POLITECHNIKA POZNAŃSKA
WYDZIAŁ INŻYNIERII ZARZĄDZANIA

ROZPRAWA DOKTORSKA

METODA KSZTAŁTOWANIA ERGONOMICZNOŚCI RĘCZNYCH ELEMENTÓW STEROWNICZYCH DLA OSÓB STARSZYCH

mgr inż. Kamil Wróbel

Promotor: dr hab. inż. Małgorzata Sławińska, prof. PP

Poznań 2019

Pragnę złożyć serdecznie podziękowanie
dr hab. inż. Małgorzacie Sławińskiej, prof. PP
oraz dr hab. inż. Marcinowi Butlewskiemu
za nieocenione wskazówki przy realizacji rozprawy.

Dziękuję również rodzinie,
a przede wszystkim Żonie
za wsparcie i motywację do pracy.

Spis treści

Spis skrótów i oznaczeń ... 7
Wprowadzenie ... 9
Problem badawczy ... 9
Cele, zagadnienia i struktura rozprawy ... 12
Proces badawczy ... 14
1. Wielokryterialna ocena ergonomiczności interakcji OS-RUiES ... 16
1.1. Ocena ergonomiczności interakcji OS-RUiES ... 16
1.2. Wskaźniki oceny ergonomiczności interakcji OS-RUiES ... 16
1.2.1. Zasady i wymagania ergonomii ... 16
1.2.2. Błędy w interakcji OS-RUiES ... 25
1.2.3. Wskaźniki jakości regulacji ... 29
1.3. Zakres wielokryterialnej oceny ergonomiczności interakcji OS-RUiES ... 32
1.4. Ergonomiczność jako miara oceny interakcji OS-RUiES ... 36
1.4.1. Wartościowanie ergonomiczności interakcji OS-RUiES ... 36
1.4.2. Metoda oceny ergonomiczności interakcji OS-RUiES ... 37
1.5. Narzędzia oceny ergonomiczności interakcji OS-RUiES ... 38
2. Zmienne preferencyjne i cechy urządzeń sterowniczych w kształtowaniu ergonomiczności interakcji OS-RUiES ... 43
2.1. Analiza literatury w zakresie preferencji osób starszych do doboru i projektowania RUiES 43
2.2. Zmienne preferencyjne w analizie kontekstu użytkowego ... 49
2.3. Cechy podzespołów RUiES oddziaływujące na ergonomiczność interakcji OS-RUiES ... 53
2.4. Charakterystyki cech do doboru i projektowania RUiES ... 57
3. Metoda do wspomagania kształtowania ergonomiczności interakcji OS-RUiES ... 62
3.1. Metody i techniki sztucznej inteligencji ... 62
3.2. Klasyczne i hybrydowe systemy ekspertowe w doborze i projektowaniu RUiES ... 70
3.2.1. Podział i ogólna charakterystyka systemów ekspertowych ... 70
3.2.2. Klasyczny system ekspertowy ... 73
3.2.3. Inteligentny system ekspertowy z koncepcją FCM ... 76
3.2.4. Metody i podejścia uczenia nienadzorowanego FCM ... 80
4. Hybrydowy system ekspertowy do kształtowania ergonomiczności interakcji OS-RUiES ... 85
4.1. Budowa hybrydowego systemu ekspertowego ... 85
4.2. Zastosowanie HSE ... 85

4.3. Charakterystyka modeli i reguł ... 90
4.4. Interfejs użytkownika ... 91
4.5. Aplikacja administratora ... 95
4.5.1. Struktura aplikacji ... 95
4.5.2. Bazy danych ... 97
4.6. Algorytmy regułowe wnioskowania klasyfikacyjnego i FCM ... 99
4.6.1. Modele i reguły algorytmu bloku 1 ... 99
4.6.2. Modele i reguły algorytmu bloku 2 ... 102
4.6.3. Narzędzia oceny interakcji; modele i reguły algorytmu bloku 3 ... 104
4.6.4. Modele i reguły algorytmu bloku 4 ... 113
5. Badania empiryczne relacji zmiennych preferencyjnych i charakterystyk cech w aspekcie ergonomiczności interakcji OS-RUiES ... 116
5.1. Analizowane preferencje osób starszych i charakterystyki cech RUiES ... 116
5.1.1. Preferencje osób starszych ... 116
5.1.2. Charakterystyki cech RUiES ... 118
5.2. Procedura i rezultaty oceny ergonomiczności interakcji OS-RUiES ... 127
5.2.1. Procedura badań stanowiskowych ... 127
5.2.2. Rezultaty ogólne oceny ergonomiczności interakcji OS-RUiES ... 127
5.2.3. Rezultaty przewidywania typu i cech RUiES w aspekcie preferencji i poziomów ergonomiczności interakcji OS-RUiES ... 130
5.3. Relacje preferencji osób starszych i ogólnej charakterystyki cech RUiES ... 138
5.3.1. Relacje wieku i płci i charakterystyk cech RUiES ... 138
5.3.2. Relacje doświadczenia użytkowego i charakterystyk cech RUiES ... 142
5.3.3. Relacje cech antropometrycznych i charakterystyk cech RUiES ... 144
5.3.4. Relacje dolegliwości kończyn górnych i charakterystyk cech RUiES ... 147
5.3.5. Relacje preferencji rozmiaru urządzenia i charakterystyk cech RUiES ... 150
5.3.6. Relacje preferencji typu technologii interfejsu i charakterystyk cech RUiES ... 151
5.3.7. Relacje preferencji rodzaju komputera i charakterystyk cech RUiES ... 153
Podsumowanie i kierunki dalszych badań ... 155
Bibliografia ... 156
Spis rysunków ... 174
Spis tabel ... 176
Załącznik elektroniczny ... 178

Spis skrótów i oznaczeń

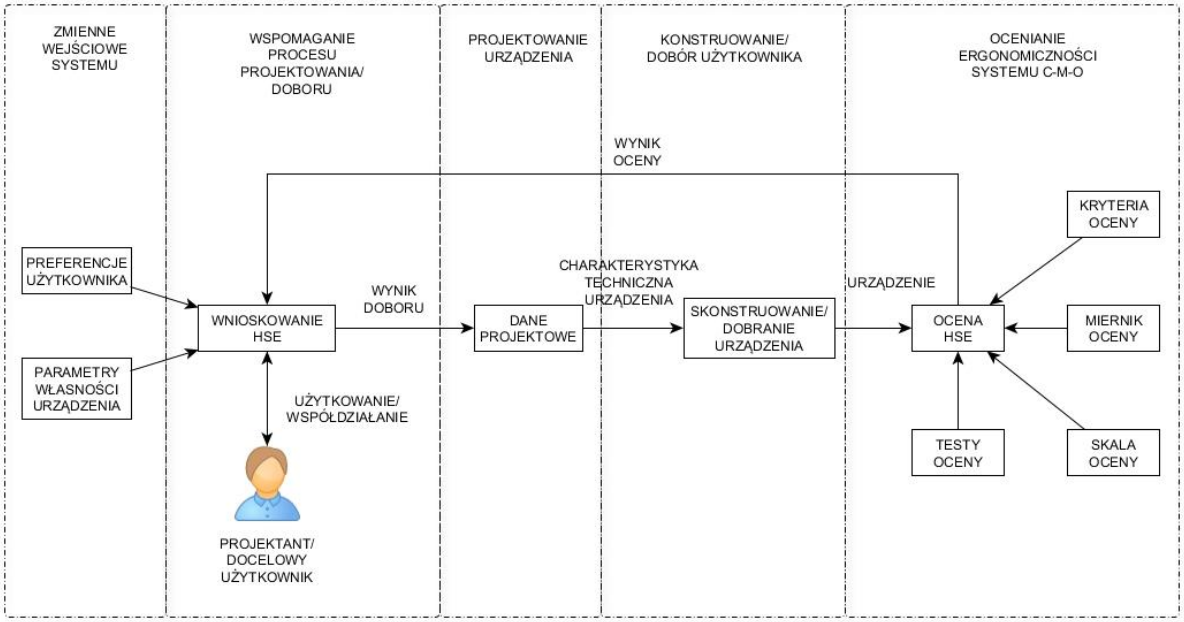
A – Pytanie
AHL – Active Hebbian learning
AKU – Analiza Kontekstu Użytkowego
BDA – Balanced Differential Algorithm
BISZ – Lista Wszystkich Przyjętych i Zaistniałych Czynników Opisujących Interakcję
C-M-O – System Człowiek-Maszyna-Otoczenie
CMB – Komputer Mobilny
CO – Rodzaj Wprowadzanych Odpowiedzi
CPD – Komputer Przenośny
OS – Osoba Starsza
CST – Komputer Stacjonarny
CWZ – Czas Wykonania Zadania
DD-NHL – Data Driven Nonlinear Hebbian learning
DHL – Differential Hebbian Learning
DOC – Desired Output Concepts
DPI – Dots Per Inch
DRUIES – Sekwencja Doboru Bloku Wnioskowania HSE
EEI – Ocena Spełnienia Pożądanego Poziomu Ergonomiczności Interakcji OS-RUiES
FCM – Fuzzy Cognitive Maps
GUI – Graphical User Interface
HCI – Human Computer Interaction
HSE – Hybrydowy System Ekspertowy
IR – Jedno- lub Dwuręczność
ISEMK – Inteligentny System Ekspertowy oparty o Mapy Kognitywne
ISWD – Inteligentny System Wspomagania Decyzji
ISZ – Wszystkie Czynniki i Mierniki Opisujące Interakcję OS-RUiES
K – Komputer
KSE – Klasyczny System Ekspertowy
M – Model
NHL – Nonlinear Hebbian learning
NHL-DE – Nonlinear Hebbian Learning-Differential Evolution
ODS – Ocena Dokładności Regulacji
OP – Opcja Preferencji
OPE – Pożądany Przez Użytkownika Poziom Ergonomiczności Dobieranego RUS/RES
PA – Prepytanie
PCT – Zalecenia Techniczne Minimalizujące Odczuwane Dolegliwości Kończyn Górnych
PH – Część Ręki Aktywująca RUS/RES
PQ – Preodpowiedź
PR – Pozycja Ręki Względem Płaszczyzny Roboczej
PSO – Particle Swarm Optimization
PSZ – Przedział Liczby Rodzajów Błędów w Interakcji

Q – Odpowiedź
R – Typ Ręcznego Urządzenia lub Elementu Sterowniczego
RC – Rodzaj Chwytu
RES – Ręczny Element Sterowniczy
RUiES – Ręczne Urządzenie i Element Sterowniczy
RR – Typ Ręcznego Urządzenia lub Elementu Sterowniczego Wynikający z Doświadczenia Użytkowego
RUS – Ręczne Urządzenie Sterownicze
SA – Rodzaj Aktywacji
SWD – Systemy Wspomagania Decyzji
SZ – Rodzaje Błędów Interakcji
T – Rodzaj zadania
TE – Rodzaj Testu
USER – Użytkownik
WCWZ – Przedział Czasu Wykonania Zadania
WHO – World Health Organization
WODS – Przedział Oceny Dokładności Sterowania
WSZ – Oceny Liczby Rodzajów Błędów Interakcji
WT – Cecha Obiektu Technicznego
WU – Wiek Użytkownika w Przedziałach Wiekowych
WWT – Charakterystyka Cechy Obiektu Technicznego
ZD – Dolegliwości Zdrowotne Kończyn Górnych i Narządu Wzroku
ZE – Rodzaj Zaleceń Ergonomicznych
ZG – Zalecenie do Projektowania RUiES
ZOI – Zagregowana Ocena Interakcji
ZZE – Preferowany Poziom Ergonomiczności
ZZOE – Przedziały Oceny Interakcji

Wprowadzenie

Problem badawczy

Podjęta w rozprawie problematyka obejmuje dwa zagadnienia. Pierwsze z zagadnień porusza kwestię doboru ręcznych urządzeń i elementów sterowniczych (RUiES) i ich charakterystyki cech do preferencji osób starszych. Za istotne uznano dobór spełniający preferowany poziom ergonomiczności interakcji między układem ludzkim a technicznym systemu sterowania występującego w komunikacji człowiek-komputer. Natomiast drugie zagadnienie dotyczy zastosowania hybrydowego systemu ekspertowego (HSE) do wspomagania doboru typu i charakterystyk cech RUiES względem preferencji osób starszych. Pierwsze zagadnienie obejmuje określenie zmiennych wpływających na ergonomiczność i ocenę systemu OS-RUiES w ujęciu spersonalizowanym. Drugi aspekt problematyki dotyczy zastosowania HSE (rys. 1) na etapie projektowania, jak i użytkowania RUiES. Obydwa zagadnienia składają się w jeden następujący problem badawczy: **przewidywanie ergonomiczności interakcji OS-RUiES z uwzględnieniem indywidualnych preferencji użytkownika przy pomocy systemu ekspertowego.**



Rys. 1. Zakres problematyki rozprawy
Źródło: Opracowanie własne

W podjętym problemie badawczym rozpatrzono cztery pytania badawcze:

PB1: Które zmienne są istotne dla uzyskania wysokiego poziomu ergonomiczności interakcji OS-RUiES?
PB2: Które wskaźniki wyznaczają wielokryterialną ocenę ergonomiczności interakcji OS-RUiES?
PB3: Które charakterystyki cech RUiES odpowiadają preferencjom OS?
PB4: Które metody i podejścia predysponują do skutecznego i prostego zastosowania w przewidywaniu i modelowaniu zmiennych interakcji OS-RUiES?

W okresie dostosowania pracowników do wymagań przemysłu 4.0 (Wrobel-Lachowska, Polak-Sopinska i Wisniewski 2018) oraz wysoce zróżnicowanego, wymagającego i starzejącego się społeczeństwa konsumpcyjnego zachodzi potrzeba spersonalizowanego kształtowania ergonomiczności interakcji w systemach sterowania. Kształtowanie ergonomiczności interakcji OS-RUiES w artykule określono jako proces doboru i projektowania. Kształtowanie interakcji OS-RUiES zachodzi poprzez przewidywanie ergonomicznie pożądanych charakterystyk cech obiektu technicznego. Przewidywanie charakterystyk cech RUiES oparto na preferencjach osób starszych.

Prowadzenie badań w zakresie dostosowywania RUiES do osób starszych potwierdzają naukowe opracowania publikowane m.in. przez Juliszewskiego (Juliszewski 2011). Przykładowo, w licznych sytuacjach jak podaje literatura (McCormick 1964; Sławińska 2011; Słowiński 2011) ergonomiczność systemów sterowania ma znaczący wpływ na niezawodność i skuteczność działania układu antropotechnicznego. Istotny problem w tym zakresie występuje w komunikacji osób starszych z komputerami (Juliszewski 2011). Istnieją trzy podstawowe powody takiego stanu rzeczy. Pierwszy powód wynika z okresu w jakim współczesne osoby starsze żyły, i który charakteryzował się ograniczonym dostępem do urządzeń komputerowych. Drugi powód wynika z wydłużenia okresu życia, wzrostu liczby osób starszych w społeczeństwach i znacznego zróżnicowania cech i preferencji, w tym zdrowotnych. Armbrüster, Sutter i Ziefle uważają, że ze względu na zmiany demograficzne główną grupą docelową urządzeń mobilnych będą osoby starsze (Armbrüster, Sutter i Ziefle 2007). Natomiast badania m. in. Riviere i Thakor wskazują na wpływ wieku i dolegliwości na efektywność użytkowania urządzeń sterowniczych (Riviere, Thakor 1996). W Polsce nie prowadzono do tej pory badań dotyczących korelacji pomiędzy preferencjami zdrowotnymi, takimi jak dolegliwości osób starszych, a poziomem wykorzystania technologii informacyjno komunikacyjnej (Tarkowski 2015) – również w zakresie kształtowania ergonomiczności interakcji OS-RUiES. Natomiast trzeci powód związany jest ze zmianami technologicznymi i rozwojem informatyki (Zgapa.pl), które umożliwiły upowszechnienie wykorzystania komputerów osobistych. Przy czym, rozwój technologii informatycznej związany jest ze zmianą metod komunikacji pomiędzy użytkownikiem a urządzeniem, a także z projektowaniem i użytkowaniem urządzeń sterowniczych o zróżnicowanych charakterystykach cech. Powyższe konstatacje potwierdzają badania Szmigielskiej i współpracowników wskazujące, że osoby starsze mają problemy w użytkowaniu komputerów osobistych. Do najczęstszych trudności zalicza się m. in. niewłaściwe użytkowanie urządzeń sterowniczych tj. mysz komputerowa, czy ekran dotykowy oraz opanowanie licznych funkcji. Problemy pojawiają się także z nadmierną liczbą możliwości opcji wyboru, zbyt małymi przyciskami lub literami elementów ekranów, obcą terminologią, zrozumieniem symboli, skomplikowanymi instrukcjami, niewyraźnymi kolorami i nieporęcznością urządzeń (Szmigielska, Bąk i Jaszczak 2012). Również Oehl, Dahlmanns i Sutter podkreślają, że dziedzina HCI często rzuca wyzwanie ludzkiemu systemowi motorycznemu. Uważają oni również, że należy przewidzieć projekt urządzeń zapewniających wydajną i skuteczną interakcję z urządzeniem (Oehl, Dahlmanns i Sutter 2013). Jest to ważne również z tego powodu, że soby starsze częściej, niż osoby młode wskazują na konieczność interakcji z komputerami o wysokim poziomie ergonomiczności (Pohlmeyer, Machens i Blessing 2010).Problemy w interakcji OS-RUiES od strony użytkowników wynikają m. in. z konieczności zapamiętania przez osoby starsze sekwencji czynności dla nich nieintui-

cyjnych, wymagającej precyzji sterowania i trudnych lub niemożliwych do wykonania z powodu dysfunkcji psychomotorycznych. Efektem tego jest fizyczne wykluczenie zawodowe i społeczne osób starszych (Czapiński, Panek 2009). Z powodu wymienionych trudności pracodawcy chętniej inwestują w młodsze osoby (Wiśniewski 2009).

Dobór ergonomicznie pożądanego typu i charakterystyk cech RUiES podejmowany jest m. in. w procesie projektowania ergonomicznego. Proces ten polega na podejmowaniu działalności wobec systemów, dla których dąży się do zapewnienia sprawności i efektywności, przy zachowaniu odpowiedniego poziomu komfortu i bezpieczeństwa użytkownika. Jednocześnie wykorzystując w optymalnym stopniu zalety użytkownika (Rosner 1985; Wickens i in. 2015). Analiza metod i podejść doboru i projektowania predysponowanych do kształtowania RUiES o wysokim poziomie ergonomiczności interakcji z osobami starszymi, pozwala na stwierdzenie, że w dużej mierze narzędzia te opracowane są w oparciu o bardzo ogólne zasady (Goldsmith 2000), rozwinięte do kryteriów konstrukcyjnych (Branowski, Zabłocki 2006). Jednak nadal posiadających znaczny stopień intuicjonizmu. Ponadto polegają na interpolowaniu zasad generalnych ze studiów przypadku (Butlewski M., Tytyk 2008; Jasiak A. Swereda 2009). Zdaniem Butlewskiego istnieje chaos metodologiczny w zakresie metod projektowania ergonomicznego, który nie został uporządkowany (Butlewski 2018).

