ekranie komputera, kamery wideo do nagrywania ruchów osoby badanej i elastycznego paska ograniczającego ruchy ramienia użytkownika. Symulator pokręteł składa się z silnika prądu stałego Maxon A-max 22 DC i jego wału, na którym umieszczony jest enkoder, czujnik momentu obrotowego ATI Nano-17 i trzy pokręta o różnych promieniach.

Procedura badania, opracowana przez autorów rozwiązania, trwa ok. pół godziny dla każdego pokręteł. Badany wykonuje zadania w pozycji stojącej i siedzącej z kątami położenia rąk względem symulatora ułatwiającymi jego sterowanie. Badany za pomocą ruchów przedramienia, nadgarstka i palców ma za zadanie obrócić pokręta o co najmniej 270 stopni w dowolnym czasie. W badaniach zastosowano losową zmianę parametrów badania (wielkość pokręteł, kąt rąk względem pokręteł, wielkość momentu obrotowego). Dla każdego pokręteł przeprowadzono dwie próby. Po każdej próbie badany puszczał pokręta, a badacz zmieniał pokręta i ustawiał je do pozycji wyjściowej (Gurari, Okamura, 2007).

Symulator ED2-MF3 pierwotnie opracowany przez J. Leontiewa, W. Torbusa, T. Pszenickiego, J.Kandefera i J. Słowikowskiego zbudowano w Zakładzie Ergonomii Centralnego Instytutu Ochrony Pracy (rys. 5). Symulator służy do badania koordynacji wzrokowo-ruchowej, a także badania wyczuwalności elementów sterowniczych.



Rys. 5. Symulator ED2-MF3 (Słowikowski, 2001)

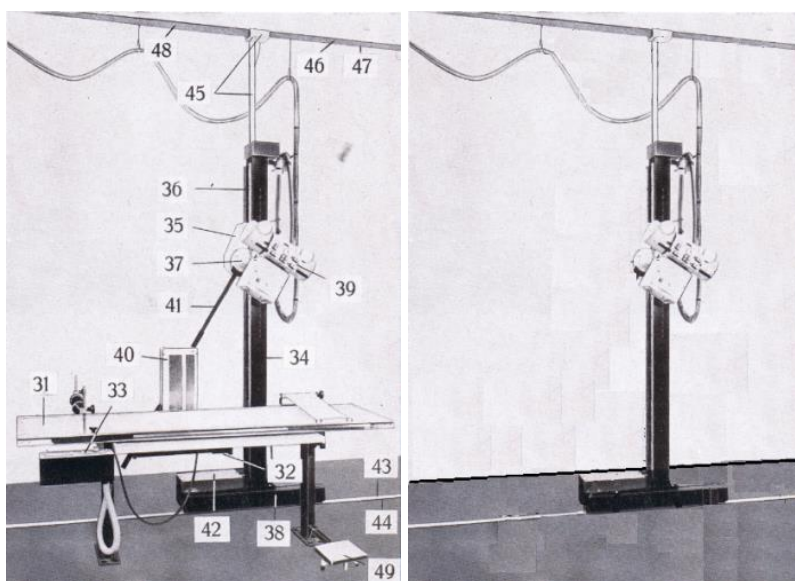
Symulator składa się z podstawy, na której umieszczono podium z fotelem operatora i robota przemysłowego IRp-60M. Z tyłu do podstawy przytwierdzono kolumnę, do której przymocowano poziomy wysięgnik, w którego przedniej części znajduje się zawieszenie monitora, zapewniające możliwość regulacji położenia monitora stosownie do indywidualnych potrzeb operatora. Po wysięgniku przesuwana się osłona, sprzyjająca izolacji operatora pod względem fizycznym i psychicznym od wpływów zewnętrznych. Zadaniem robota pełniącego rolę bardzo sztywnego, a jednocześnie „inteligentnego” statywu, jest pozycjonowanie elementu sterowniczego, za pomocą którego operator steruje położeniem kursora na ekranie – przez samoczynną zmianę (zgodnie z programem eksperymentu) do pięciu parametrów przestrzennych: trzech współrzędnych liniowych: x , y , z i dwóch kątowych. Badana osoba realizuje zadanie sterowania nadążnego, polegające na śledzeniu za pomocą kursora stochastycznie wygenerowanej na ekranie linii za pomocą określonego w danym eksperymencie elementu sterowniczego (dźwigni ręcznej, pedału, kierownicy, pokrętła itp.). Zadanie to realizowane jest z możliwością zmiany kilkunastu parametrów (morfologicznych, regulacyjnych i informacyjnych) badanego układu sterującego (Słowikowski, 2001).