Pomimo rozróżnienia na projektowanie ergonomiczne i projektowanie techniczne należy zauważyć, że zgodnie z kryterium celowości nie realizuje się innego projektowania, niż ergonomiczne (Butlewski 2018). Wynika to z celu projektowania jakim jest zaspokajanie potrzeb ludzi. Projektowanie jest często procesem złożonym i przez to trudnym do wykonania. Problemy, które występują w procesie projektowania często dotyczą sprzecznych celów projektowych oraz rozpoznania zakresu i charakteru wspomagania projektanta (Butlewski 2018). Dlatego do wyników projektowania nie należy stosować miary optymalizacji, a raczej najbardziej satysfakcjonującej dla decydenta (Butlewski 2018). Cele, zakres i charakter projektowania zależy m. in. od liczby elementów i relacji pomiędzy mini składającymi się na projektowany system oraz wiedzy na ich temat. Dlatego projektowanie systemów C-M-O może wiązać się z częstym dokonywaniem wyboru przy niepełnej lub niepewnej informacji. Problem ten występuje również na etapie użytkowania, w sytuacji wyboru urządzenia przez użytkownika. Dlatego, w cyklu życia systemu antropotechnicznego można określić dwa etapy wymagające wspomagania kształtowania RUiES.

Problem projektowania przy niepełnej, czy niepewnej informacji częściowo rozwiązuje projektowanie wyrobów wariantowych z zastosowaniem systemów eksperckich, co dodatkowo jest korzystne dla kastomizacji produkcji[1] (Tiihonen i in. 2003). Systemy te opierają się o techniki modelowania parametrycznego (Zawadzki 2016) nazywane również modelami autogenerującymi (Skarka 2009), które umożliwiają modyfikacje charakterystyk cech dowolnego obiektu technicznego (Zawadzki 2016) przy ustrukturalizowanych danych wejściowych i wyjściowych. Budowa modelu autogenerującego jest w praktyce zadaniem skomplikowanym oraz pracochłonnym ze względu na brak zasad budowy takich modeli (Zawadzki 2016). Ich opracowanie wymaga odpowiednich kwalifikacji z zakresu stosowania funkcji komputerowych systemów wspomagania, programowania oraz metod wspomagających przetwarzanie wiedzy (Kania, Ferdynus 2011). Problemy w pozyskiwaniu i implementacji wiedzy sprawia-

[1] Kastomizacja oznacza produkcję dla indywidualnego klienta. (Dudziak i inni 2014).

ją, że modele autogenerujące budowane są zazwyczaj w sposób przypadkowy i doraźny. Dlatego właściwe podejście do budowy takich rozwiązań powinno opierać się o:

1. analizę i stosowanie wybranych narzędzi z zakresu inżynierii wiedzy (Skarka 2007),
2. analizę ergonomiczności interakcji w systemach C-M-O.

Specjalistyczne programy komputerowe oferują coraz więcej udogodnień, szczególnie w zakresie wprowadzania danych oraz przeglądania wyników, lecz nadal funkcjonują na podstawie z góry określonych algorytmów. W celu dokonywania wyboru przy niepełnej lub niepewnej informacji wynika potrzeba stosowania mechanizmów umożliwiających rozpoznanie klas przynależności i zależności pomiędzy rozpatrywanymi elementami (Butlewski 2018), a w konsekwencji wspomagającymi dobór pożądanych rozwiązań. W podejmowaniu decyzji o informacji niepełnej lub niepewnej w projektowaniu zorientowanym na preferencje użytkownika pomocne są metody i techniki sztucznej inteligencji (Czapczuk, Dawidowicz i Piekarski 2015) stosowane w systemach ekspertowych i mechanizmach uczenia.

W podjętej problematyce niedostateczna wiedza i poziom złożoności wynikający z często sprzecznych relacji pomiędzy zmiennymi uzasadnia badania w zakresie preferencji i charakterystyki cech RUiES w celu opracowania hybrydowego systemu ekspertowego. Na podstawie analizy problemu, literatury przedmiotu i rezultatów badań oceniono, iż w doborze spersonalizowanym typów i charakterystyk cech RUiES skuteczny będzie hybrydowy system ekspertowy składający się z drzew klasyfikacyjnych i rozmytej mapy kognitywnej z uczeniem nadzorowanym i nienadzorowanym. Przy zastosowaniu przyjętego podejścia uzyskano narzędzie do przewidywania szeregu zmiennych analizowanego zagadnienia. Zmienne te reprezentowane są konceptami mapy FCM i regułami wnioskowania klasyfikacyjnego.

Cele, zagadnienia i struktura rozprawy

W odpowiedzi na postawiony problem badawczy sformułowano cel główny rozprawy, którym jest **opracowanie metody wspomagania doboru typu i charakterystyk cech RUiES względem indywidualnych preferencji OS.** Ponadto w rozprawie przyjęto cele poznawcze, które odpowiadają postawionym pytaniom badawczym PB1-PB4. Natomiast cele szczegółowe rozprawy dotyczą analizy zagadnień literatury oraz badań empirycznych do opracowania HSE. Opracowana metoda powstała w wyniku metodyki wynikającej z realizacji celów szczegółowych. Efekty realizacji celów szczegółowych przedstawiono w kolejnych rozdziałach rozprawy. Rozprawę podzielono na pięć rozdziałów i pięć etapów realizacji (tab. 1).

Tab. 1. Struktura rozprawy
Źródło: opracowanie własne

L.p.	Zagadnienie	Cel szczegółowy	Rozdział rozprawy	Pytanie badawcze	Etap rozprawy
1.	Opracowywanie koncepcji i zakresu pracy	1. Określenie celu i zagadnień rozprawy, problemu naukowego i założeń oraz zakresu badań	Wprowadzenie	-	Koncepcyjny
2.	Projektowanie interfejsu C-M-O; zmienne w modelowaniu interakcji	2. Określenie zmiennych preferencyjnych OS w doborze RUiES 3. Określenie charakterystyk cech RUiES	Rozdział 2	PB1	Poznawczo-projektowy

3.	Ocena ergonomiczności interakcji OS-RUiES	4. Określenie kryteriów ergonomicznych w projektowaniu i doborze RUiES 5. Wybór miernika oceny ergonomiczności 6. Wybór testów oceny ergonomiczności 7. Opracowanie metody oceny ergonomiczności	Rozdział 1	PB2	
4.	Systemy ekspertowe i techniki sztucznej inteligencji	8. Przegląd podejść, metod i technik sztucznej inteligencji 9. Wybór podejścia do budowy hybrydowego systemu ekspertowego	Rozdział 3	PB4	
5.	Metody doboru typu i charakterystyk cech RUiES z uwzględnieniem preferencji OS w interakcji człowiek-RUiES	10. Określenie danych rzeczywistych dotyczących ergonomiczności interakcji OS-RUiES 11. Określenie oddziaływania zmiennych preferencyjnych na przewidywanie ergonomicznie pożądanych cech RUiES 12. Określenie oddziaływania zmiennych preferencyjnych na cechy obiektów technicznych w aspekcie ergonomiczności interakcji OS-RUiES	Rozdział 5	PB3	Badawczy
		13. Opracowanie HSE do wspomagania doboru i projektowania RUiES	Rozdział 4	-	Projektowy
6.	Podsumowanie pracy	14. Podsumowanie realizacji pracy 15. Wskazanie dalszych kierunków prac badawczych	Podsumowanie	-	Podsumowujący

Rozprawę zakończono spisem bibliografii, spisem rysunków i tabel oraz załącznikiem elektronicznym. W załączniku znajdują się opisy modeli i reguł bloków wnioskowania HSE, rezultaty badań oraz aplikacja HSE i moduł uczenia nienadzorowanego FCM.

Realizację niniejszej rozprawy przeprowadzono w oparciu o działania w ramach dwóch projektów badawczych wspierających rozwój młodych naukowców (DS MK) finansowanych przez Wydział Inżynierii Zarządzania Politechniki Poznańskiej:

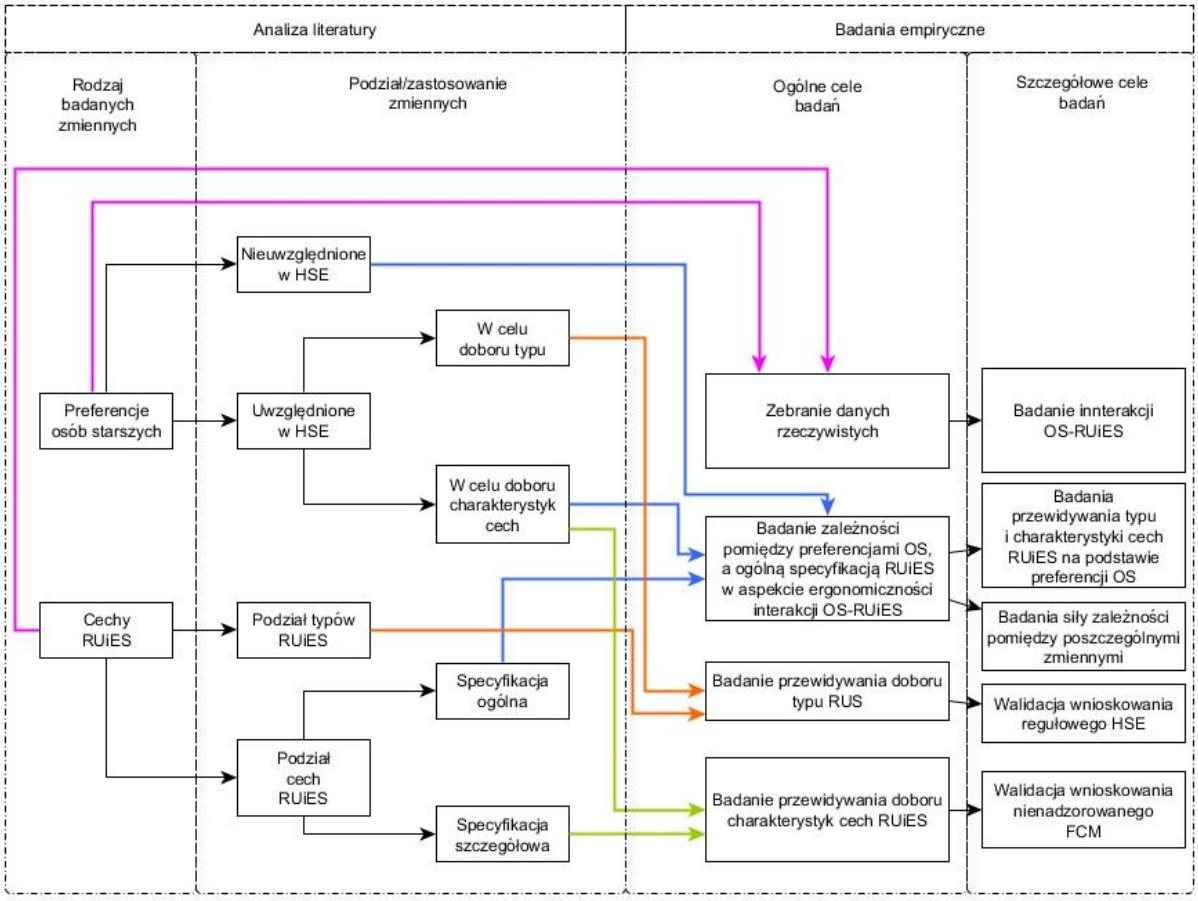
1. Analiza podstaw do projektowania ergonomiczności urządzeń ręcznych dla osób starszych (projekt numer: 11/141/DSMK/0557),
2. Rozwijanie narzędzi komputerowych wspomagających dobór interfejsów aktywizujących osoby o zmniejszonej sprawności (projekt numer: 11/141/DSMK/0583).

W projekcie pierwszym przeprowadzono przegląd literatury z zakresu charakterystyki osób starszych, zasad i wymagań ergonomii w projektowaniu i doborze RUiES oraz metod i testów oceny ergonomiczności możliwych do zastosowania w omawianej problematyce. Ponadto w projekcie opracowano koncepcję metody i metodykę osiągnięcia celu pracy. Celem drugiego projektu było wdrożenie podstaw teoretycznych, opracowanie i zbadanie poprawności założeń metody. Założenia projektu drugiego wskazały konieczność rozwinięcia analizy podstaw teoretycznych z zakresu sztucznej inteligencji i systemów ekspertowych oraz

typów RUiES i elementów otoczenia systemu składających się na interakcje w komunikacji człowiek-komputer.

Proces badawczy

Badania empiryczne przeprowadzono względem poszukiwanych zależności pomiędzy przyjętymi na podstawie analizy literatury zmiennymi niezależnymi i zależnymi. Za zmienne niezależne przyjęto preferencje osób starszych, a zmienne zależne obejmowały ogólne charakterystyki cech RUiES. Zmienne ze względu na zastosowanie i ogólne cele badań podzielono na osiem grup (rys. 2). Zakres badań obejmował takie zmienne preferencyjne jak doświadczenie użytkowe z określonym urządzeniem, rozmiar preferowanych urządzeń, typ interfejsu (urządzeń), dolegliwości zdrowotne i cechy antropometryczne kończyn górnych. W badaniach uwzględniono również preferencje wieku i płci osób starszych oraz klasy doświadczenia użytkowego (doświadczenie małe, średnie lub duże), których jednak jako zmiennych preferencyjnych nie zastosowano w projektowaniu HSE. Natomiast zmiennymi preferencyjnymi pominiętymi w badaniach były preferencje dotyczące ręczności i zdolności widzenia oraz preferencja dotycząca oczekiwanego poziomu ergonomiczności interakcji OS-RUiES.



Rys. 2. Zakres badań
Źródło: Opracowanie własne

Zmiennymi preferencyjnymi, których szczegółowo nie uwzględniono zarówno w badaniach, jak i w projektowaniu HSE były zdolności motoryczne i kognitywne. Zmienne te określono jako „czarną skrzynkę", a ich uwzględnienie stanowi kierunek dalszych badań.

Ogólne cele badań podzielono na szczegółowe cele, które przeprowadzono przy zastosowaniu różnych metod i narzędzi badawczych (tab. 2).

Tab. 2. Zastosowane metody i narzędzia badawcze
Źródło: Opracowanie własne

L.p.	Szczegółowy cel badań	Metoda i narzędzie badawcze
1.	Badanie interakcji OS-RUiES	Metoda case study; badania stanowiskowe: procedura badań opisana w podrozdziale 6.2.1.; wywiad poszerzony; pomiar cech antropometrycznych według norm PN-EN 547-3+A1:2010 i PN-EN ISO 7250:2005; Test 1 HSE; przyjęta w rozprawie wielokryterialna ocena ergonomiczności interakcji OS-RUiES; analiza porównawcza
2.	Badania prognozowania typu i charakterystyk cech RUiES na podstawie preferencji OS	Metody statystyczne: współczynnik korelacji r-pearsona; analiza porównawcza
3.	Badania siły zależności pomiędzy poszczególnymi zmiennymi	Excel: tabele przestawne; metody statystyczne: analiza odchyleń wskaźników; klasyczna miara zmienności: wariancja – miara względna i bezwzględna zmienności

W kontekście przyjętego problemu badawczego i opracowanej metody w rozprawie sformułowano definicje pojęć (tab. 3) i przyjęto założenia badawcze.

Tab. 3. Przyjęte definicje
Źródło: Na podstawie przytoczonych źródeł

Pojęcie	Rozwinięcie i przyjmowane znaczenie
Opcja preferencji	Pożądana przez użytkownika i występująca cecha członów systemu C-M-O określająca warunki interakcji OS-RUiES
Osoba starsza (OS)	Osoba to wg WHO osoba w wieku 60 lat i więcej, jednak ze względu na płynność tej granicy (od 45 roku życia zaczyna się okres przedstarczy (Duda 2013)) pojęcie to traktowane będzie w sposób rozmyty (Butlewski 2018)
Urządzenie sterownicze	Urządzenie, w skład którego wchodzi co najmniej jeden ręczny element sterowniczy, za pomocą którego użytkownik za pośrednictwem fizycznego kontaktu kończyn górnych przekazuje informacje do komputera w celu wykonania zadania sterowniczego
Ręczny element sterowniczy	Fizyczny, mechaniczny lub optyczny odrębny lub jako podzespół ręcznego urządzenia sterowniczego obiekt techniczny spełniający funkcję regulatora określonych sygnałów przekazywanych przez operatora do urządzenia komputerowego
Zadanie sterownicze	Przyjęto za definicją w PN-EN 894-3+A1: 2010 jako czynność wynikająca z celu działania z wykorzystaniem RUS i/ lub RES

Poszczególne założenia badawcze dotyczyły tych problemów badawczych i zagadnień, które przekroczyły zakres pracy. Zagadnienia badawcze przedstawiono w rozdziałach 1 2 i 4.

1. Wielokryterialna ocena ergonomiczności interakcji OS-RUiES

1.1. Ocena ergonomiczności interakcji OS-RUiES

Opracowanie metody doboru i projektowania RUiES dedykowanym osobom starszym poprzedza uwzględnienie oceny oddziaływania badanych zmiennych na interakcję pomiędzy członem biologicznym a technicznym układu sterowania. Ocena taka powinna opierać się na wskaźnikach ergonomiczności tj. kryteria ergonomii, błędy w interakcji użytkownik-obiekt techniczny i wskaźniki jakości regulacji. Źródłem tych wskaźników są m. in. zasady i wymagania ergonomii. Potrzebę taką uzasadniają np. Beakley i Chilton (Berkley, Chilton 1974), którzy uważają, że projektowanie w sensie ogólnym przyjmuje się jako twórczy proces decyzyjny dotyczący zaspokajaniu potrzeb ludzi. Stwierdzenie to rozwija Butlewski twierdząc, że proces dostosowywania obiektów technicznych nieuwzględniający aspektów ergonomii jest niekompletny i wynikowo zły (Butlewski 2018).

Ergonomiczność odnosi się do systemu, który tworzy człowiek i środowisko techniczne, przy czym wartościuje ona stopień doskonałości względnej (Kolman 2009), w jakim system techniczny spełnia wymagania człowieka, z których część ma charakter zindywidualizowany (Butlewski 2018). Zatem ergonomiczność służy do poszukiwania stanu systemu C-M-O spełniającego wielowymiarowy dobrobyt systemu gwarantujący użytkownikowi osiąganie wysokiej sprawności i bezbłędności bez naruszenia jego homeostazy (Butlewski 2018). Ergonomiczność to w najogólniejszym ujęciu jakość współdziałania człowieka z obiektem technicznym (Słowikowski 2000b). Inną definicję ergonomiczności podaje Tytyk przyjmując, że jest to stopień spełnienia określonych kryteriów oceny zawartych w normach i literaturze przedmiotu, a także wyrażonych w opiniach użytkowników (Tytyk 2013). Niestety podjęte próby certyfikacji pojęcia ergonomiczności dotychczas się nie powiodły (Butlewski 2018).