Zastosowanie symulatora ED3 jest bardzo szerokie i obejmuje między innymi wykorzystanie w pracach badawczo-projektowo-rozwojowych w przemyśle. Symulator może służyć do badań nad optymalizacją doboru i rozmieszczenia elementów sterowniczych w maszynach roboczych i serwisowych, urządzeniach laboratoryjnych, medycznych, telewizyjnych, diagnostycznych czy w тренаżerach. Symulator może pomóc w badaniach przestrzeni pracy i charakterystyki wyjścia motorycznego operatora, dynamiki operatora w procesie sterowania nadążnego, percepcji i przepustowości kanałów sensorycznych czy koordynacji wzrokowo-ruchowej podczas sterowania. Dodatkowym zastosowaniem jest wykorzystanie symulatora w dydaktyce na uczelniach wyższych.

3. METODA I STANOWISKO POMIAROWE

W proponowanej w pracy metodzie pomiarowej oceny ergonomiczności RES dla osób starszych wykorzystuje się statyw aparatu rentgenowskiego Tur DS 15-1, symulator ręcznych elementów sterowniczych oparty na opisywanym symulatorze N. Gurari i A.M. Okamure, komputer wraz z oprogramowaniem, drugie ramię wraz z monitorem komputerowym, wymienne ręczne elementy sterownicze (dźwignia, pokrętło) o różnych wymiarach zgodnych z badaniami J. Słowikowskiego [26]. Stanowisko badawcze dopełnia podstawa z możliwością pozycjonowania siedziska operatora składająca się z nieruchomego podestu i ruchomej płyty oraz siedziska operatora. Zaprojektowali ją B. Branowski i współpracownicy (Branowski i in., 2015).

Tur DS 15-1 jest aparatem rentgenowskim z podstawą zapewniającą obrót wspornika wzdłuż osi wzdłużnej w zakresie od -80° do $+80^{\circ}$. Podstawa wspornika porusza się po szynie o długości 4000 mm przykręconej do podłoża. Przesuw boczny podstawy wynosi 1450 mm w obie strony, licząc od środka osi wzdłużnej wspornika. Istnieje także możliwość zastosowania drugiej szyny podłogowej eliminującej konieczność oryginalnego mocowania aparatu do szyny sufitowej. Na wsporniku w płaszczyźnie pionowej w zakresie od 380 mm do 2230 mm porusza się ramię [30], na końcu którego znajduje się obrotowa głowica umożliwiająca wysuwanie w zakresie od 510 mm do 1310 mm. Głowica aparatu może obracać się w zakresie 360° . Oprócz obrotu wspornika i głowicy wszystkie zmiany ustawienia statywu można wykonywać automatycznie, wykorzystując wbudowany napęd serwo mechaniczny zasilany z szafy sterowniczej. Ustawianie statywu ułatwiają zainstalowane miarki i kątomierze. Na rysunku 6 przedstawiono oryginalną konfigurację aparatu rentgenowskiego TuR 15-1 oraz statyw aparatu wykorzystany w koncepcji stanowiska badawczego.



Rys. 6. Po lewej: aparat rentgenowski Tur DS 15-1 z wyszczególnionymi elementami: 31 – stół; 32 – szuflada na kasety; 33 – szafa zasilająca i sterownicza; 34 – wspornik lampy RTG; 35 – lampa RTG; 36 – prowadnica ramienia lampy RTG; 37 – głowica lampy RTG; 38 – podstawa jezdnia wspornika; 39 – panel sterowniczy; 40 – urządzenie AEC; 41 – uchwyt; 42 – szafa zasilająca i sterownicza; 43 – prowadnica (szyna) podłogowa; 44 – mocowanie prowadnicy; 45 – sufitowe ramię mocujące z uchwytem prowadnicowym; 46 – prowadnica sufitowa; 47 – mocowanie prowadnicy; 48 – mocowanie prowadnicy; 49 – pedał zwalniania stołu. Po prawej: elementy aparatu wykorzystane w koncepcji stanowiska badawczego (VEB)

Pozycjonowanie symulatora wspomaga umieszczone na głowicy ramię wykonane według autorskiego projektu, składające się z trzech połączeń obrotowych z zaciskami i łączących je dwóch przegubów kolankowych z zaciskami. Ramię jest zakończone uchwytem umożliwiającym mocowanie symulatora ręcznych elementów sterowniczych.

Integralną częścią stanowiska badawczego jest oprogramowanie umożliwiające automatyczne modelowanie zadań sterowniczych, sterowanie statywem i symulatorem oraz zbierające i analizujące wyniki badań. Cały repertuar zmiennych parametrycznych stanowiska badawczego przedstawiono w tabeli 2. Zawiera ona podział parametrów na wprowadzane ręcznie i automatycznie oraz podaje ich pożądane zakresy zmienności.

Metoda badań zakłada badanie właściwej prędkości sterowania dla każdej badanej osoby, tzn. takiej prędkości, dla której badany osiąga najwyższy poziom dokładności sterowania przy możliwie najszybszej prędkości sterowania nadążnego.

Głównym celem metody badań jest zbadanie wpływu poziomu ograniczeń psychomotorycznych osób starszych i parametrów technicznych RES na kształtowanie się poziomu ergonomiczności. Ponadto metoda zakłada badanie dokładności sterowania osób starszych na stanowisku o parametrach technicznych dostosowanych dla osób młodych.

Tabela 2. Repertuar parametrów stanowiska badawczego (oprac. własne na podst. (VEB; Słowikowski, 2001)

Podzespół symulatora	Repertuar parametrów		Nastawianie		Zakres zmienności		
	Cechy układu sterującego	Menu główne	Ręczne	Automat.			
Układ sterujący	Morfologiczne	RES	+		5 rodzajów		
		Forma	+		dowolna		
		L/W/H	+		dowolna		
		Odległość czołowa			+	0÷800 mm	
		Odległość boczna			+	+/-1450mm	
		Wysokość od podłoża			+	380÷2230 mm	
		Kąt nachylenia wg poziomu	+			-100÷100°	
	Kąt nachylenia wg pł. strzałkowej	+			-100÷100°		
	Regulacyjne	Obciążenie siłowe			+	0÷50 N	
		Przełożenie układu			+	0,5÷20	
		Charakterystyka przełożenia			+	2 rodzaje	
Inercja układu				+	0÷2 sek.		
Emisja obrazu	Informacyjne	Typ obrazu śledzonego			+	T/S/T-S	
		Prędkość przesuwu				+	1÷100 mm/sek.
		Czas ekspozycji jednostkowej				+	0,5÷240 min.

Do realizacji pierwszego i trzeciego celu badań wystarczy opisywane stanowisko i metoda badawcza. Natomiast do realizacji trzeciego celu należy wykorzystać stanowisko badawcze z istniejącymi metodami z zakresu psychologii i medycyny oraz proste tabele metrykalne, czyli tzw. metodę trzeciej drogi. Etapy i przebieg procedury badawczej przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Etapy i przebieg procedury badawczej (oprac. własne)