Ergonomiczność jest szacowana przyjętymi kryteriami i miarami. Ocena ergonomiczna możliwa jest tylko w sytuacji, gdy znane są cechy i wymagania populacji użytkowników (Horst, Horst 2011). Efektem końcowym oceny ergonomicznej jest określenie stopnia spełniania wymagań ergonomii przez badany system antropotechniczny, czyli określenie jego ergonomiczności. Ocenie ergonomicznej podlegają wszystkie zmienne systemu antropotechnicznego, od których zależy jakość współdziałania człowieka i obiektu technicznego. Natomiast kryterium ergonomiczne stanowi wyznacznik pożądanej cechy interakcji. Podstawą do wyznaczania kryteriów ergonomicznych są zasady i wymagania ergonomii (Horst, Horst 2011).

1.2. Wskaźniki oceny ergonomiczności interakcji OS-RUiES

1.2.1. Zasady i wymagania ergonomii

Zasady ergonomii to reguły dotyczące projektowania lub diagnozy ergonomicznej. Źródłem zasad ergonomii są rezultaty badań naukowych, jak i bieżący stan wiedzy. Natomiast

normy, publikacje naukowe i dokumenty prawne[2] stanowią aktualnie obowiązujące literaturowe źródło tych zasad. Zasady mają charakter ogólny wskazując sposób dopasowania obiektów technicznych i warunków pracy z uwzględnieniem możliwości, umiejętności, ograniczeń i potrzeb człowieka. Chodź zdarza się, że zasady te określa się dla użytkowników danego obiektu technicznego (Horst, Horst 2011), to należy uznać to za niewłaściwe oddzielenie członu technicznego od reszty systemu C-M-O. Dlatego poprawniej jest mówić, że zasady ergonomii są wspólne dla wszystkich użytkowników w danym systemie antropotechnicznym. Zgodnie z normą PN-EN 614-1+A1:2009 zasady te grupuje się ze względu na:

1. wymiary ciała,
2. przyjmowane pozycje ciała,
3. wykonywane ruchy,
4. stosowane siły,
5. wydolność umysłową.

Wymagania ergonomii to szczegółowe wytyczne dotyczące systemów C-M-O, a ich źródłem są zasady ergonomii. Wymagania ergonomii stosuje się m. in. w uporządkowaniu legislacyjnym[3]. W wyniku czego w Polsce i Unii Europejskiej ustawodawca zobowiązuje uwzględnianie wymagań ergonomii w przydziale stanowisk pracy do pracownika. Przydział ten odbywać się powinien poprzez właściwy dobór i projektowanie przestrzeni i elementów wykorzystywanych w pracy (Horst, Horst 2011). Wymagania ergonomii od zasad odróżnia zorientowanie na indywidualnego użytkownika danego systemu C-M-O. Wymagania te dotyczą wszystkich obszarów aktywności użytkowników i uwzględniają aspekt identyfikacji ich potrzeb, względem których są formułowane. W tym kontekście wyróżnia się wymagania ilościowe i jakościowe, które wynikają z cech mierzalnych i niemierzalnych systemu antropotechnicznego. Podział ten skutkuje trudnościami w formułowaniu oceny wielokryterialnej wymuszając agregację różnych wartości ocen.

Zasady ergonomii związane z projektowaniem i doborem RUiES to m.in. (Horst, Horst 2011; PN-EN 894-1+A1:2010; PN-EN 894-3+A1:2010; PN-EN 614-2+A1:2010; PN-EN ISO 6385:2016-12):

1. zasady podziału zadań pomiędzy użytkownikiem, a obiektem technicznym,
2. zasady ergonomii w kształtowaniu środków pracy w zakresie dostosowania obiektów technicznych do wymiarów ciała,
3. zasady ergonomii w projektowaniu sił używanych przez człowieka,
4. zasady ergonomii w projektowaniu wydolności umysłowej,
5. ergonomiczne zasady projektowania pozycji cała,
6. zasady ekonomiki ruchów roboczych,
7. zasady racjonalnego wykonywania ruchów i wysiłków,
8. ergonomiczne zasady projektowania ruchów ciała,
9. ergonomiczne zasady doboru i rozmieszczenia elementów sterowniczych,
10. ergonomiczne zasady doboru ręcznych elementów sterowniczych,

[2] W Polsce obowiązuje m. in. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 1 grudnia 1998 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy na stanowiskach wyposażonych w monitory ekranowe (Dz.U. 1998 nr 148 poz. 973).

[3] Np. Dz.U. 1998 nr 148 poz. 973.

11. zasady bezpieczeństwa i ergonomii w projektowaniu elementów informacyjnych i sygnalizacyjnych,
12. zasady projektowania i doboru wskaźników wizualnych.

Ogólne zasady doboru i rozmieszczenia elementów sterowniczych wskazują na to, że (PN-EN 614-1+A1:2009; PN-EN 894-1+A1: 2010; Horst, Horst 2011; Juliszewski, Kiełbasa i Trzyniec 2012):

1. ich rodzaj, konstrukcja i rozmieszczenie powinny odpowiadać zadaniu sterowniczemu,
2. elementy sterownicze powinny być tak zaprojektowane i rozmieszczone, by narażenie zdrowia i bezpieczeństwa wynikające z zagrożenia wypadkami było jak najmniejsze,
3. w środkach pracy trzymanych ręcznie ważniejsze elementy sterownicze powinny być tak rozmieszczone, aby podczas wykonywania zadania roboczego nie pogarszała się jakość chwytu,
4. droga i opór ruchu elementów sterowniczych powinny być dobierane do:
   4.1. wykonywanego zadania,
   4.2. właściwości fizjologicznych operatora,
   4.3. danych biomechanicznych i cech antropometrycznych operatora,
5. funkcja elementu sterowniczego powinna być:
   5.1. łatwo rozpoznawana,
   5.2. rozróżnialna (powinna się wyróżniać),
6. pozycja elementów sterowniczych i ich ruchy powinny być zgodne z efektami działania i/lub informacjami towarzyszącymi,
7. elementy sterownicze, a w szczególności elementy włączające, powinny być projektowane tak, aby nie mogły być uruchomione w sposób niezamierzony,
8. jeśli operator użytkuje maszyny podobnego typu lub o podobnym działaniu, wszystkie one powinny być wyposażone w możliwie tak samo rozmieszczone elementy sterownicze i informacyjne – możliwość użytkowania w ten sam sposób różnych urządzeń,
9. tablice urządzeń sterowniczych powinny być tak zaprojektowane pod względem kształtu, położenia i sposobu blokowania, aby zapobiegać błędom,
10. ilość elementów sterowniczych powinna być ograniczona do minimum,
11. elementy sterownicze powinny być tak uporządkowane, aby posługiwanie się nimi było:

11.1.bezpieczne,
11.2.jednoznaczne,
11.3.funkcjonalne.

Wymienione zasady doboru i rozmieszczenia elementów sterowniczych opracowano uwzględniając (Horst, Horst 2011):

1. właściwości fizjologiczne (morfologiczne i biomechaniczne) tych części ciała, które z nimi współdziałają,
2. możliwości człowieka wynikające z szybkości i dokładności oraz obciążeń siłowych przewidzianych do ich użytkowania i obsługi.

Wśród kryteriów ergonomicznych wskazać należy również zasady optymalnego rozmieszczenia urządzeń sterowniczych z uwagi na ich ważność, częstości i kolejność użycia

oraz grupowanie urządzeń związanych funkcyjnie jakie sformułował McCornick (McCormick 1964). Zasady te dotyczą:

1. pełnionej funkcji – grupowanie elementów pełniących podobną funkcję,
2. ważności – grupowanie elementów zgodnie z ich znaczeniem dla danego działania, najważniejsze elementy w polu widzenia i optymalnej strefie ruchów kończyn górnych,
3. optymalnego umiejscowienia – umieszczenie elementów według kryterium wygody, dokładności, szybkości, siły itp.,
4. kolejności użycia – umieszczenie jak najbliżej siebie elementów używanych często bezpośrednio po sobie,
5. częstości użycia – umieszczanie najczęściej używanych elementów w najdogodniejszych strefach.

Wymienione zasady znajdują zastosowanie m. in w formułowanych zaleceniach ergonomicznych. W literaturze przedmiotu znaleźć można wiele teoretycznych zaleceń ergonomicznych w postaci opracowanych list cech urządzeń preferowanych przez osoby starsze. Spośród tych zaleceń można wymienić opracowania m. in. Asano, i in. (Asano i in. 2007), Czaja i Lee (Czaja, Lee 2007), Matsunaga i Nagano (Matsunaga, Nagano 2005), Kim i wsp. (Kim 2007), Kurniawan (Kurniawan 2008), Lin, Hsieh i Shiang (Lin, Hsieh i Shiang 2009), Osman, i wsp. (Osman, Maguire i Tarkiainen 2003), Pattison i Stedmon (Pattison, Stedmon 2006) oraz Ziefle i Bay (Ziefle, Bay 2004). Wiele z tych wytycznych dotyczy projektowania urządzeń sterowniczych i komputerów mobilnych tj. telefony komórkowe, jednak nie ograniczają się one jedynie do tego zastosowania. Przykładowo Fisk i współpracownicy (Fisk 2018) oraz Nichols i współpracownicy (Nichols, Rogers i Fisk 2006) przedstawili zalecenia ogólne znajdujące zastosowanie do projektowania różnych urządzeń. Zhou, Rau i Salvendy przedstawiają przegląd zagadnień związanych z podejściami projektowania urządzeń sterowniczych i komputerów podręcznych dla osób starszych (Zhou, Rau i Salvendy 2012). Wisniewski i Polak-Sopinska przedstawiają zasady oceny interfejsów gestykularnych i elementów interfejsów GUI (Wisniewski i Polak-Sopinska 2009). W odpowiednim projektowaniu, doborze i rozmieszczeniu RUiES pomocne mogą okazać się również zasady i zalecenia Beniell'ego (Lewandowski 1995), czy Słowikowskiego (Słowikowski 2000b). Chodź nie dotyczą one bezpośrednio urządzeń sterowniczych występujących w komunikacji człowiek-komputer, a jedynie urządzeń sterowniczych stosowanych np. w maszynach i pojazdach. Przy czym zalecenia Beniell'ego dotyczą oddziaływania formy i rozmiaru elementów sterowniczych na ergonomiczność interakcji, a Słowikowskiego relacji rozmiaru elementów sterowniczych na ich wyczuwalność przez użytkownika. Nie bez znaczenia w przypadku kształtowania RUiES dla osób starszych będą także zasady projektowe opracowane dla osób z niepełnosprawnościami (Branowski, Zabłocki 2006). Zauważyć można, że kształtowanie RUiES dla osób starszych z wykorzystaniem zasad ergonomii jest procesem bardzo trudnym. Spowodowane jest to przede wszystkim znaczną ogólnością formułowanych zasad i sprzecznymi zaleceniami, co potwierdzają spostrzeżenia m. in. Kim i in. (Kim 2007). Sytuację komplikuje zróżnicowanie cech, wymagań i preferencji osób starszych, które w ocenie autora[4] uniemożliwia zastosowa-

[4] Ocena na podstawie rezultatów z pracy (Wróbel 2018).

nie zasad i wymagań ergonomicznych do szerszej grupy użytkowników. Tym samym predysponując podejście spersonalizowane.

Zgodnie z normami (PN-EN 614-2+A1: 2010; PN-EN 894-1+A1: 2010; PN-EN 894-3+A1: 2010) projektowanie i dobór RUiES należy rozpocząć od zagadnień związanych z podziałem zadań sterowniczych pomiędzy użytkownikiem, a obiektem technicznym. W systemie sterowania OS-RUiES w komunikacji człowiek-komputer podział ten jest dość oczywisty i nie wymaga precyzowania – inną kwestią są rodzaje zadań wyższego rzędu, jakie użytkownicy RUiES realizują za ich pośrednictwem[5]. W aspekcie podziału zadań sterowniczych, jak i bezpośrednio z punktu widzenia ergonomii, skuteczności i efektywności pracy oraz bezpieczeństwa systemu szczególnie istotne są wymagania ogólne wynikające z zadania tj. (PN-EN 894-3+A1: 2010):

1. wymagania dokładności nastawiania RES (dokładność),
2. wymagania prędkości nastawiania (prędkość),
3. wymagania dotyczące siły lub momentu obrotowego (siła).

Wymienione wymagania wpływają na charakterystyki cech wyznaczające zakres funkcjonalności urządzenia (Butlewski i in. 2014). Wymagania ogólne uzupełniają tzw. wymagania szczegółowe, którymi są (PN-EN 894-3+A1: 2010):

1. potrzeba sprawdzenia wzrokiem nastawienia RES (sprawdzenie wzrokiem),
2. potrzeba sprawdzenia nastawienia dotykiem (sprawdzenie dotykiem),
3. potrzeba unikania nieumyślnego zadziałania (nieumyślne zadziałanie),
4. potrzeba unikania ześlizgnięcia się ręki z RES (tarcie) – siła ta jest jedynie nieznacznie większa od ciężaru przedmiotu i w przypadku osób starszych przyjmuje wartości większe, niż u osób młodszych, co tłumaczy się mniejszą koordynacją podczas podnoszenia (Gilles, Wing 2003), a także zmniejszonym poziomem pocenia, co wpływa zwiększająco na współczynnik tarcia (Comaish, Botoms 1971; Butlewski i in. 2014),
5. potrzeba użycia rękawic przez operatora (użytkowanie w rękawicach),
6. potrzeba łatwego czyszczenia (łatwość czyszczenia).

W literaturze przedmiotu wyróżnia się również inne nie bez znaczenia wymagania ergonomii. Między innymi związane ze sposobem wprowadzania informacji (Harvey 2011), długością ruchów sterowniczych oddziaływujących na ich dokładność opisanych prawem Fittsa (Epps 1986; Grobelny, Karwowski i Drury 2005), czy użytkowaniem bezwzrokowym (McCormick 1976). Jakość realizacji interakcji może zostać także opisana z punktu widzenia składników niematerialnych, a co za tym idzie może podlegać wymaganiom takim jak użyteczność, elastyczność uczenia się, możliwość dostosowania, obserwowalność, solidność (Prussak 2006; Nielsen 1994). Ponadto wraz z wiekiem spada zdolność wykonywania wielu funkcji jednocześnie, zdolność zapamiętywania oraz umiejętność rozróżniania. Powoduje to zazwyczaj zmniejszone zapotrzebowania na liczbę wykorzystywanych funkcji (Jia Zhou 2012). Stąd pożądana może okazać się możliwość ukrycia niepotrzebnych lub rzadko używanych funkcji (Butlewski i in. 2014). Zwłaszcza, że jak zauważają Kang i Yoon wiele funkcji utrudnia odróżnienie tej preferowanej od innych (Kang, Yoon 2008). Problem ten dotyczy również liczby i zróżnicowania elementów sterowniczych, których duża liczba utrudnia odnalezienie tej właściwej. Inne uszczegóławiające w wielu zakresach wymagania dotyczą mini-

[5] Zagadnienie szerzej omówiono w podrozdziale 2.1.

malizacji częstotliwości i długotrwałości wykonywana zadań sterowniczych oraz zapewnienie właściwej pozycji ciała wynikającej z rozmieszczenia RUiES w przestrzeni pracy użytkownika (PN-EN 894-1+A1: 2010). Przede wszystkim przy uwzględnieniu optymalnego i maksymalnego zasięgu kończyn górnych. Powyższe problemy w użytkowaniu RUiES i związane z nimi wymagania osób starszych stanowią szeroki obszar badawczy przekraczający zakres pracy. Dlatego na podstawie ogólnych zasad i wymagań z zakresu ergonomii podjęto próbę uporządkowania wymagań do doboru i projektowania RUiES dla osób starszych (tab. 4).

Tab. 4. Wymagania ergonomii do doboru i projektowania RUiES dla osób starszych
Źródło: Na podstawie (Butlewski i in. 2014)

L.p.	Rodzaj wymagania	Wymagania ogólne	Szczegółowe wymagania – przykładowe proponowane cechy i właściwości użytkowe
1.	Antropometryczne	Uchwytność – odpowiednie wyprofilowanie do ręki użytkownika – zapewnienie stabilnego i wygodnego chwytu	Możliwie duża powierzchnia kontaktu RES z częścią dłoni, palcy i/lub opuszków palcy. Wyeliminowanie części uwierających dłoń i/lub palce.
		Dostępność – zdolność precyzyjnego wyboru elementu sterowniczego i możliwość dosięgnięcia bez przyjmowania wymuszonej pozycji ciała	Ręczne elementy sterownicze w bezpośrednim kontakcie z dłonią i palcami.
2.	Poznawczo-logiczne	Odporność na błędy użytkownika i możliwość ich korygowania – możliwość skorygowania niewłaściwej aktywacji RUS/RES	Prosta budowa i użytkowanie bez konieczności stosowania instrukcji obsługi. Swobodna zmiana ruchu i szybkie zablokowanie niewłaściwej aktywacji RUS/RES np. guzik blokady ostatniej aktywacji. Siła aktywacji zapobiegająca nieumyślne uaktywnienia RES.
		Łatwość użytkowania – intuicyjność sterowania – przewidywalność – zgodność z praktyką i szkoleniem	Prostota użytkowania bez konieczności stosowania instrukcji obsługi. Przełożenie intuicyjnego postrzegania i znanych wzorców działania na sposób aktywacji RUS/RES.
		Logiczność urządzenia – spójność z innymi urządzeniami – zasada grupowania	Zastosowanie zasad/wymagań McKornick'a: 1. pełniona funkcja – grupowanie elementów pełniących podobną funkcję, 2. ważności – grupowanie elementów zgodnie z ich znaczeniem dla danego działania, najważniejsze elementy w polu widzenia i optymalnej strefie ruchów kończyn górnych, 3. optymalnego umiejscowienia – umieszczenie elementów według kryterium wygody, dokładności, szybkości, siły itp., 4. kolejność użycia – umieszczanie jak najbliżej siebie elementów używanych często bezpośrednio po sobie, 5. częstości użycia – umieszczanie najczęściej używanych elementów w najdogodniejszych strefach.
3.	Sensoryczne	Widoczność funkcji elementu sterowniczego niezależnie od warunków oświetlenia – podświetlanie	System podświetlania ręcznych elementów sterowniczych umożliwiający zauważenie opisu i krawędzi ręcznego elementu sterowniczego w każdych warunkach oświetlenia.

		Łatwość rozpoznawania wzrokiem i dotykiem zastosowania elementu sterowniczego – rozróżnialność	Oddzielenie, opisanie, podświetlenie, zastosowanie innego materiału i koloru elementów sterowniczych. Różna faktura materiału. Widoczny bez konieczności przyjmowania wymuszonej pozycji ciała.
		Informacja zwrotna – potwierdzenie aktywacji elementu sterowniczego	Potwierdzenie aktywacji elementu sterowniczego sygnałem wizualnym, sygnałem dźwiękowym, wibracją i/lub odbiciem itp. – także w rękawiczkach.
		Wrażenia węchowe elementu sterowniczego	Materiały obojętne, niewytwarzające zapachów lub o przyjemnych zapachach (w odniesieniu do kultury społeczeństwa). Materiały neutralizujące nieprzyjemne i uciążliwe zapachy.
4.	Siłowe	Zmniejszenie sił niezbędnych do aktywacji urządzenia	Wymagania sił i momentów obrotowych normy wg normy PN-EN 894-3.
		Zmniejszona siła ścisku urządzenia ręką (odpowiedni poziom sił do współczynnika tarcia)	Siła aktywacji pozwalająca na utrzymanie elementu sterowniczego w dłoni lub palcach i nie powodująca nadmiernej siły ścisku (wg normy PN-EN 894-3) – zapobieganie ześlizgu dłoni i/lub palcy z elementu sterowniczego.
5.	Motoryczne	Prędkość nastawienia elementu sterowniczego	Prędkość zapewniająca wystarczającą dokładność wykonywania określonych zadań sterowniczych.
		Dokładność nastawienia elementu sterowniczego	Dokładność zapewniająca efektywne wykonanie zadania sterowniczego nadmiernie nie obniżająca prędkości sterowania – niewydłużająca nadmiernie czasu wyk. zad. sterowniczych.
		Częstotliwość i długotrwałość czynności sterowniczych	Ręczne elementy sterownicze możliwie mało absorbujące procesy poznawcze i wymagające możliwie małej siły aktywacji.
		Odpowiedni ciężar urządzenia i jego wywarzenie	Ciężar zapewniający intuicyjne wyczucie elementu sterowniczego, nieograniczający prędkości i dokładności sterowania oraz nie wywierający nadmiernej siły w celu aktywacji. Wyważenie stabilizujące element sterowniczy na płaszczyźnie roboczej.
		Obsługa alternatywna – brak możliwości użycia domyślnej ręki	Skuteczne wykonywanie zadań sterowniczych w sytuacji konieczności użycia ręki niedominującej (prawo- leworęczność).
		Stabilność elementu sterowniczego podczas jego aktywacji	Wyważenie zapewniające stabilność elementu sterowniczego na płaszczyźnie roboczej. Stópki stabilizujące i zapobiegające niezamierzonemu przemieszczeniu – nie dot. myszy komp..
		Możliwość używania urządzenia w warunkach ograniczających precyzję ruchu np. w rękawiczkach	Swobodne dojście do elementu sterowniczego, odpowiednia wielkość elementu sterowniczego i dostateczny odstęp między elementami sterowniczymi – uwzględnienie miar antropometrycznych. Faktura i materiał wyczuwalny przez rękawiczkę – zapewnienie rozpoznawalności. Faktura i materiał zapobiegający przypadkowemu poślizgowi i/lub charczeniu się rękawiczki.
6.	Estetyczno-emocjonalne	Odporność mechaniczna urządzenia	Materiały zapewniające trwałość elementów sterowniczych np. w sytuacji upadku z płaszczyzny roboczej.
		Łatwość czyszczenia wszystkich powierzchni	Materiały samoczyszczące lub ułatwiające usuwanie zabrudzeń.

			Eliminacja szczelin na łączeniach części i trudnodostępnych załamań kształtu urządzenia sterowniczego.
		Trwałość nadruku elementów informacyjnych	Materiały zapewniające (w całym cyklu życia wyrobu) trwałość nadruku elementów informacyjnych.
		Design – zastosowanie wzorce piękna, kultury i religii	Kształt elementu sterowniczego pozytywnie lub neutralnie odbierany w danej kulturze społecznej.

Sklasyfikowanie wymagań ogólnych i szczegółowych (tab. 4) daje podstawę do określenia następujących kwestii:

1. kryteriów oceny ergonomiczności interakcji OS-RUiES,
2. rodzajów błędów interakcji w antropotechnicznych systemach sterowania,
3. preferencji dotyczących pożądanego poziomu ergonomiczności interakcji OS-RUiES (definiujących poziomy dostosowania RUiES do zaleceń technicznych),
4. poziomów zaleceń technicznych dla RUiES,
5. charakterystyk cech RUiES odpowiadających preferencjom ergonomicznym.

Osiągnięcie zadawalającego poziomu ergonomiczności interakcji OS-RUiES poprzez projektowanie z uwzględnieniem jedynie wymagań ergonomii nie jest łatwe (Pohlmeyer 2009). Przytoczenie wymagań formułowanych przez poszczególnych autorów jak np. przez Scapin i Bastien (Scapin i Bastien, 1997) jest jedynie wynikowym fragmentem problemu (Butlewski i in. 2014). Wymagania ergonomii dla systemu C-M-O, a poprzez nie „preferowane" cechy RUiES mogą być sprzeczne, co może wpływać na zagadnienie optymalizacji cech (Pohlmeyer 2009). Przy czym słowo „preferowane" jest tu obligatoryjne, gdyż nie każde wymaganie ergonomii będzie oczekiwane i korzystne dla wszystkich użytkowników. Należy tutaj również zauważyć, że znaczna część wymagań będzie wynikała m. in. z zakresu funkcyjności systemu, w którym użytkowane jest określone urządzenie (Butlewski i in. 2014). Ponadto należy podkreślić, że część wymagań literaturowych jest nieadekwatna do omawianej problematyki np. wymagania sił i momentów obrotowych (tab. 4). Wynika to z dedykowania tych wymagań do klasycznych urządzeń sterowniczych tj. dźwignie, czy koła sterowe. Stanowi to pewną trudność w ich implementacji do omawianej problematyki, w tym ich wartościowanie – co może stanowić kierunek dalszych badań. W związku z tym, w pracy pominięto wartościowanie wymagań ergonomii w aspekcie oceny określonej interakcji OS-RUiES. W celu uwzględnienia w metodzie różnych poziomów ergonomiczności interakcji OS-RUiES opracowano pięciostopniowy podział preferencji dotyczącej ergonomiczności interakcji i odpowiadającym im zaleceń technicznych. W rezultacie klasyfikację preferencji dotyczących poziomu ergonomiczności wyznaczono jedynie na podstawie wniosków z literatury przedmiotu (tab. 4). Propozycję preferencji dla osób starszych i poziomów ogólnych wymagań ergonomii przekładających się na poziomy zaleceń technicznych dla RUiES przedstawiono w tabeli 5.

Tab. 5. Poziomy zaleceń technicznych do doboru i projektowania RUiES
Źródło: Opracowanie własne

Preferencja dot. ergonomiczności RUiES (na podstawie tab. 16)	Poziom zaleceń technicznych dla RUiES	Nr zal. (ZG)	Zalecenie techniczne RUiES odpowiadające wymaganiom ergonomii (tab. 4)
Bardzo mała	Poziom 1	1.	Zaleca się brak elementów urządzenia uwierających dłoń lub palce

Mała	Poziom 2	1.	Zaleca się brak elementów urządzenia uwierających dłoń lub palce
		2.	Zaleca się urządzenie sterownicze intuicyjne w użytkowaniu i zgodne ze znanymi innymi urządzeniami
		3.	Zaleca się urządzenie z odseparowanymi od siebie elementami sterowniczymi
		4.	Zaleca się urządzenie z elementami informacyjnymi elementów sterowniczych
		5.	Zaleca się urządzenie z elementami sterowniczymi o innej fakturze materiału względem obudowy
		6.	Zaleca się urządzenie z elementami sterowniczymi o innej kolorystyce, niż kolorystyka obudowy
Średnia	Poziom 3	1.	Zaleca się brak elementów urządzenia uwierających dłoń lub palce
		2.	Zaleca się urządzenie sterownicze intuicyjne w użytkowaniu i zgodne ze znanymi innymi urządzeniami
		3.	Zaleca się urządzenie z odseparowanymi od siebie elementami sterowniczymi
		4.	Zaleca się urządzenie z elementami informacyjnymi elementów sterowniczych
		5.	Zaleca się urządzenie z elementami sterowniczymi o innej fakturze materiału względem obudowy
		6.	Zaleca się urządzenie z elementami sterowniczymi o innej kolorystyce, niż kolorystyka obudowy
		7.	Zaleca się urządzenie z możliwością dostosowania zakresu czułości sensorów i zmiany przełożenia układu sterowania
		8.	Zaleca się urządzenie z elementami sterowniczymi umiejscowionymi bezpośrednio pod naturalnie położonymi palcami
		9.	Zaleca się urządzenie zapewniające swobodne dojście do wszystkich elementów sterowniczych bez dodatkowej zmiany ułożenia ręki
Duża	Poziom 4	1.	Zaleca się brak elementów urządzenia uwierających dłoń lub palce
		2.	Zaleca się urządzenie sterownicze intuicyjne w użytkowaniu i zgodne ze znanymi innymi urządzeniami
		3.	Zaleca się urządzenie z odseparowanymi od siebie elementami sterowniczymi
		4.	Zaleca się urządzenie z elementami informacyjnymi elementów sterowniczych
		5.	Zaleca się urządzenie z elementami sterowniczymi o innej fakturze materiału względem obudowy
		6.	Zaleca się urządzenie z elementami sterowniczymi o innej kolorystyce, niż kolorystyka obudowy
		7.	Zaleca się urządzenie z możliwością dostosowania zakresu czułości sensorów i zmiany przełożenia układu sterowania
		8.	Zaleca się urządzenie z elementami sterowniczymi umiejscowionymi bezpośrednio pod naturalnie położonymi palcami
		9.	Zaleca się urządzenie zapewniające swobodne dojście do wszystkich elementów sterowniczych bez dodatkowej zmiany ułożenia ręki
		10.	Zaleca się urządzenie o wyważeniu zapewniającym stabilność w normalnym trybie użytkowania
		11.	Zaleca się urządzenie ze stópkami antypoślizgowymi – nie dotyczy myszy komputerowej
Bardzo duża	Poziom 5	1.	Zaleca się brak elementów urządzenia uwierających dłoń lub palce
		2.	Zaleca się urządzenie sterownicze intuicyjne w użytkowaniu i zgodne ze znanymi innymi urządzeniami
		3.	Zaleca się urządzenie z odseparowanymi od siebie elementami sterowniczymi
		4.	Zaleca się urządzenie z elementami informacyjnymi elementów sterowniczych
		5.	Zaleca się urządzenie z elementami sterowniczymi o innej fakturze

			materiału względem obudowy
		6.	Zaleca się urządzenie z elementami sterowniczymi o innej kolorystyce, niż kolorystyka obudowy
		7.	Zaleca się urządzenie z możliwością dostosowania zakresu czułości sensorów i zmiany przełożenia układu sterowania
		8.	Zaleca się urządzenie z elementami sterowniczymi umiejscowionymi bezpośrednio pod naturalnie położonymi palcami
		9.	Zaleca się urządzenie zapewniające swobodne dojście do wszystkich elementów sterowniczych bez dodatkowej zmiany ułożenia ręki
		10.	Zaleca się urządzenie o wyważeniu zapewniającym stabilność w normalnym trybie użytkowania
		11.	Zaleca się urządzenie ze stópkami antypoślizgowymi – nie dotyczy myszy komputerowej
		12.	Zaleca się urządzenie z pogrupowanymi elementami sterowniczymi pełniącymi podobne funkcje
		13.	Zaleca się urządzenie z najważniejszymi elementami sterowniczymi w bezpośrednim polu widzenia
		14.	Zaleca się urządzenie z elementami sterowniczymi używanymi często po sobie w bliskiej odległości i właściwej kolejności

Przedstawioną propozycję poziomów zaleceń technicznych uporządkowano rozpoczynając od tych, które dotyczą ogólnych wymagań ergonomii niewymagających specjalistycznych badań i wiedzy. Grupę zaleceń kończą, te które zdefiniowano w oparciu o wymagania ergonomii wymagające szczegółowych badań i wiedzy dotyczących elementów systemu sterowania, w tym wykonywanych zadań sterowniczych. Przyjęto, że im wyższy poziom zaleceń technicznych tym dane urządzenie powinno spełniać zalecenia z niższych poziomów, jak i te dodawane do danego poziomu. Przytoczone wymagania (tab. 5) są zbyt ogólne by stanowić podstawę do doboru i projektowania RUiES, dlatego stanowią one jedynie uzupełnienie dla grupy charakterystyk cech, które przedstawiono w podrozdziale 2.4.

1.2.2. Błędy w interakcji OS-RUiES

Liczne badania wykazują, że w podejściu antropocentrycznym osiąga się wyższą skuteczność i niezawodność systemu C-M-O, niż w podejściu technocentrycznym (Sławińska 2008). Skuteczność systemu C-M-O wyznacza m. in. jego efektywności. Dlatego im wyższa ergonomiczność, tym wyższa skuteczność interakcji, a tym samym mniejsze obciążenie biologiczne i wyższa efektywność wykonywanych czynności manualnych i zadań sterowniczych. Jednym z wskaźników ergonomiczności interakcji są błędy w interakcji człowiek-obiekt techniczny. Natomiast zakres błędów interakcji jest jednym z czynników wyznaczających intuicyjną interakcję. Termin intuicyjna interakcja ma wiele konotacji. Intuicyjny interfejs ma być łatwy w użyciu, łatwy do nauczenia i niewymagający dodatkowej wiedzy do już posiadanej (Stößel 2012). Blackler, Popovic i Mahar (Blackler, Popovic i Mahar 2002) oraz Mohs i in. (Mohs i in. 2006) uznali użytkowanie intuicyjne za termin naukowy. W zaproponowanych przez Blackler, Popovic i Mahar oraz Mohs i współ. definicjach nieświadome zastosowanie wiedzy uprzedniej uważane jest za kluczową cechę interakcji intuicyjnych. Ponadto, Blackler i współpracownicy podkreślają, że intuicyjna interakcja przejawia się szybkim i płynnym działaniem, a Mohs i współpracownicy uważają, że intuicyjna interakcja powinna przede wszystkim charakteryzować się skutecznością działania systemu (Blackler, Hurtienne 2007). Centralnym punktem tych definicji jest to, że intuicyjność użytkowania nie jest charak-

terystyczną cechą specyfikacji produktu, ale pojawia się w wyniku interakcji i w dużej mierze zależy od użytkownika. Dlatego, bardziej odpowiednie jest mówienie o intuicyjnym użytkowaniu produktu, czy wyrobu lub o intuicyjnej interakcji, niż o intuicyjnym obiekcie technicznym. Obie grupy zgadzają się, że intuicyjną interakcję najlepiej można opisać jako relację przebiegającą wzdłuż wymiarów nowości produktowej i wysiłku poznawczego (Blackler, Popovic i Mahar 2005) lub rodzaju wcześniejszej wiedzy (Naumann i in. 2007). To kontinuum wiedzy zakłada wiedzę wrodzoną jako najbardziej podstawowy i powszechny rodzaj wiedzy, a następnie wiedzę sensomotoryczną, wiedzę specyficzną dla kultury i wreszcie wiedzę specjalistyczną w określonej dziedzinie. Intuicyjną interakcję można znaleźć na każdym poziomie kontinuum wiedzy, jednak Hurtienne i Blessing (Hurtienne, Blessing 2007) twierdzą, że wiedza z niższych poziomów kontinuum jest częściej stosowana podświadomie. W związku z tym, interfejsy użytkowników, które wykorzystują niższe poziomy wiedzy, są bardziej intuicyjne w użytkowaniu, a więc i bardziej ergonomiczne.

Duża dynamika i zmienność stanu elementu technicznego i ludzkiego w systemie OS-RUiES znacząco utrudnia uzyskanie pożądanego poziomu intuicyjnej interakcji. W kontekście osób starszych te zdolności i umiejętności są jednak ograniczone, w wyniku czego użytkowanie urządzeń sterowniczych w komunikacji z komputerem jest często sytuacją trudną dla osób starszych. Jak zauważa Stößel (Stößel 2012) osoby starsze często stosują inne chwyty i sposoby aktywacji RUiES, niż osoby młodsze, co może zwiększać liczbę błędów interakcji wpływając na skuteczność systemu.

Za Słowikowskim (Słowikowski 2000b) warunki skutecznego i ergonomicznego działania układu człowiek-obiekt techniczny można przedstawić poprzez następujący wzór:

$$H_m^{we} \leq C_{cz}^{wy}$$

$$H_m^{wy} \leq C_{cz}^{we}$$

gdzie:

H_m^{we} – natężenie strumienia informacji potrzebnej na wejściu sterowniczym maszyny [sek^{-1}],

H_m^{wy} – natężenie strumienia informacji wysyłanej przez wyjście informacyjne maszyny [sek^{-1}],

C_{cz}^{wy} – przepustowość wyjścia motorycznego człowieka [sek^{-1}],

C_{cz}^{we} – przepustowość wejścia sensorycznego człowieka [sek^{-1}].

Według Słowikowskiego oznacza to, że maszyna powinna być zaprojektowana i dobrana do użytkownika tak, aby urządzenia sterownicze nie „wymagały" od użytkownika więcej, niż pozwala na to jego sprawność psychomotoryczna, a urządzenia informacyjne nie wysyłały więcej sygnałów, niż mogą przyjąć jego kanały sensoryczne.

Pomiar cech skutecznego działania układu człowiek-obiekt techniczny opiera się na danych pochodzących z obserwacji lub zapisów wszelkiego rodzaju potknięć, uchybień, usterek, czy zachowania się człowieka. Możliwe do zastosowania podejścia merytoryczne przy pomiarze skuteczności układu C-M-O przedstawił Ratajczak ([1] Ratajczak 1988). Wśród nich można wymienić m. in.:

1. stosowanie skal szacunkowych (wersja obserwacyjna i samoobserwacyjna),
2. zliczanie błędów, potknięć, uchybień itp. zarówno w bezpośredniej obserwacji czy rejestracji w momencie ich popełnienia, jak i *ex post* za pomocą rekonstrukcji, analizy

dokumentacji, przypomnienia sobie błędów własnych i błędów popełnionych przez inne elementy systemu,

3. analiza czasowych przebiegów czynności, szczególnie ważnych w strukturze działania całego układu, w którym człowiek jest jednym z ogniw, w celu ustalenia stosunku tzw. optymalnego tempa wykonywania tych czynności do tempa indywidualnego. Różnica między tempem optymalnym a indywidualnym może prowadzić do tzw. deficytu czasu, powodując błędy w pracy.