Etap	Cel główny badania		Szczegółowy opis badań
	Grupa kontrolna (osoby młode)	Grupa podstawowa (osoby starsze)	
I	Określenie właściwej prędkości sterowania przez osoby młode	Określenie właściwej prędkości sterowania przez osoby starsze	Osoba badana zapoznaje się z celem badania. Następnie przez cztery minuty ćwiczy na symulatorze dźwigni o parametrach technicznych: przełożenie układu 1:1, siła 6,3 N i długość 160 mm. Po ćwiczeniu następuje właściwe badanie. Badanie trwa 1 min i polega na nadążnym przemieszczaniu kursora wzdłuż kreski wyświetlanej na ekranie monitora. Przemieszczanie kursora odbywa się za pomocą ww. dźwigni. Badanie odbywa się przy różnych prędkościach sterowania (od 50 mm/s do 1 mm/s).
II	Zidentyfikowanie poziomu dokładności sterowania przez osoby młode dla czterech wartości trzech parametrów 135 technicznych te dwóch ręcznych elementów sterowniczych	Zidentyfikowanie poziomu dokładności sterowania przez osoby starsze dla czterech wartości trzech 1 techniczny 1 techniczny te dwóch ręcznych elementów sterowniczych	Badania wykonywane są w dwóch etapach. W pierwszym etapie badani wykonują zadania sterownicze na symulatorze dźwigni. W drugim etapie na symulatorze pokrętła. Badania wykonywane w dwuosobowych grupach. Badani wykonują zadania sterownicze na przemian dla tych samych ustawień parametrów technicznych. Po każdym cyklu badań parametry techniczne zostają przestawione, a cykl badań się powtarza. Dla każdego typu symulatora badani mają po 4 min ćwiczenia na początku etapu badań. Następnie wykonują zadania sterownicze trwające 1 min. Całość badań dla 60 osób trwa: 32 dni dla 60 osób (zakładając, że badania trwają przez 4 godz. dzienne).
III	Analiza wyników		Identyfikacja korzystnych konfiguracji parametrów technicznych i cech osobowych

W pierwszym etapie badania jest właściwa prędkość sterowania wyznaczana i przypisywana indywidualnie każdej badanej osobie. Prędkość sterowania ma zasadnicze znaczenie dla wyznaczania dokładności sterowania, ponieważ dokładność sterowania maleje wraz ze wzrostem prędkości. Dlatego ważne jest, by dla każdej badanej osoby wartość ta była możliwie proporcjonalna względem indywidualnych zdolności badanych osób. Etap pierwszy dla jednej osoby trwa ok. 10 min.

W etapie drugim badania zakłada się badanie wpływu poziomu ograniczeń psychomotorycznych osób starszych i różnych zestawów parametrów technicznych

RES na poziom dokładności sterowania. Ponadto badanie ma na celu zidentyfikowanie różnic pomiędzy parametrami technicznymi RES dostosowanymi dla użytkowników zróżnicowanych wiekiem. Czasochłonność drugiego etapu jest uwarunkowana liczbą zmiennych uwzględnianych w badaniu. Przykładowo w badaniu na dwóch rodzajach elementów sterowniczych, gdzie badane są cztery parametry o czterech różnych wartościach czas badania dla jednej osoby wynosi ok. 128 min.

$$U = \int_0^{T_{\text{ex}}} |X_t - X_{t_{\text{stat}}}| dt$$

Rys. 7. Całka o charakterystyce czasowej (Słowikowski, 2000)

Dokładność sterowania jak żadna inna cecha mierzona wyraża ergonomiczność układu antropotechnicznego miernikiem efektywności pracy, jakim jest miernik jakości regulacji. Dokładność sterowania mierzona za pomocą całki o charakterystyce czasowej mierzy zarówno efektywność pracy człowieka, jak i urządzenia, dokładnie określając ergonomiczność układu antropotechnicznego (rys. 7). Jak potwierdzają wcześniejsze badania (Słowikowski, 2000), istnieje na drodze badań empirycznych możliwość określenia skali oceny ergonomiczności na podstawie uzyskanych wyników przy różnych parametrach wejściowych.

4. PODSUMOWANIE

Pomimo rozwoju urządzeń sterujących i informacyjnych wciąż istnieje potrzeba kształtowania ergonomiczności RES dla osób starszych (Juliszewski, 2011). Przez kształtowanie ergonomiczności rozumie się ocenę i dobór parametrów technicznych do naturalnych zdolności psychomotorycznych operatora. Ergonomiczność urządzeń sterowniczych ma duże znaczenie dla niezawodności systemów antropotechnicznych.

Zaproponowane w artykule stanowisko badawcze i metoda nawiązują do podejścia N. Gurari i A.M. Okamure, J. Słowikowskiego oraz B. Branowskiego, przy czym dla ograniczenia kosztów robota IRp-60M zastąpiono statywem aparatu rentgenowskiego Tur DS 15-1. Podejście to, z wykorzystaniem nowoczesnego napędu serwomechanicznego i jego pozycjonowania, umożliwia zbieranie danych empirycznych dotyczących dokładności sterowania przy różnych danych wejściowych, którymi są wartości parametrów technicznych RES. Stanowisko badawcze umożliwia wykonywanie badań w szerokim zakresie, przez co może być użyte w różnych celach.