Przy czym podczas określania cech układu C-M-O muszą być spełnione następujące warunki (Sławińska 2012):

1. wskaźniki mają być jednakowe dla wszystkich elementów układu. W miarę możliwości należy wykorzystać aparat matematyczny stosowany w naukach technicznych. Należy jednak wyraźnie zaznaczyć, które wielkości we wzorach dotyczą człowieka, a które pozostałych elementów układu,
2. człowieka należy traktować jako bardzo specyficzny element układu, wobec którego techniczna teoria niezawodności ma ograniczone zastosowanie,
3. jako podstawową i najważniejszą miarę skuteczności całego układu należy przyjąć liczbę błędów interakcji i możliwe ich następstwa dla całego układu C-M-O.

Stosując miary skuteczności w odniesieniu do człowieka należy pamiętać, że jego cechy nie są wielkościami stałymi, lecz zmienia się w miarę upływu czasu i są uwarunkowane zmianami zachodzącymi w otoczeniu oraz w samym człowieku (Sławińska 2012).

Pomiar skuteczności interakcji OS-RUiES, a więc intuicyjności interakcji opisano w pracy (Wróbel, Sławińska 2019). W pomiarze zastosowano zliczanie błędów, potknięć i uchybień w bezpośredniej obserwacji. W rezultacie zidentyfikowano 34 błędy interakcji (SZ), które zdefiniowano jako sytuacje lub cechę urządzenia, czy chwytu obniżające efektywność współdziałania elementów systemu w procesie sterowania. Pomiar uzupełniono działaniami dedukcyjnymi na podstawie wiedzy o wymaganiach ergonomii w projektowaniu i doborze RUiES. Wynikiem działań dedukcyjnych było określenie pozostałych błędów interakcji (tab. 6).

Tab. 6. Klasyfikacja błędów interakcji OS-RUiES
Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Wróbel, Sławińska 2019)

L.p.	Symbol błędu	Rodzaj błędu interakcji
1.	SZ1	Podkurczenie (zgięcie) palca lub kilku palców i oparcie ich o urządzenie
2.	SZ2	Stosowanie rękoma krzyżowego chwytu i aktywacji elementów sterowniczych
3.	SZ3	Uchwycenie i/lub aktywacja obiema rękoma urządzenia jednoręcznego
4.	SZ4	Stosowanie „odskakiwania” palca, palców, czy dłoni po aktywacji elementu sterowniczego
5.	SZ5	Zastosowanie chwytu szczypcowego zamiast możliwego objęcia całą ręką urządzenia
6.	SZ6	Zastosowanie chwytu szczypcowego zamiast możliwego objęcia całą ręką elementu sterowniczego
7.	SZ7	Celowanie urządzeniem w monitor jak pilotem telewizyjnym
8.	SZ8	Trzymanie jedną ręką drugiej wykonującej czynności sterownicze (np. chwyt przedramienia)
9.	SZ9	Skrupulatne przykładanie się do wykonywanych zadań sterowniczych
10.	SZ10	Za wczesne puszczenie elementu sterowniczego
11.	SZ11	Niewykonanie pełnej kombinacji czynności sterowniczych
12.	SZ12	Niezamierzona niewłaściwa kilkukrotna aktywacja tego samego elementu sterowniczego

13.	SZ13	Niezamierzona aktywacja elementu sterowniczego podczas obejmowania urządzenia – nacisk dłoni
14.	SZ14	Niezamierzona aktywacja elementu sterowniczego podczas obejmowania urządzenia – nacisk palcy
15.	SZ15	Niezamierzona aktywacja elementu niewłaściwym palcem podczas aktywowania właściwego elementu sterowniczego
16.	SZ16	Niezamierzona aktywacja elementu niewłaściwą częścią dłoni podczas aktywowania właściwego elementu sterowniczego
17.	SZ17	Mylna aktywacja innego elementu sterowniczego zamiast właściwego właściwą częścią ręki
18.	SZ18	Nieułożenie lub tylko częściowe ułożenie palca w wyprofilowaniu chwytu
19.	SZ19	Nieułożenie lub tylko częściowe ułożenie palca w wyprofilowaniu elementu sterowniczego
20.	SZ20	Ułożenie palca na niewłaściwej części obudowy urządzenia
21.	SZ21	Ułożenie palca na niewłaściwym elemencie sterowniczym
22.	SZ22	Ułożenie kilku palcy na jednym elemencie sterowniczym
23.	SZ23	Unoszenie przemieszczanego urządzenia w celu uzyskania większego zakresu ruchu
24.	SZ24	Unoszenie urządzenia lub jego przechylanie w celu poprawy chwytu
25.	SZ25	Dostanie się palcy, czy paznokci pod urządzenie
26.	SZ26	Zablokowanie elementu sterowniczego spowodowane ustawienie wystających części elementu nad innymi obiektami
27.	SZ27	Niewłaściwa reakcja urządzenia lub jej brak
28.	SZ28	Uchwycenie urządzenia odwróconego od osi wzdłużnej dłoni
29.	SZ29	Zahaczenie przewodem zasilającym o inne obiekty podczas przemieszczania urządzenia
30.	SZ30	Najechanie urządzeniem na przewód zasilający
31.	SZ31	Uderzenie urządzeniem w inny obiekt podczas użytkowania
32.	SZ32	Trudność z „nadążeniem” za wskaźnikiem
33.	SZ33	Częściowe objęcie urządzenia dłonią
34.	SZ34	Palce spoczywające obok urządzenia
35.	SZ35	Palce nie sięgają do elementów sterowniczych
36.	SZ36	Palce wystają poza elementy sterownicze
37.	SZ37	Dłoń „zalewająca” urządzenie
38.	SZ38	Zgięta dłoń
39.	SZ39	Uniesiona dłoń
40.	SZ40	Płasko ułożona dłoń
41.	SZ41	Nadmierne rozwarcie palcy
42.	SZ42	Nadmiernie ciasne skupienie palcy
43.	SZ43	Przeprosty palcy
44.	SZ44	Aktywacja elementu sterowniczego na krawędzi górnej
45.	SZ45	Aktywacja elementu sterowniczego na krawędzi dolnej
46.	SZ46	Aktywacja elementu sterowniczego na krawędzi bocznej
47.	SZ47	Wymuszenie pracy całego przedramienia
48.	SZ48	Niewygoda – skręcona pozycja dłoni
49.	SZ49	Niewygoda – skręcona pozycja palcy
50.	SZ50	Odczucia niewygodnych ucisków na dłoń
51.	SZ51	Odczucia niewygodnych ucisków na palce
52.	SZ52	Nadmierna siła w celu aktywacji elementu sterowniczego
53.	SZ53	Nadmierna siła w celu przesunięcia urządzenia
54.	SZ54	Problem w nauce użytkowania
55.	SZ55	Słabo lub umiarkowanie wykonane urządzenie
56.	SZ56	Zimne urządzenie
57.	SZ57	Gorące urządzenie
58.	SZ58	Ograniczona ilość elementów sterowniczych urządzenia

59.	SZ59	Za duża liczba elementów sterowniczych urządzenia
60.	SZ60	Zbyt kanciasta lub zbyt okrągła forma urządzenia
61.	SZ61	Zbyt skomplikowana forma urządzenia
62.	SZ62	Zbyt jaskrawe urządzenie
63.	SZ63	Zbyt ciemne urządzenie
64.	SZ64	Zbyt jasne urządzenie
65.	SZ65	Za dużo kolorów urządzenia
66.	SZ66	Potrzeba sprawdzenia wzrokiem orientacji urządzenia
67.	SZ67	Potrzeba sprawdzenia wzrokiem położenia elementów sterowniczych
68.	SZ68	Potrzeba sprawdzenia wzrokiem działania urządzenia lub elementów sterowniczych
69.	SZ69	Brak lub mały wpływ na spadek odczuwanych dolegliwości

Zidentyfikowane błędy interakcji OS-RUiES (tab. 6) potencjalnie spowodowane były: stosowaniem niewłaściwego sposobu aktywacji i chwytu, niedostosowaniem technicznym urządzeń do cech antropometrycznych, niewłaściwym przełożeniem układu, ograniczoną przestrzenią pracy, niewłaściwą reakcją urządzenia, stosowanej nadmiernej siły aktywacji, motywacją i podejściem do wykonywanej pracy, rozróżnialnością elementów urządzenia i oddziaływaniem na odczuwane dolegliwości. Zatem przyczyny powstawania błędów odpowiadają zakresowi wymagań ergonomicznych. Daje to podstawę do zastąpienia wymagań ergonomicznych analizą błędów interakcji przyjmując je za kryteria oceny ergonomiczności interakcji (Wróbel, Sławińska 2019). W rezultacie określono obszary modyfikacji techniczno-ergonomicznej (tab. 17; podrozdział 2.3).

Wyszczególnione rodzaje błędów posłużyły do stworzenia listy wielokryterialnej oceny ergonomiczności interakcji OS-RUiES (podrozdział 1.3.; tabela 8) w opracowanej metodzie i systemie ekspertowym.

1.2.3. Wskaźniki jakości regulacji

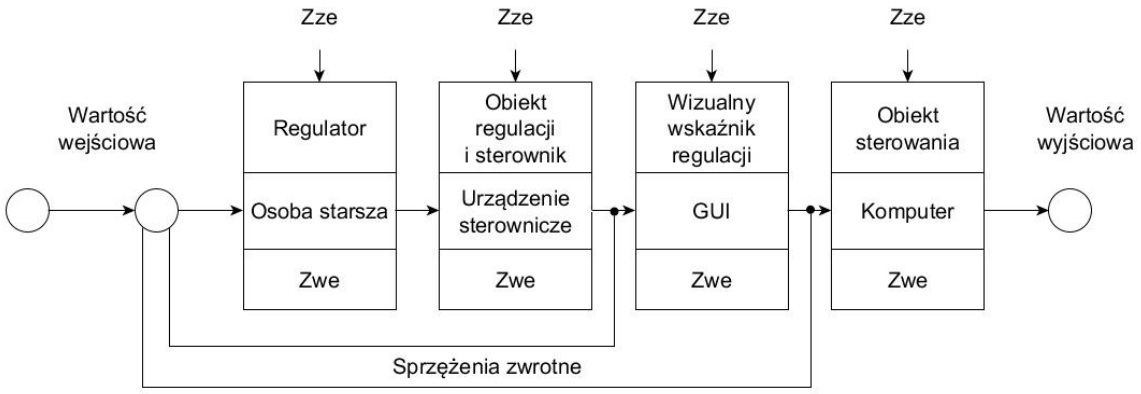
Analiza wskaźników jakości regulacji związana jest z pojęciami stosowanymi w automatyce tj. sterowanie i regulacja. Sterowanie to celowe oddziaływanie na proces przez zmianę wartości wielkości wejściowych mające na celu wywołanie określonego zachowania się procesu, czyli wymuszenie określonych przebiegów jego wielkości wyjściowych. Proces, na który oddziałuje się za pomocą sterowania nazywa się też obiektem sterowanym, zaś urządzenie wyznaczające sterowanie to urządzenie sterujące (Szkolnikowski 2008). W literaturze anglojęzycznej pojęcie sterowanie jest równoznaczne z pojęciem regulacji (*ang. control*), jednak w języku polskim odróżnia się te dwa terminy i w przypadku pojęcia regulacji mówi się tylko wówczas, gdy sterowanie zachodzi w układzie zamkniętym z pętlą sprzężenia zwrotnego. Natomiast układ taki nazywa się układem regulacji (Wikipedia.plb) lub układem sterowania ze sprzężeniem zwrotnym (Szkolnikowski 2008). Sterownik w takim układzie jest regulatorem. W takim sensie sterowanie jest pojęciem szerszym, a regulacja rodzajem sterowania, czyli pojęciem węższym.

Układy regulacji klasyfikuje i ocenia się ze względu na (Wikipedia.plb):

1. przyjęty cel sterowania,
2. sposób działania algorytmu sterowania lub regulatora,
3. liniowość układu,
4. charakter sygnałów,
5. charakter układu,

6. liczbę wejść i wyjść,
7. liczbę zmiennych niezależnych,
8. czasowy charakter parametrów,
9. przestrzenny charakter parametrów,
10. zmienność struktury,
11. sposób realizacji sterowania układów o złożonej strukturze.

Model układu regulacji występujący w interakcji OS-RUiES w komunikacji człowiek-komputer przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Model układu regulacji występujący w interakcji OS-RUiES
Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Szkolnikowski 2008)

W modelu regulatorem jest osoba starsza, która na wejściu uzyskuje dane wejściowe dotyczące zadania, w tym jego celu i wartości granicznych dopuszczalnego uchybu (rys. 3). Celem osoby starszej jest taka regulacja urządzenia sterowniczego, aby urządzenie sterownicze, będące w stosunku do osoby starszej obiektem regulacji, wykonało działania sterowania względem urządzenia komputerowego. W tym ujęciu urządzenie sterownicze jest sterownikiem dla urządzenia komputerowego. Na wyjściu procesu uzyskuje się efekty wykonanego zadania. Podczas działania procesu występują trzy typy działań, tj.:

1. regulacja wyczuwalno-motoryczna występująca w najwęższym zakresie układu, czyli pomiędzy osobą starszą, a urządzeniem sterowniczym ze sprzężeniem zwrotnym w postaci czucia powierzchownego i głębokiego,
2. regulacja wyczuwalno-motoryczna i wzrokowo-motoryczna dotycząc układu osoba starsza-urządzenie sterownicze-interfejs graficzny ze sprzężeniem zwrotnym takim jak w poprzednim układzie i drugim w postaci koordynacji wzrokowo-motorycznej,
3. sterowanie, które przy zastosowaniu powyższych regulacji odbywa się za pomocą urządzenia sterowniczego i polega na oddziaływaniu na urządzenie komputerowe bez sprzężenia zwrotnego, które nie występuje na tym poziomie.

Powyższe działania składają się na tzw. rozproszony system sterowania (Wikipedia.plb), którego efekty pracy następują względem sterowania urządzeniem, maszyną lub pojazdem. Na wszystkie elementy układu regulacji i sterowania oddziaływują zarówno wewnętrzne (Zwe) jak i zewnętrzne (Zze) czynniki zakłóceń. Czynniki te obejmują zidentyfikowane zmienne preferencyjne OS i charakterystyka cech podzespołów RUiES, jak i inne czynniki tj.: stan psychiczny, warunki mikroklimatu, relacje międzyludzkie, zużycie podzespołów elektro-

niczny, wytarcie elementów informacyjnych, zanieczyszczenie czujnika pyłem, wypalenie pikseli, luminancja, błędy w oprogramowaniu itp.. Czynniki zakłóceń, w tym zmienność pracy człowieka pływają na wysoką dynamikę procesu regulacji i sterowania, gdzie parametry regulacji przyjmują wartości nieustalone. Regulacja dynamiczna to układ, w którym wyjście nie jest jednoznaczną funkcją wejścia i zależy dodatkowo od charakteru procesu przejściowego (inercyjności) i stanu układu w chwili początkowej (Wikipedia.plb). Ponadto regulacja jaką realizuje użytkownik RUiES w komunikacji człowiek-komputer to regulacja ciągła nadążna lub przełączająca dwu- czy kilku stanowa i wiąże się z niewielkim i nieobciążającym człowieka obciążeniem siłowym. Ocena ta wynika z klasyfikacji zaangażowania energetycznego człowieka w procesach sterowania przedstawioną przez Słowikowskiego (Słowikowski 2000b). Układ taki charakteryzuje się również niestacjonarnością, wielowymiarowością oraz jednym wejściem i wyjściem, chodź w wyniku zakłóceń może nie spełnić tej cechy.

W ocenie regulacji wykorzystuje się m. in. równania opisujące:

1. czas potrzebny do wykonania zadania,
2. energię potrzebną do wykonania zadania,
3. dokładność regulacji będącą uchybem regulacji.

Charakterystyka rozpatrywanego procesu regulacji i opisujących je rodzajów równań predysponuje mierniki uchybu w ocenie ergonomiczności interakcji OS-RUiES. Jednak w badaniach własnych uzyskano również istotne różnice w czasie niezbędnym do wykonania zadań, co także predysponuje ten typ wskaźników (Wróbel, Sławińska 2019). W tabeli 7 przedstawiono opis matematyczny przykładowych mierników uchybu regulacji.

Tab. 7. Przykładowe mierniki uchybu regulacji
Źródło: (Wikipedia.pla; Słowikowski 2000b; Home.agh.edu.pl)

L.p.	Wskaźnik uchybu regulacji	Opis matematyczny
1.	Całka z kwadratu uchybu	$I(u) = \int_{t_o}^{t_k} e^2 \, dt$
2.	Całka z wartości bezwzględnej uchybu	$I(u) = \int_{t_o}^{t_k} \lvert e \rvert \, dt$
3.	Całka z iloczynu czasu i kwadratu uchybu	$I(u) = \int_{t_o}^{t_k} (t-t_0)\, e^2 \, dt$
4.	Całka z iloczynu czasu i wartości bezwzględnej uchybu	$I(u) = \int_{t_o}^{t_k} (t-t_0) \lvert e \rvert \, dt$

Znając uchyb regulacji, można określić jakość regulacji. Jednym ze sposobów jest zastosowanie następującego wzoru:

$$Q = \frac{a}{U}$$

gdzie:

a – współczynnik określony doświadczalnie,

U – błąd regulacji.

Z powyższego wzoru wynika, że jakość regulacji jest odwrotnie proporcjonalna do uchybu regulacji. Przyjmując za Słowikowskim (Słowikowski 2000b) jakość regulacji może być badana w różnych konfiguracjach zmiennych niezależnych przyjętych w badaniach danego układu sterowniczego, najlepiej w całym zakresie zmienności każdej z nich, jaki tylko jest możliwy ze względu na warunki stawiane przez konstrukcję obiektu technicznego. Aby rezultaty otrzymane dla każdej konfiguracji były ze sobą porównywalne i umożliwiały wybór poszukiwaną, optymalną konfigurację parametrów układu sterującego – jakość regulacji musi

być zrelatywizowana. Relatywizacji służy współczynnik a, który powinien być ustalony na poziomie najmniejszego otrzymanego w badaniach błędu regulacji.

$$a = U_{min}$$

gdzie:
U_{min} – najmniejsza średnia wartość uchybu zarejestrowana w badaniach danego układu sterowania.

Wówczas ocena jakości regulacji zawierać się będzie w granicach:

$$0 < Q \leq 1$$

Zastosowanie wskaźników jakości regulacji w ocenie ergonomiczności interakcji OS-RUiES wymaga podejścia przyjmującego, że działania kognitywne człowieka są traktowane jako tzw. „czarna skrzynka". Natomiast ocenie podlega układ człowiek-obiekt techniczny w kategoriach: „wejście-wyjście", gdzie zachodzi badanie tego układu jako całości na wymuszenia (Słowikowski 2000b).

1.3. Zakres wielokryterialnej oceny ergonomiczności interakcji OS-RUiES

Zidentyfikowane błędy interakcji OS-RUiES oraz wskaźniki jakości regulacji posłużyły do opracowania zakresu wielokryterialnej oceny ergonomiczności (tab. 8). Zakres ten składa się z następujących kryteriów oceny:

1. cech chwytu,
2. łatwości w użytkowaniu,
3. komfortu w dotyku,
4. zakresu funkcji,
5. wrażeń wizualnych,
6. efektywności użytkowania,
7. wpływu na uciążliwość związaną z dolegliwościami kończyn górnych,
8. kosztów zakupu.