Korzyścią badania dokładności sterowania jest możliwość jej pomiaru miernikiem jakości regulacji. Zapewnia to obiektywną ocenę ergonomiczności z uwzględnieniem kluczowych wymagań i pomija ocenę czynnika ludzkiego, jego odczucie,

zdolności koordynacji wzrokowo-ruchowej, percepcji bezwzrokowej, obciążenia umysłowego czy obciążenia mięśniowo-szkieletowego. Człowiek jest traktowany jak tzw. „czarna skrzynka”.

W obecnych normach nie sprecyzowano doboru wartości parametrów technicznych zorientowanych na osoby starsze. Projektowane stanowisko badawcze w przyszłości zapewni dane dla projektantów, którzy pozbawieni szczegółowych danych do projektowania RES dla osób starszych mają problemy w kształtowaniu ergonomiczności urządzeń sterowniczych.

LITERATURA

1. *An Interactive Visualisation of Fitts' Law with JavaScript and D3*. Pobrane z <http://www.simonwallner.at/ext/fitts> (dostęp: 28.02.2016).
2. Bortolatto, S., Gasparetto, A., Trevisani, A., Zanotto, V. (2004). Towards a model of the human hand: Linear system identification of the human grasp, *IASME Transactions*, 1(1): 131–136.
3. Branowski, B. i in. (2015). Badania właściwości antropometrycznych i biomechanicznych seniorów i osób z niepełnosprawnościami narządu ruchu. W: Lecewicz-Bartoszewska J., Polak-Sopińska A. (red.), *Ergonomia niepełnosprawnym, Aktywacja zawodowa*, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź.
4. Butlewski, M. i in. (2014). Heuristics in Ergonomic design of portale control devices for The elderly, W: Stephanidis C., Antona M. (Eds.), *UAHCI/HCI*, 2014, Part 3, LNCS 8515. Switzerland: Springer International Publishing: 24-33.
5. Dix, A., Finlay, J., Abowd G.D., Beale R. (2004). *Human-Computer Interaction*, 3rd edition, Harlow: Pearson Education.
6. Dźwiarek, M. (2012). *Bezpieczeństwo funkcjonalne systemów sterowania maszynami*, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa.
7. Fitts, P. M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, 47 (6): 381–391.
8. Flick, U. (2010). *Projektowanie badania jakościowego*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
9. Fu, L., Schmidt, K. (2001). Usability Evaluation. W: W. Karwowski (red.), *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors*. London: Taylor & Francis: 1187–1190.
10. Gurari, N., Okamura, A.M. (2007). *Human Performance in a Knob-Turning Task*, *World Haptics Conference*: 96-101.
11. Rautenberg, M. (1998). *Introduction into human-computer interaction*. Zurich: Swiss Federal. Pobrano z http://www.uta.edu/faculty/ricard/PDFs/Imrhan%202012_EMG%20on%20Disc%20handles.pdf, dostęp: 11.11.2015.
12. Juliszewski, T. (2011). *Ekspertyza. Kierunki prac badawczych i najnowsze trendy w ergonomii w odniesieniu do techniki rolniczej*, Kraków: Uniwersytet Rolniczy w Krakowie.

13. Konopczyńska, A., Tytyk E. (2011). Ergonomia i jakość urządzeń sygnalizacyjnych i sterowniczych a zdrowie ich użytkowników, E. Tytyk (red.), *Inżynieria ergonomiczna. Praktyka*, Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej.
14. Kwiatkowska, J. (2012). Metody i techniki ewaluacji interakcji człowiek-komputer, a tradycyjny podział badań: jakościowe vs ilościowe. W: Knosala R. (red.): *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*. Opole.
15. McCormick, E. (1964). *Antropotechnika. Przystosowanie konstrukcji maszyn i urządzeń do człowieka*, Warszawa: WNT.
16. Michalski, R. (2008). Jakość użytkowa w procesie wytwarzania oprogramowania: przegląd metod i technik projektowych, *Badania Operacyjne i Decyzje*, 4.
17. Mozol, A., *Gdy pojawi się problem – kurs usability*, cz. 9, 22 lipca 2011 r. dostęp: <http://www.symetryczna.pl/usability/gdy-pojawi-sie-problem-%E2%80%93kurs-usability-cz-ix/>, dostęp: 28.02.2016.
18. Biswas, P., Langdon, P. (2012). Developing Multimodal Adaptation Algorithm for Mobility Impaired Users by Evaluating Their Hand Strength, *International Journal of Human-Computer Interaction*, 28:9: 576-596.
19. Preece, J., Rogers, Y., Sharp, H. (2002). *Interaction design: beyond human-computer interaction*, John Wiley & Sons, New York.
20. Rauterberg, M., (1998). *Introduction into human-computer interaction*, Zürich: Swiss Federal Institute of Technology. Pobrane z: <http://www.zie.pg.gda.pl/~msik/ergonomia-si/ergonomia-simaterialy.htm>, dostęp: 28.02.2016.
21. Schaie, K.W. (2004). Cognitive aging. W: R. Pew and S. van Hemmel (Eds). *Technology for Adaptive Aging: Report and Papers*. National Research Council, The National Academies Press, Washington, DC.
22. Schieber, F. (2003). Human factors and aging: Identifying and compensating for age-related deficits in sensory and cognitive function. W: K.W. Schaie, N. Charness (Eds.), *Influences of technological change on individual aging*. Springer Publishing Company, New York.
23. Silverman, D. (2010). *Prowadzenie badań jakościowych*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa.
24. Stanton, N., Hedge, A., Brookhuis, K., Salas, E., Hendrick, H. (2005). *Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods*, Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, CRC Press Web.
25. Sławińska, M. (2011). *Reengineering ergonomiczny procesów eksploatacji zautomatyzowanych urządzeń technologicznych (ZUT)*, Poznań: Wyd. Politechniki Poznańskiej.
26. Słowikowski, J. (2000). *Metodologiczne problemy projektowania ergonomicznego w budowie maszyn*, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa.
27. Słowikowski, J. (2001). Przesłanki ergonomiczne „wyczuwania” maszyny przez człowieka, *Bezpieczeństwo Pracy*, 7-8.
28. Słowiński, B. (2014). *Inżynieria eksploatacji maszyn*, Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej, Koszalin.
29. Tytyk, E. (2011). Metodologiczne podstawy inżynierii ergonomicznej, Tytyk, E. (red.), *Inżynieria ergonomiczna. Teoria*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań.
30. *VEB Transformatoren – Und Rontgenwerk Herman Matern, Bilder und Zeichnungen, Bedienung, montage und serviceanweisung, Strahlerstativ “TuR” DS 15-1.*

31. Wróbel, K., Stasiuk-Piekarska, A. (2015). Implementation of ergonomics Assessment Methods in designing The hand steering components orientem on the elderly, Lewandowski J., Polak-Sopińska A., Boczkowska K. (ed.), *Ergonomics For People With Disabilities, Social and occupational integration*, Łódź: Lodz University of Technology.

MEASUREMENT METHOD TO ERGONOMICS EVALUATION IN DESIGN PROCESS OF HAND STEERING COMPONENTS FOR THE ELDERLY

Summary

The paper presents the argumentation of the use of measurement methods to assess the ergonomic in the design process of the hand steering components. Presented selected the equipment and measurement methods that can be used to assess ergonomic the control systems. Presented the concept of the author's equipment method of evaluation, which is based on the of X-ray camera tripod type Tur DS 15-1 and the simulator hand steering components by Gurari N and A.M. Okamura. For the measurement method specified a measured feature, a measurement standard and a gauge. As measured feature selected a visual motor coordination and an blind perception expressed of controlled accuracy. The measurement standard was based on the ergonomics results control systems about different a repertoire value feature. As a gauge of control accuracy assumed a control quality indicator expressed a integral characteristic time. The article contains the characteristics and stages of testing methods, format and general technical parameters author's equipment. The purpose of this papers is presents the concept of a measuring equipment to assess the ergonomic hand steering components oriented towards the elderly.

Keywords: ergonomics design, the elderly, hand steering components, measurement methods to ergonomics evaluation