Do kryteriów tych określono kryteria szczegółowe, co wyznaczyło dwadzieścia obszarów oceny interakcji OS-RUiES (tab. 8). Kryteria szczegółowe opisano w formie pytań i odpowiedzi stanowiące wskaźniki i skalę oceny. Pytania i odpowiedzi wykorzystano w budowie listy samooceny użytkownika. Listę tą zastosowano w ankietowaniu 2 hybrydowego systemu ekspertowego. Odpowiedzi na pytania może udzielić badany lub osoba trzecia np. na podstawie nagrania wideo, co może okazać się pomocne w celu ograniczenia błędów w ocenie interakcji. Pytania i odpowiedzi etapu oceny opisano w podrozdziale 4.4. Określone pytania zawierają możliwość pominięcia przez użytkownika poprzez opcję wyboru: „Żadna z powyższych". Możliwe odpowiedzi podzielono na wskazujące na wystąpienie błędów interakcji (wyróżnienie szare) i wskazujące na poprawne cechy interakcji (wyróżnienie zielone) (tab. 8).

Zakres i skalę oceny dla kryterium efektywności użytkowania określono na podstawie wyników badań pilotażowych (Wróbel, Sławińska 2019). Natomiast skalę dla kryterium kosztu zakupu określono subiektywnie, a zastosowanie tego wskaźnika ograniczono jedynie do pozyskiwania danych dla dalszych badań.

Tab. 8. Zakres wielokryterialnej oceny ergonomiczności interakcji OS-RUiES
Źródło: Opracowanie własne

Kryterium oceny	Kryterium szczegółowe	Pytania do ocen kryteriów szczegółowych	Możliwe odpowiedzi; skala oceny; wskaźniki kryteriów – błędy interakcji				
			1	2	3	4	5
Pewny i dostosowany do kształtu ręki uchwyt	Dostosowanie wymiarowe	Czy podczas użytkowania urządzenia występują niedopasowania tj.?: (6-sta odp. na pytanie to: „Żadna z powyższych”.	częściowe objęcie urządzenia dłonią	palce spoczywające obok urządzenia	palce nie sięgają do przycisków	palce wystają poza przyciski	dłoń „zalewająca” urządzenie
	Położenie łokieć-nadgarstek	Czy podczas użytkowania urządzenia występują wymuszenia pozycji łokcia tj.?:	uniesienie	trzymanie bez podparcia	odwiedzenie lewo- lub prawostronne	Żadna z powyższych	-
	Położenie dłoni	Czy podczas użytkowania urządzenia dłoń była (możliwość zaznaczenia dwóch opcji)?:	Zgięta	Uniesiona; opuszczona	Płasko ułożona	Ułożona pod kątem 45°	Wertykalnie ułożona
	Położenie palcy	Czy podczas użytkowania urządzenia występują wymuszenia pozycji palcy tj.?:	nadmierne rozwarcie	ciasne skupienie	przeprosty	Żadna z powyższych	-
	Lokalizacja kontaktu	Czy klikając w przyciski urządzenia palce dotykają przycisków?:	Na krawędzi górnej	Na krawędzi dolnej	Na krawędzi bocznej	Na skraju	Centralne
Łatwy w użytkowaniu	Intuicyjny	Czy podczas użytkowania występowały sytuacje zawodności układu sterowania?:	Podlista rodzajów zawodności interakcji związana z nawykami i błędami użytkownika na podstawie tabeli 6 (błędy interakcji od .SZ1 do SZ32)				
	Wpływ na zmęczenie	Czy podczas użytkowania urządzenie?:	wymusza pracę całego przedramienia	niewygodną np. skręconą pozycję dłoni, czy palcy	odczucia niewygodnych ucisków na dłoń, czy palce	nadmierną siłę w celu wciśnięcia lub przesunięcia urządzenia	Żadna z powyższych
	Łatwy w nauce	Czy po zapoznaniu się ze sposobem użytkowania urządzenia zapamiętanie zastosowania przycisków i wykonanie testu przyszło ci?:	Bardzo trudno	Trudno	Brak opinii	Łatwo	Bardzo łatwo

Komfort w dotyku	Odczucia dotyku	Czy dotykając urządzenie wrażenie dotyku wskazywało na urządzenie?:	Słabo wykonane	Brak opinii	Umiarkowanie wykonane	Neutralnie wykonane	Solidnie wykonane
	Odczucia temperatury	Czy podczas trzymania urządzenie było?:	Zimne	Gorące	Trudno powiedzieć	Umiarkowanie ciepłe	Przyjemnie ciepłe
Zakres funkcji	Liczba funkcji	Czy liczba przycisków urządzenia jest?:	Ograniczona	Za duża	Dobra	-	-
Wrażenia wizualne	Ocena kształtu	Czy kształt (forma) urządzenia jest?:	Zbyt kanciasty lub zbyt okrągły	Zbyt skomplikowa-ny	Brak opinii	Neutralny	Dobry
	Ocena kolorystyki	Czy kolorystyka urządzenia jest?:	Zbyt jaskrawa (odblaski)	Zbyt ciemna	Zbyt jasna	Za dużo kolorów	Dobra
	Ocena rozróżnialności wizualnej urządzenia i elementów sterowniczych	Czy podczas użytkowania urządzenia wystąpiła konieczność sprawdzania wzrokiem bądź problem z?:	orientacją urządzenia względem ręki	położeniem elementów sterowniczych	działaniem urządzenia	działaniem elementów sterowniczych	Żadna z powyższych
Efektywność użytkowania	Dokładność sterowania (w przypadku sterowania nadążnego)	Ile wyniosła średnia dokładność odchylenia błędu sterowania [w U]?	100 i więcej	76-100	51-75	26-50	0-25
	Liczba błędów (w przypadku sterowania nienadążanego)	Ile błędów wystąpiło podczas wpi-sywania tekstu?	81 i więcej	61-80	41-60	21-40	0-20
	Prędkość sterowania (w przypadku sterowania	Ile wyniósł czas wykonania zadania [w minutach]?	1:01 i więcej	0:31-1:00	0:21-0:30	0:11-0:20	0-0:10

	nadążnego)						
	Prędkość sterowania (w przypadku sterowania nienadążanego)	Ile wyniósł czas wykonania zadania [w minutach]?	16:01 i więcej	12:01-16:00	8:01-12:00	4:01-8:00	0-4:00
Wpływ na uciążliwość	Ocena wpływu na dyskomfort związany z dolegliwościami	Jak oceniasz wpływ urządzenia na poprawę negatywnego odczucia występujących u ciebie dolegliwości kończyn górnych i wzroku?:	Brak	Mały	Umiarkowany	Duży	Bardzo duży
Koszty zakupu	Ocena ekonomiczna	Ile jesteś skłonny/a zapłacić [w zł] za kupno takiego urządzenia sterowniczego?:	121 i więcej	91-120	61-90	31-60	0-30

Spośród wymienionych w tabeli 6 i 8 błędów interakcji OS-RUiES szczegółowego zdefiniowania wymagają:

1. częściowe objęcie urządzenia dłonią – zachodzi wówczas, gdy użytkownik nie stosuje bezpośredniego uchwycenia uchwytu całą powierzchnią dłoni,
2. palce spoczywające obok urządzenia – zawodność ta dotyczy sytuacji, gdy palce skrajne tj. kciuk, mały palec, czy palec serdeczny podczas przemieszczania urządzenia dotykają powierzchni roboczej,
3. palce wystają poza przyciski – świadczy o zbyt bliskim umiejscowieniu RES względem dłoni użytkownika i zbyt dalekim względem koniuszków palcy,
4. dłoń „zalewająca" urządzenie – zachodzi wówczas, gdy urządzenie sterownicze jest zdecydowanie za małe w stosunku do rozmiaru dłoni użytkownika, co przekłada się na nadmierne objęcie urządzenia i jego podzespołów,
5. na krawędzi górnej – zawodność ta oznacza, że element sterowniczy jest nadmiernie przesunięty w kierunku dłoni lub element sterowniczy jest za krótki,
6. na krawędzi dolnej – podobnie jak wyżej, z tym, że świadczy to o elemencie sterowniczym zlokalizowanym zbyt daleko od dłoni użytkownika i względem koniuszków palcy,
7. na krawędzi bocznej – oznacza, że położenie elementu sterowniczego lub nawyk użytkownika zmusza do aktywowania urządzenia w niedogodnym miejscu np. blisko zaokrągleń RES, w miejscu bardziej elastycznych i zmiennych w formie części przycisków lub blisko innych aktywatorów,
8. na skraju – zawodność ta zachodzi wówczas, gdy część ręki aktywująca element sterowniczy częściowo dotyka RES, a częściowo obudowę lub inny RES.

Na podstawie zakresu wielokryterialnej oceny ergonomiczności interakcji OS-RUiES określono miarę, sposób wyznaczania miary i jej skalę.

1.4. Ergonomiczność jako miara oceny interakcji OS-RUiES

1.4.1. Wartościowanie ergonomiczności interakcji OS-RUiES

Jedną z miar współdziałania człowieka i obiektu technicznego jest ergonomiczność zwana również jakością ergonomiczną. Niedookreśloność ergonomiczności, jak i trudność w gradacji jej poziomów powodują istotne problemy (Butlewski 2018). Ergonomiczność określa wartości relacji systemu C-M-O jako miara zagregowanych i powiązanych ze sobą wielu komponentów (Łuczak i in. 2016). Wynika z tego wieloznaczność pojęcia ergonomiczności, które bywa krytykowane z powodu rozmytości i wykorzystywania innych miar np. użyteczności (Charfi, Ezzedine 2011).

W zastosowaniu ergonomiczności jako miary wyróżnia się dwa problemy. Pierwszy problem dotyczy określenia zakresu oceny, który związany jest z kryteriami oceny, co omówiono w podrozdziale 1.1. Natomiast drugi problem dotyczy wartościowania ergonomiczności (Słowikowski 2000a; Butlewski 2018). Problem ten wynika z zróżnicowania kryteriów oceny np. jakościowe i ilościowe, sprzecznego charakteru np. prędkość i dokładność sterowania, jak i od różnych współczynników ważności. Poza tym, ergonomiczność zależy od wymagań jakie dany system spełnia. Natomiast wymagania te w zależności od kontekstu użytkowego i samego użytkownika mogą się różnić (Andrzejewska, Kamyszek i Merkisz-Guranowska

2014). Z tego względu, zdaniem Butlewskiego należałoby wprowadzić pojęcie potencjału jakości ergonomicznej (Butlewski 2018).

1.4.2. Metoda oceny ergonomiczności interakcji OS-RUiES

W opracowanym systemie ekspertowym (podrozdział 4.6.3.) przy wyznaczaniu poziomu ergonomiczności zastosowano następujące wskaźniki:

1. liczbę błędów w interakcji OS-RUiES,
2. dokładność regulacji wyrażoną pomiarem średniej arytmetycznej z poszczególnych uchybów testu o charakterystyce czasowej,
3. czas niezbędny użytkownikowi do ukończenia zadania.

Zastosowanie oceny wielokryterialnej związane jest z kilkoma trudnościami tj. różne jednostki, inne skale wartości, inne statystyczne rozkłady prawdopodobieństwa wystąpienia danej wartości oceny, konieczność agregacji ocen poszczególnych wskaźników, czy inne przełożenie podobnych wartości oceny różnych wskaźników na wynik zagregowany. Z tego powodu dla wszystkich wskaźników przyjęto skalę składającą się z pięciu rang. Poza tym w oparciu o wnioski z badań własnych (Wróbel, Sławińska 2019) dla każdego wskaźnika przyjęto indywidualne przedziały ocen. Trzecim rozwiązaniem przedstawionego problemu jest przyporządkowanie wskaźnikom współczynników ważności. Wszystkie działania przedstawiono w tabelach 9 i 10.

Tab. 9. Wyznaczanie cząstkowej oceny poziomu ergonomiczności interakcji OS-RUiES dla wskaźnika liczby błędów w interakcji
Źródło: Opracowanie własne

Skala oceny	Ranga (R)	Współczynnik ważności
		R_i x 0.4
0-3	1	0.4
4-6	2	0.8
7-9	3	1.2
10-12	4	1.6
13-69	5	2.0

W tabeli 9 przedstawiono skale i wskaźniki cząstkowe dla liczby błędów interakcji. Natomiast w tabeli 10 przedstawiono skale i wskaźniki cząstkowe czasu wykonania zadania i jakości regulacji dla dwóch testów oceny ergonomiczności interakcji OS-RUiES jakie zaproponowano i zastosowano w hybrydowym systemie ekspertowym.

Tab. 10. Wyznaczanie cząstkowej oceny poziomu ergonomiczności interakcji OS-RUiES dla wskaźników czasu wykonania zadania i jakości regulacji
Źródło: Opracowanie własne

Wyznaczanie poziomu ergonomiczności dla wskaźników testu 1			Wyznaczanie poziomu ergonomiczności dla wskaźników testu 2		
Wskaźniki czasu wykonania zadania					
Skala oceny	Ranga (R)	Współczynnik ważności	Skala oceny	Ranga (R)	Współczynnik ważności
		R_i x 0.4			R_i x 0.4
0-0:10	1	0.3	0-4:00	1	0.3
0:11-0:20	2	0.6	4:01-8:00	2	0.6
0:21-0:30	3	0.9	8:01-12:00	3	0.9
0:31-1:00	4	1.2	12:01-16:00	4	1.2

1:01 ≤	5	1.5	16:01 ≤	5	1.5
Wskaźniki jakości regulacji					
Skala oceny	Ranga (R)	Współczynnik ważności R_i x 0.4	Skala oceny	Ranga (R)	Współczynnik ważności R_i x 0.4
0-25	1	0.3	0-20	1	0.3
26-50	2	0.6	21-40	2	0.6
51-75	3	0.9	41-60	3	0.9
76-100	4	1.2	61-80	4	1.2
101 ≤	5	1.5	81 ≤	5	1.5

Czwartym działaniem jest zagregowanie wyników cząstkowych do jednego wskaźnika liczbowego. W celu agregacji wyniku zastosowano sumę wyników cząstkowych (tab. 9 i 10). Możliwe rezultaty wyznaczają skalę oceny zagregowanej (tab. 11).

Tab. 11. Skala zagregowanej oceny poziomu ergonomiczności interakcji OS-RUiES
Źródło: Opracowanie własne

	Ergonomiczność				
Poziomy ergonomiczności zawarte w AKU HSE	Bardzo wysoka	Wysoka	Średnia	Niska	Bardzo niska
Skala wyniku zagregowanego	1-1.79	1.8-2.59	2.6-3.39	3.4-4.19	4.2-5
Oznaczenie kolorystyczne zastosowane w prezentacji wyników badań (rozdział 5)					

Działaniem piątym jest konieczność wykonania pięciu pomiarów ocen cząstkowych na, podstawie których uzyskiwanych jest pięć wyników zagregowanych. Ocenę ergonomiczności kończy działanie szóste. Działanie to polega na zastosowaniu wskaźnika opisującego zarówno siłę, jak i wielkość zmiany w czasie uzyskanych ocen zagregowanych. Za wskaźnik ergonomiczności przyjęto średnią arytmetyczną. Zaletą średniej arytmetycznej jest uwzględnienie każdego wyniku zagregowanego. Dzięki temu, średnia ta również umożliwia pośrednie uwzględnienie zmian w uzyskiwanych wynikach zagregowanych. Natomiast wadą średniej arytmetycznej jest m. in. spłaszczanie uzyskiwanych wyników. Niemiej, zastosowany sposób oceny interakcji OS-RUiES umożliwia wypracowanie wniosków na podstawie pomiarów ergonomiczności względem zmian charakterystyki cech RUiES.

1.5. Narzędzia oceny ergonomiczności interakcji OS-RUiES

Ergonomiczność interakcji OS-RUiES można oceniać na wszystkich etapach cyklu życia wyrobu (Michalski 2008; Słowikowski 2000 A). Przy czym ergonomiczność ocenia się na wiele sposobów i przy zastosowaniu różnych narzędzi, często przy wykorzystaniu metod i testów z innych dziedzin nauki (Michalski 2008; Tytyk 2011). Ocena ergonomiczności jest istotna w procesie projektowania urządzeń sterowniczych co potwierdzają publikacje, np. Dix,a i współpracowników (Dix i in. 2004), Rogers,a, Sharp,a i Preece,a (Rogers, Sharp i Preece 2002), czy Słowikowskiego (Słowikowski 2000a). Spośród metod i testów oceny ergonomicznej można wyróżnić te oparte na wskaźnikach jakościowych i ilościowych. Istnieje wiele prac np. Kwiatkowskiej (Kwiatkowska 2012), Silverman,a (Silverman 2010), czy Stantona i współpracowników (Stanton i in. 2004) przemawiających za każdym z rodzajów metod i testów (tab. 12). Dlatego, powstaje wiele metod i testów jakościowo-ilościowych, które

Tashakkori i Teddlie nazywają *metodologią trzeciej drogi* (Flick 2010). Bryman wskazuje aż jedenaście sposobów łączenia badań ilościowych i jakościowych (Flick 2010).

Tab. 12. Zalety i wady rodzajów metod i testów oceny
Źródło: Na podstawie (Stanton i in. 2004; Silverman 2010; Kwiatkowska 2012)

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

Kierunkami połączenia oceny jakościowej i ilościowej znajdującymi zastosowanie w ocenie interakcji OS-RUiES mogą być:

1. łączenie w celu uzyskania szerszego horyzontu badawczego,
2. rezultaty badań jakościowych można uzupełnić o wyniki badań ilościowych, co niweluje problem reprezentatywności,
3. łączenie podejścia jakościowego z ilościowym może ukazać relację między poziomem mikro i makro badanego zagadnienia,
4. różne badania można stosować na różnych etapach procesu badawczego.

Za oceną jakościowo-ilościową przemawiają m. in. obniżone zdolności poznawcze osób starszych, które mogą mieć wpływ na problem z interpretacją rzeczywistości oraz formułowaniem ocen (Schieber 2003; Guccione, Wong i Avers 2014; Marchewka 2013; Schaie 2004). Problem ten dotyczy także ocen eksperckich (Słowikowski 2000b; Słowikowski 2001). W tym zakresie pomocne będzie zastosowanie podejścia etnograficznego wspomaganego wideo i audio rejestracją.

Klasyfikację metod i testów oceny użyteczności/ergonomiczności przedstawiają m. in. badacze dziedziny HCI, np. Fu i Schmidt (Fu, Schmidt 2001), czy Rauterberg (Rauterberg 1998). Hom (Hom 1998) podzielił metody oceny na trzy kluczowe kategorie:

1. testowanie (ang. *testing*) np. protokół głośnego mówienia, śledzenie ruchów gałek ocznych,
2. inspekcja (ang. *inspection*) np. oceny heurystyczne, listy kontrolne, wędrówka kognitywna,
3. dociekanie (ang. *inquiry*) np. wywiady ankiety, studia etnograficzne.

Preece i in. (Rogers, Sharp i Preece 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 studiem*) oraz ewaluacja predyktywna (ang. *predictive evaluation*) wyróżniają następujące rodzaje ocen:

1. obserwację użytkowników,
2. pytania użytkowników o ich opinie,
3. pytanie ekspertów o ich zdanie,
4. testowanie działań użytkowników,
5. modelowanie zadań wykonywanych przez użytkownika.

Zastosowanie rodzajów ocen Preece i in. rozwiązuje problem łączenia metod jakościowych i ilościowych, gdyż odnosi się do czynników mierzalnych i niemierzalnych. Czynniki te podlegają wrażeniom, obserwacjom i ocenom subiektywnym przez użytkowników, jak i względnie obiektywnego wartościowania eksperckiego na podstawie interpretacji danych wizualnych, werbalnych i liczbowych uzyskanych z pomiarów. W zależności od „przedmiotu" i zakresu oceny w pewnych obszarach oceny te mogą pokrywać się. Wówczas zachodzi walidacja ocen użytkownika. Natomiast w innych obszarach oceny użytkownika i eksperta mają charakter uzupełniający. Jednym z takich obszarów jest ocena wrażeń dotykowych lub ocena odczuć związanych z posiadanymi dolegliwościami zdrowotnymi, gdzie trudno uzyskać dane pomiarowe i obiektywną ocenę eksperta.

Na podstawie publikacji Stantion,a i współpracowników (Stantion i in. 2004), Butlewskiego i Wróbla (Butlewski, Wróbel 2014), oraz Wróbla i Stasiuk-Piekarskiej (Wróbel, Stasiuk-Piekarska 2015) sklasyfikowano metody i testy oceny ergonomicznej ze względu na sposób zbierania danych, analizowania i prezentowania wyników (tab. 13).

Tab. 13. Zalety i wady metod i testów oceny ergonomicznej
Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Stantion i in. 2004; Butlewski, Wróbel 2014; Wróbel, Stasiuk-Piekarska 2015)

L.p.	Metoda/ test	Zalety	Wady
1.	Kwestionariusze osobowe i wywiady	Łatwe i szybkie stosowanie; umożliwiają identyfikację problemów; umożliwiają udoskonalanie badanego systemu; umożliwiają elastyczne wykorzystanie	Opierają się na założeniach wynikających z badań statystycznych; wymagają badań każdorazowo; dane pochodzą od osób badanych i są subiektywne; wymagają ankiet dostosowanych do odbiorców; wymagają wiedzy w jaki sposób interpretować rezultaty
2.	Listy kontrolne i obserwacje	Poprzez pracę ekspertów są obiektywniejsze od oceny subiektywnej badanych; łatwe i szybkie w stosowaniu	Wymagają pracy ekspertów; wymagają czasu przy obserwacji; ocena ekspertów pozostaje oceną subiektywną; wymagają opracowania dla każdego nowego badanego systemu
3.	Metody i testy pomiarowe	Opierają się o badania pomiarowe – są obiektywne; umożliwiają ocenę interakcji badanych czynników; stanowią bazy danych dla bardziej zaawansowanych metod ilościowych – przez co nie muszą być stosowane za każdym razem	Wymagają urządzeń pomiarowych przez co są drogie; wymagają czasu na badania; uwzględniają wybrane czynniki; wymagają wiedzy w jaki sposób badać
4.	Metody i testy	Nie wymagają wiedzy eksperckiej; są	Oparte są na metodach pomiarowych;

	tabelaryczno-szacunkowe	łatwe, szybkie i tanie w stosowaniu	często przyjmuje się przybliżone wartości i przedziały
5.	Arkusze kalkulacyjne	Nie wymagają wiedzy eksperckiej; są łatwe, szybkie i tanie w stosowaniu	Oparte są na metodach pomiarowych; wymagają długotrwałej oceny i obserwacji; wymagają dużej znajomości obserwowanych i ocenianych systemów
6.	Komputerowe arkusze kalkulacyjne	Nie wymagają wiedzy eksperckiej; są łatwiejsze, szybsze w stosowaniu niż papierowe arkusze kalkulacyjne	Oparte są na metodach pomiarowych; wymagają długotrwałej oceny i obserwacji; wymagają dużej znajomości obserwowanych i ocenianych systemów; wymagają sprzętu komputerowego i oprogramowania
7.	Metody i testy rozszerzonej rzeczywistości	Umożliwiają interakcję użytkownika z projektowanym obiektem technicznym i/lub całą przestrzenią pracy; umożliwiają badanie czynników procesu pracy	Nie uwzględniają sił działających na użytkownika; wymagają drogiego wyposażenia i urządzeń pomiarowych
8.	Metody i testy humanoidalne	Umożliwiają ocenę obciążenia narządu ruchu; pozwalają na zaprojektowanie przestrzeni pracy z uwzględnieniem cech antropometrycznych; umożliwiają ocenę pola widzenia	Opierają się o rezultaty badań pomiarowych; tworzenie wymaga dużych kosztów i jest czasochłonne; wymagają wiedzy w zakresie stosowania
9.	Kompleksowe systemy modelowania	Umożliwiają ocenę obciążenia narządu ruchu; pozwalają na zaprojektowanie przestrzeni pracy z uwzględnieniem cech antropometrycznych; umożliwiają ocenę pola widzenia; umożliwiają badanie czynników procesu pracy; uwzględniają motorykę osób starszych	Opierają się o rezultaty badań pomiarowych; wymagają pracy wielu ekspertów i są bardzo kosztowne oraz czasochłonne; wymagają wiedzy w zakresie stosowania

Wybór konkretnego rodzaju metody, czy testu 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). Ponadto wybór metody, czy testu badawczego powinien zależeć od tego, czego badacz poprzez ich zastosowanie chce się dowiedzieć (Kwiatkowska 2012). W tym kontekście można wyróżnić metody i testy oceny ergonomiczności RUiES pod względem ich zastosowania (tab. 14). Umożliwiają one ocenę ergonomiczności pod względem zdolności psychicznych, psychomotorycznych, obciążenia układu biologicznego, cech technicznych wyrobu oraz jakości interakcji pomiędzy układem biologicznym i technicznym systemu.

Tab. 14. Zastosowanie metod i testów oceny ergonomiczności
Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Butlewski, Wróbel 2014; PN-EN 894-3+A1: 2010; Słowikowski 2000 A; Stanton i in. 2004; Wróbel, Stasiuk-Piekarska 2015; Wróbel 2018)

L.p.	Zastosowanie	Przykłady metod i testów
1.	Ocena obciążenia mięśniowo-szkieletowego (ocena pozycji ciała)	OWAS, REBA, RULA, 3D SSPP, JACK, RAMSIS, VERITAS, DELMIA, Anthropos ErgoMAX, Kwestionariusz DASH, elektromiografia, goniometria, dynamometria
2.	Diagnoza dolegliwości mięśniowo-szkieletowych	DASH, ankieta IDMS, listy kontrolne NIOSH i ILO, DMQ, QEC, Strain Index, PLIBEL
3.	Ocena dostępności efektorów	Metody Virtual Reality tj. system AR, zalecenia normy PN-EN 894-3+A1:2010

4.	Ocena widoczności	JACK, RAMSIS, VERITAS, DELMIA, ErgoMan, eye tracker, zalecenia normy PN-EN 894-3+A1:2010
5.	Ocena odbioru bodźców dźwiękowych (potwierdzenie aktywacji)	Audiometry
6.	Ocena odbioru drgań mechanicznych (potwierdzenie aktywacji)	Mierniki czucia wibracji
7.	Ocena wyczuwalności elementów sterowniczych	Tremometry, suporty krzyżowe, symulator ED3, miernik JOY, pomiar jakości regulacji
8.	Ocena szybkości reakcji (prędkości sterowania)	Tremometry, suporty krzyżowe, symulator ED3, miernik JOY, zalecenia normy PN-EN 894-3+A1:2010
9.	Ocena dokładności ruchów sterowniczych	Tremometry, suporty krzyżowe, symulator ED3, miernik JOY, zalecenia normy PN-EN 894-3+A1:2010
10.	Ocena częstotliwości wykonywania zadań sterowniczych (ocena wydolności organizmu)	Tremometry, suporty krzyżowe, symulator ED3, fotografia dnia roboczego, chronometraż
11.	Ocena długotrwałości wykonywanych zadań (ocena wydolności organizmu)	Tremometry, suporty krzyżowe, symulator ED3, fotografia dnia roboczego, chronometraż, elektromiografia
12.	Ocena wrażeń emocjonalnych związanych z cechami RES	Ankiety, ethnography, zalecenia normy PN-EN 894-3+A1:2010
13.	Ocena zdolności kogniwnych (obciążenie informacją)	NASA-TLX, metoda CFF, EEG, elektromiografia, analizy chemiczne, krwi, moczu i potu, Kolorowy Test Połączeń

Przedstawione w tabeli 14 metody i testy oceny ergonomiczności nie wyczerpują ich listy. W literaturze znane są również inne dobrze rozwinięte metody i testy do oceny ergonomiczności układów sterowniczych. Jednak, istnieje niewiele metod i testów do oceny ergonomiczności interakcji OS-RUiES w komunikacji człowiek-komputer. A przy tym, uwzględniających możliwości osób starszych i typ sterowania wynikający z realizowanych za pomocą RUiES zadań. Poza tym, wiele z tych narzędzi nie da się zastosować w hybrydowym systemie ekspertowym. Niemniej można wśród nich wymienić narzędzia, których zaimplementowanie do HSE jest możliwe. Przykładowo będzie to, narzędzie opracowane przez Wallner i in. (Simonwallner.at), metoda i narzędzie opracowane przez Stößel (Stößel 2012), Jednokierunkowy Test Wskazywania Donigiewicza (Donigiewicz 2014), test Burkhard i Koch (Burkhard, Koch 2012), gry zręcznościowe, czy programy służące do nauki szybkiego pisania tj. Rapid Typing, Stamina, TIPP10, Keybr.com (Komputer świat.pl), czy Klavaro-2.00c (Klavaro.pl). Niektóre z tych metod i testów wymagają jednak wprowadzenia rozwiązań zmierzających do ograniczenia problemów związanych ze stopniem trudności wykonywanych zadań sterowniczych, co zauważono w badaniach własnych (Wróbel, Sławińska 2019), a czego skutkiem był brak oceny. Przy tworzeniu opracowanego hybrydowego systemu ekspertowego problem ten rozwiązano poprzez stworzenie własnego testu oceny ergonomiczności interakcji OS-RUiES dla oceny sterowania nadążnego, jak i poprzez zastosowanie programu Klavaro-2.00c do oceny wprowadzania danych tekstowych, który wcześniej sprawdzono z udziałem osób starszych. Oba testy opisano w podrozdziale 4.6.3.

2. Zmienne preferencyjne i cechy urządzeń sterowniczych w kształtowaniu ergonomiczności interakcji OS-RUiES

2.1. Analiza literatury w zakresie preferencji osób starszych do doboru i projektowania RUiES

Kształtowanie ergonomiczności interakcji OS-RUiES zależy w dużej mierze od zebrania informacji o preferencjach użytkowników. Istnieją dwa sposoby zbierania danych o preferencjach użytkowników. Jednym z nich jest ankietowanie, a drugim analiza literatury. Ponieważ zagadnienie to poruszane już było przez wielu badaczy, to w pracy wykonano analizę literatury. Na podstawie analizy literatury zbadano stan wiedzy o rodzajach zmiennych preferencyjnych OS istotnych dla podjętego problemu badawczego. Zmienne preferencyjne OS sklasyfikowano w 13-cie kategorii odpowiadających opracowaniom i wnioskom z zebranych publikacji składających się na przedstawioną syntezę stanu wiedzy (tab. 15).

Tab. 15. Synteza stanu wiedzy dotyczącej preferencji OS istotnych w interakcji OS-RUiES
Źródło: Opracowanie na podstawie przytoczonych źródeł

Zmienna preferencyjna	Stan wiedzy/wybrane opracowania, badania i autorzy
Postawa, motywacja i stres	Odnotowuje się większy strach i niepokój związany z używaniem komputerów wśród OS. Ocena własnych umiejętności, zarówno przy użytkowaniu, jak i przy nauce ich użytkowania, jest ogólnie niższa, niż w przypadku innych grup wiekowych (Marquié, Jourdan-Boddaert i Huet 2002). Wykorzystanie technologii dla OS często może być bardziej zależne od dostępności szkoleń (Rogers i in. 1996), a także wydaje się pragmatyczna ocena tego, czy technologia informatyczna stanie się pożądanym narzędziem dla osób starszych (Melenhorst, Rogers i Bouwhuis 2006; Czaja i in. 1993) oraz związku pomiędzy postrzeganiem tego i postrzeganą trudnością uczenia się (Venkatesh 2000). Badania Laguna i Babcock wskazują, że OS wykazywały znacznie wyższy poziom lęku przed komputerem, niż osoby dorosłe. Lęk komputerowy nie miał związku z wydajnością mierzoną jako procent poprawności zadania, ale był związany z wydajnością mierzoną czasem decyzji. Rezultaty badań Czaja, Sharit. oraz Wagner, Hassanein., i Head wskazują na wpływ wieku na postrzeganie technologii informacyjnej. Zasadniczo im osoba starsza, tym jej stosunek do technologii jest bardziej negatywny (Czaja, Sharit 1998). Jednak zdaniem Phillips i Zhao jest to mylne przekonanie. Phillips i Zhao uważają, że niechęć osób starszych do zastosowanych urządzeń technicznych występuje jedynie u osób niemających styczności z takimi urządzeniami, aż do osiągnięcia okresu starości (Phillips, Zhao 1993). Zatem czynnikiem decydującym jest czas zaznajomienia się z określonym środowiskiem technicznym, a nie jedynie wiek użytkownika (Butlewski 2018).
Wiek	Przyjmuje się, że ze względu na trwające zmiany demograficzne główną grupą docelową urządzeń mobilnych będą osoby starsze (Armbrüster, Sutter i Ziefle 2007).
	Istnieje związek pomiędzy wiekiem, a zręcznością, gdzie wzrost wieku wiąże się z wolniejszymi, mniej zwinnymi i mniej płynnymi, mniej skoordynowanymi i mniej kontrolowanymi czynnościami manualnymi, co przekłada się na efektywność użytkowania urządzeń sterowniczych (Riviere, Thakor 1996). Sugeruje się, że związek ten jest bezpośrednią konsekwencją zmniejszonej siły mięśniowej związanej z wiekiem – zaobserwowano związki pomiędzy wiekiem, siłą i sprawnością ręki. Rezultaty badań pokazały, że zarówno wiek, jak i siła wniosły znaczący wkład do wariancji danych, jednak czynnik wieku wyjaśniał więcej wariancji stabilności statycznej i zdolności śledzenia linii, podczas gdy czynnik siły wyjaśniał więcej wariancji dokładności i efektywności ruchów. Badania Martin i in. pokazały również, że dla osób w wieku późnej dorosłości i starszych istnieje związek pomiędzy zmniejszoną siłą i zmniejszoną stabilnością rąk, podczas gdy dla osób w wieku dorosłym nie występuje zależność pomiędzy siłą i stabilnością rąk (Martin i in. 2015). Na dokładność wykonywanych czynności manualnych wpływ ma także zdolność uczenia się. Rezultaty badań sugerują, że chociaż wydajność ruchowa wykazuje tendencję spadkową w starszym wieku, to zdolności uczenia się pozostają nienaruszone, a osoby starsze są w stanie osiągnąć znaczny wzrost wydajności. Pomimo takich

	wniosków Voelcker-Rehage podkreśla, że stopień, w jakim zdolność uczenia się jest różna w zależności od wieku, należy rozważać bardzo ostrożnie. Podczas gdy większość badań wykazuje, że przyrost wydajności w zadaniach motorycznych jest mniejszy u osób starszych, to rezultaty dla umiejętności motorycznych są bardziej sprzeczne. Ponadto istnieje znaczna zgodność w stwierdzeniu, że różnice w procesie uczenia się związane z wiekiem są statystycznie bardziej wiarygodne w zadaniach o dużej złożoności, podczas gdy w zadaniach o małej złożoności nauka osób młodszych i starszych jest bardzo podobna. Dotyczy to umiejętności motorycznych i ogólnych. Względne różnice wieku wydają się powiększać, gdy do osiągów motorycznych wymagane są zasoby wymagające wysiłku (Voelcker-Rehage 2008).
	W wielu przypadkach osoby starsze są najszybciej rozwijającą się grupą użytkowników komputerów i Internetu zarówno w kontekście spędzania czasu wolnego, jak i pracy zawodowej. Potrzeby i obawy starszych osób, jako użytkowników komputerów, różnią się od potrzeb młodszych użytkowników w wyniku naturalnych zmian związanych z procesem starzenia się, których efektem są także dolegliwości zdrowotne (Wagner, Hassanein i Head 2010). Czaja i Lee uważają, że osoby starsze są obecnie grupą wyjątkowo zróżnicowaną i nie jednolicie podlegają stereotypom dotyczących użytkowania przez nie technologii (Czaja, Lee 2007 A).
Doświadczenie w użytkowaniu RUiES	Problemy i korzyści wynikające z użytkowania urządzeń sterowniczych przez osoby starsze w komunikacji człowiek-komputer przedstawiają m. in. (Szmigielska, Bąk i Jaszczak 2012; Stößel 2012; Rogers i in. 2005).
	Urządzenia i elementy wskazujące, a inaczej sterownicze, to w najszerszym ich znaczeniu elementy interfejsu człowiek-komputer. Interfejsy posiadają swoistą strukturę, co ma wpływ na sposób interakcji i charakter przekazywanych treści (Gałuszka 2017). Słowniki anglojęzyczne definiują pojęcie urządzenie sterownicze (ang. *actuators*) jako: *1.* „coś, co uruchamia coś innego, zwłaszcza mechanizm, powodujący załączenie lub rozłączenie urządzenia", 2. "przekaźnik kontrolujący przepływ prądu" (Wordnik.com), 3. „ serwomechanizm, dostarczający i wysyłający odpowiednią ilość energii do działania innego mechanizmu lub systemu" (Dictionary.com). Natomiast zgodnie z normą PN-EN 894-3+A1: 2010 ręczny element sterowniczy to „element sterowniczy, nastawiany lub aktywowany ręcznie, w celu spowodowania zmiany w systemie, np. przycisk, pokrętło, kierownica", który nie obejmuje aktywizacji dotykowej bez wywierania nacisku, co ma miejsce w przypadku tzw. urządzeń sensorycznych.
	Z analizy dostępnej literatury nasuwają się spostrzeżenia dotyczące powtarzających się zależności porównawczych pomiędzy ergonomicznością interakcji OS-RUiES dla określonych typów RUiES, gdzie (Chaparro i in. 1999; Sandfeld, Jensen 2005; Hertzum, Hornbæk 2013; Lin, Young i Dennerlein 2015): 1. myszy o małym rozmiarze cechuje się wyższą ergonomicznością, niż mysz dużych rozmiarów (badania własne nie potwierdzają jednak tej zależności (Wróbel, Sławińska 2019)), 2. trackball jest oceniany jako ergonomiczniej dostosowany do użytkownika, niż mysz komputerowa (badania własne nie potwierdzają jednak tej zależności (Wróbel, Sławińska 2019)), 3. mysz komputerowa jest również słabsza ergonomicznie, niż ekran dotykowy, mysz z trackballem, czy panel dotykowy (obserwacji tych nie potwierdzają testy porównawcze Lin, Young i Dennerlein (Lin, Young i Dennerlein 2015), jak i własne spostrzeżenia, pomiędzy myszami komputerowymi, a panelami dotykowymi), 4. mysz komputerowa cechuje się wyższą ergonomią, niż trackpoint.
	W literaturze wyróżnia się podział RUiES ze względu na: 1. zaangażowanie energetyczne człowieka w procesach sterowania (Stößel 2012), 2. rodzinę RUiES, czyli grupę rodzajów RUiES, o takich samych właściwościach ruchowych oraz chwytowych, spełniających podobne wymagania wynikające z zadania (PN-EN 894-3+A1: 2010), 3. rodzaj wprowadzanej informacji np. tekstowa, czy manipulacyjna oraz wykonywanie zadań specjalnych, np. do sterowania urządzeniem przez osobę z niepełnosprawnościami (Malina, Szwoch 2017), 4. technologie interfejsu użytkownika, w tym koncepcje interakcji oprogramowania i użytkownika przy wykorzystaniu określonej technologii interfejsów wyjścia i wejścia, 5. podobieństwo konstrukcyjne i sposobów aktywacji, 6. techniczny sposób komunikacji z urządzeniem komputerowym np. interfejs przewo-

	dowy tj. kabel USB lub interfejs bezprzewodowy tj. WiFi, Bluetooth itp., 7. cechy tj.: szybkość i dokładność działania, skuteczność przy wykonywaniu danego zadania, czas uczenia się użytkowania, koszt produkcji i niezawodność oraz rozmiar itp. (Malina, Szwoch 2017).
	W literaturze przedmiotu znaleziono następujące klasyfikacje RUiES: 1. klasyfikacja normy PN-EN 894-3+A1: 2010 omawiająca jedynie RES, z których niektóre tylko występują w interakcji człowiek-komputer, 2. klasyfikacja przedstawiona przez Rogers i współpracowników wprowadzająca podział rodzajów RUS na bezpośrednie i pośrednie (Rogers i in. 2005), 3. klasyfikacja Malina i Szwoch uzupełniająca podział Rogers i współpracowników o RUS niestandardowe i specjalnego przeznaczenia (Malina, Szwoch 2017).
	Zagadnienie użytkowania komputerów nie należy definiować jedynie w kategoriach „użytkował" lub „nieużytkowa". Zwłaszcza w przypadku osób starszych. Szeroki zakres realizowanych funkcji i ogólnie kontekstu użytkowego wskazuje na uwarunkowania danej technologii. Różnice w częstotliwości użytkowania mogą wynikać z różnego nastawienia i zaufania do danej technologii i typu urządzenia, ale mogą również odnosić się do bardziej fundamentalnych różnic, które mogą pomóc przewidzieć, czy nowa technologia zostanie przyjęta przez wszystkie osoby starsze, większość osób, czy przez konkretną osobę (Olson i in. 2011).
Ręczność	Stößel przedstawia różnice w komunikacji gestami pomiędzy populacją osób starszych i młodszych. Analiza wyników wskazuje na znacznie rzadsze stosowanie przez osoby starsze tych samych gestów, co osoby młodsze (Stößel 2012). Natomiast statystycznie osoby młodsze są bardziej niezawodnie i efektywniejsze w wykonywaniu zadań sterowniczych, co z pewnością przekłada się na stosowanie najskuteczniejszych gestów komunikacji i rodzajów aktywacji.
	Autor nie znalazł wpływu lewo- lub praworęczności na uzyskiwany poziom ergonomiczności interakcji OS-RUiES. Jednak wydaje się słuszne przyjęcie, że ręczność RUiES względem preferencji OS ma znaczenie w kształtowaniu ergonomiczności systemu.
Technologia RUiES	Lista problemów związanych z korzystaniem z urządzeń mobilnych przez osoby starsze pokazuje przede wszystkim, że konstrukcja tych urządzeń jest pod wieloma względami jeszcze nie dostosowana. Pokazuje to również, że pomimo rosnących wskaźników użytkowania komputerów przeważają znaczące problemy, pomimo chęci starszych osób do korzystania z technologii (Czaja, Lee 2007 B) i pomimo strategii kompensacyjnych (Baltes, Baltes 1990).
	Zastosowanie określonego typu RUiES zależy w dużej mierze od technologii interfejsu użytkownika, który z racji na wymienione kryterium technologii może być: tekstowy (TUI), graficzny (GUI), powiększalny (ZUI), webowy (WUI) i haptyczny. Rodzaje technologii interfejsów bliżej opisuje Gałuszka (Gałuszka 2017), przy czym podzielić je można na dwie grupy: interfejsy klasyczne i gestykularnej.
	Występują różnice w budowie np.: klawiatury QWERTY, QWERTZ, AZERTY, czy Dworaka, jak i klawiatury dedykowane określonemu rodzajowi pisma np. polskie znaki. Istotne są również różnice w zastosowanych technologiach np. klawiatur komputerowych (np. klawiatury mechaniczne i membranowe) (https://prezi.com; PClab.pl), myszach komputerowych (np. kulowa, optyczna i laserowa) (https://prezi.com), czy ekranach dotykowych (EIZO.pl). Przykładowo, dla ekranów dotykowych wyróżnia się sześć rodzajów technologii tj. (EIZO.pl): 1. ekrany rezystancyjne, czyli opornościowe, 2. ekrany pojemnościowe, 3. ekrany pojemnościowo-projekcyjne, 4. ekrany dotykowe wykorzystujące efekt akustycznej fali powierzchniowej, 5. optyczne ekrany dotykowe pracujące w podczerwieni, 6. ekrany dotykowe z indukcją elektromagnetyczną. Każdy typ technologii ekranów dotykowych ma swoje zalety i wady. Żadna z obecnie oferowanych technologii nie przewyższa w przytłaczający sposób pozostałych, we wszystkich aspektach zagadnienia. Przy wyborze konkretnego rozwiązania należy kierować się docelowym zastosowaniem i środowiskiem, w jakim ekran dotykowy ma pracować (EIZO.pl).
Rozmiar i typ komputera oraz RUiES – mobilność użytkowania	Pożądane cechy urządzeń są często sprzeczne, więc jednej cechy nie można zoptymalizować bez szkody dla innej cechy, czy funkcji. Na przykład starsi użytkownicy oczekują telefonu cienkiego i lekkiego, a jednocześnie oczekują telefonu z dużym ekranem i dużymi przyciskami (Kim i in. 2007). Wynika z tego konieczność podejmowania kompromisów, które potencjalnie nie odpowiadają konkretnym potrzebom i możliwościom określonych użytkowników.
	Typ RUiES zależy od technologii interfejsu, która jest uwarunkowana rodzajem urządzenia komputerowego. Komputery można podzielić ze względu na (Duch 1997): 1. generacje technologii,

	2. budowę (m. in. rozmiar i konfigurację), 3. przeznaczenie (uwzględnienie generacji i budowy na realizację wybranych funkcji).
	W ogólnym rozróżnieniu komputery osobiste ze względu na budowę dzieli się na desktopy, laptopy i palmtopy. Inne źródła dzielą komputery osobiste na: komputery stacjonarne, komputery przenośne, komputery podręczne oraz komputery typu tablet (Szkoła Podstawowa nr 1 w Wolsztynie.pl).
	Uwarunkowania społeczne i zawodowe uwarunkowały potrzebę użytkowania określonych rodzajów urządzeń komputerów. Najczęściej w przypadku osób starszych użytkują oni komputerów stacjonarnych lub telefonów komórkowych (McKinsey Company 2016).
Zdolność widzenia	Bardzo duże zróżnicowanie dolegliwości zdrowotnych m. in. narządu wzroku osób starszych umożliwia wyciągnięcie jedynie ogólnych wniosków przy analizie wyników dla większej grupy osób (Wróbel 2018; Tarkowski i in. 2015).
Dolegliwości kończyn górnych – zdolności motoryczne	Badania wskazują na wpływ wieku i dolegliwości na efektywność użytkowania urządzeń sterowniczych (Riviere, Thakor 1996).
	W Polsce nie prowadzono do tej pory badań dotyczących korelacji pomiędzy dolegliwościami osób starszych, a poziomem wykorzystania technologii informacyjno-komunikacyjnej (Tarkowski i in. 2015), w tym, w aspekcie kształtowania ergonomiczności interakcji OS-RUiES.
	Bardzo duże zróżnicowanie dolegliwości zdrowotnych m. in. kończyn górnych osób starszych umożliwia wyciągnięcie jedynie ogólnych wniosków przy analizie wyników dla większej grupy osób (Wróbel 2018; Tarkowski i in. 2015).
	Potrzeby starszych osób, jako użytkowników komputerów, różnią się od potrzeb młodszych użytkowników w wyniku naturalnych zmian związanych z procesem starzenia się, których efektem są także dolegliwości zdrowotne (Wagner, Hassanein i Head 2010).
Zdolności kognitywne	Obniżenie zdolności kognitywnych osób starszych wpływa na obniżenie zdolności motorycznych i chodź powiązane jest to z procesem starzeniem się (Sphweb.edu), to wiek nie jest czynnikiem determinującym, co zauważono w badaniach własnych (Wróbel 2018). Zdolności kognitywne bardziej, niż od wieku zależą od aktywności intelektualnej i innych czynników (Static.net) tj. choroby, czy przeżyte silnie negatywne doświadczenia.
Zadania	Podkreśla się znaczenie uwzględniania zadań sterowniczych w badaniach naukowych, co podkreślają m. in. (Zhang, Eseryel 2005).
	Osoby starsze najczęściej wykorzystują urządzenia komputerowe do (Wagner, Hassanein i Head 2010): 1. komunikacji i pomocy społecznej, 2. spędzania czasu wolnego i rozrywki, 3. informacji dotyczących problematyki zdrowia, 4. informacji dotyczących problematyki edukacji, 5. podniesienia swojej produktywności. Występują różnice pomiędzy zadaniami wykonywanymi przez osoby starsze, a osobami młodymi z wykorzystaniem urządzeń komputerowych, co przedstawiono m. in. w raporcie (McKinsey Company 2016).
	Maguire podkreśla, że badania użyteczności, czy ergonomiczności są niewłaściwe i niemożliwe z powodu nierealnych do wykonania zadań lub źle postawionego problemu badawczego (Maguire 2001 C). Problem z trudnością określenia właściwych zadań zauważają również Zhang i Eseryel (Zhang, Eseryel 2005). Zdaniem Zhang i Eseyrel na uwagę zasługują dwa aspekty zadań. Po pierwsze, zadania są jednym z tych elementów, które są z natury uważane za oczywiste i czytelne, dlatego większość badaczy zwykle nie odczuwa potrzeby podawania formalnych definicji znaczenia pojęcia zadania. Po drugie, zazwyczaj napotyka się problem z ziarnistością lub poziomem analizy określonych zadań. Zasadniczo zadanie nigdy nie jest jednostką izolowaną, ale raczej składa się z hierarchii lub jest częścią hierarchii powiązanych ze sobą zadań i czynności. Niewiele artykułów uwzględnia zakres i hierarchię zadań (Zhang, Eseryel 2005). Zadania są zwykle traktowane na tym samym określonym poziomie szczegółowości. Większość zadań jest na poziomie wyższym, niż zadania, które występują na poziomie interfejsu komputera, chociaż różne typy zadań mogą się różnić pod tym względem (Zhang, Eseryel 2005).

	Wyróżnia się następujące definicje pojęcia zadanie: 1. „działania podejmowane w celu osiągnięcia celu” (Maguire 2001 C), 2. „przydzielone działanie do ukończenia w określonym czasie” (Merriam-Webster Online.com). 3. działanie lub działania niezbędne do osiągnięcia przez system pracy zamierzonego rezultatu (PN-EN 614-2+A1: 2010), 4. „zespół rozróżnień decyzji i działań efektorowych związanych ze sobą czasową bliskością, bezpośrednim celem oraz ogólnie wyjściami systemu człowiek-maszyna” (Sławińska 2012). W zadaniach operatorskich wyróżnia się ich cztery rodzaje (Sławińska 2012): 1. śledzenia, kontrolowanie oraz regulowanie procesów w celu utrzymania ich w granicach określonych przez instrukcję, 2. odbiór i przetworzenie informacji polegające na rozwiązywaniu problemów (np. kierowanie ruchem w transporcie lotniczym, kolejowym), 3. zdalne telesterowanie poruszającymi się obiektami, 4. bezpośrednie sterowanie obiektu, na którym sam się znajduje. Zadania definiuje się w oparciu o ich specyficzne cechy, takie jak zadania z zakresu intelektu i preferencji, zadania krótkookresowe i długookresowe, zadania o małym i dużym oddziaływaniu, zadania podlegające analizie i mniej analizowalne, zadania dobrze zorganizowane i źle zorganizowane (Zhang, Eseryel 2005). Pojęcie zadanie sterownicze według normy PN-EN 894-3+A1: 2010 to czynność, „w której do osiągnięcia celu zadania zostaje użyty element sterowniczy”.
	W literaturze przedmiotu (Carey, Friedman i Bryen 2005; Olson i in. 2011; Zickuhr 2010) zadania sterownicze klasyfikuje się według przyjętego celu i koncepcji badań. Smith, Sharit i Czaja (Smith, Sharit i Czaja 1999) przedstawili prosty podział zadań sterowniczych dzieląc je na: 1. wskazywanie, 2. kliknięcie, 3. podwójne kliknięcie, 4. rysowanie. Rozbudowany podział zadań przedstawiono w pracy (Wegner i in. 2017). Natomiast jak przedstawia Wegner i in. (Wegner i in. 2017) takie zadania jak instalowanie oprogramowania, czy tworzenie kodu w języku oprogramowania są bardzo trudne dla osób starszych i praktycznie nie wykonywane. Zagadnienia funkcji realizowanych za pomocą komputerów wymieniają również zadania związane z użytkowaniem Internetu, czytaniem e-booków, słuchaniem muzyki, graniem w gry, czy posługiwaniem się kalkulatorem itp. (Wegner i in. 2017).
	Veas i Kruijff w swoich badaniach przedstawili szerszą klasyfikację zadań. Zadania te określili uwzględniając funkcjonalność urządzeń podręcznych (ang. *handheld AR device type)*. Klasyfikacja składająca się z dziewięciu kategorii zadań w pełni odpowiada zadaniom występującym podczas użytkowania różnych typów komputerów osobistych (Veas, Kruijff 2008). Veas i Kruijff scharakteryzowali zadania sterownicze wyższego rzędu pod względem: dokładności prędkości, częstotliwości i długotrwałości sterowania, rodzaju sygnału (ciągły i dyskretny), jedno- i dwuręcznym sterowaniu, wielkości zakresów ruchów, rodzajowi obciążenia (statyczne i dynamiczne) i RUiES. Veas i Kruijff przeprowadzili analizę za**d**ań w ręcznych aplikacjach AR, badając zakres funkcjonalny i związane z nim aspekty kontrolne, aby lepiej zrozumieć wymagania funkcjonalne na użytkowanych konstrukcjach urządzeń AR. Patrząc bliżej na podręczne interfejsy AR, można zauważyć wyraźną zależność pomiędzy platformą systemową, a zakresem i złożonością interakcji (Veas, Kruijff 2008).
	W literaturze można spotkać również inne klasyfikacje zadań sterowniczych występujących w interakcji człowiek- komputer – m. in. Wobbrock, Morris i Wilson (Wobbrock, Morris i Wilson 2009), Thalmeier i Koller (Thalmeier, Koller 2009), oraz Stößel (Stößel 2012). Klasyfikacje te charakteryzują się i wynikają z podziału funkcji urządzeń komputerowych. Wobbrock, Morris i Wilson sklasyfikowali zadania sterownicze mające zastosowanie w badaniach i projektowaniu komputerów stacjonarnych i przenośnych. Thalmeier i Koller przedstawili zadania istotne z punktu widzenia interakcji osób starszych z komputerami podręcznymi. Natomiast Stößel rozszerzył klasyfikacje Wobbrock, Morris i Wilson oraz Thalmeier i Koller o 14 specyficznych funkcji aplikacji, które są bardzo istotne dla interakcji urządzeń mobilnych i użytkowników, na przykład w celu odtwarzania muzyki i funkcji telefonu tj.: odbieraj połączenia, kończ się, pisz wiadomość itp..

	Ponadto zadania istotne w interakcji osób starszych z urządzeniami komputerowymi wyposażonymi w technologię ekranów dotykowych opisali Villamor, Willis i Wromblewski (Behance.net; Villamor, Willis i Wromblewski 2010). Przedstawili oni zadania sterownicze wynikające z czynności manualnych w postaci gestów (*ang. gesture*) kończyn górnych w celu aktywacji określonej funkcji urządzenia.
	Charakterystyka zadań, które mogą wpływać na użyteczność, powinna być opisana np. częstotliwością i czasem trwania zadania. Zadania nie powinny być opisywane wyłącznie w kategoriach funkcji i funkcjonalności. Opisy działań i etapów związanych z wykonaniem zadania powinny być powiązane z celami, które mają zostać osiągnięte oraz z innymi zadaniami według ich relacji i hierarchii. W celu określenia wymagań użytkownika lub oceny użyteczności i ergonomiczności, kluczowy podzbiór zadań kontekstowych będzie zazwyczaj wybierany w celu reprezentowania istotnych aspektów całego zestawu zadań (Maguire 2001c).
Cechy antropometryczne	Zaznacza się potrzebę dostosowywania obiektów technicznych do potrzeb anatomicznych człowieka (Słowikowski 2000b), w tym cech antropometrycznych.
	Występują różnice pomiędzy cechami antropometrycznymi osób młodych i starszych (Jarosz 2003).
Oczekiwania wobec poziomu ergonomiczności RUiES	W badaniach Osmana, Maguire i Tarkiainen osoby starsze zostały poproszone o uszeregowanie pożądanych cech telefonu komórkowego w trzech kategoriach: związanych z użytecznością i ergonomicznością, funkcjami telefonu oraz dostępnymi usługami (Osman, Maguire i Tarkiainen 2003). Cechy związane z użytecznością i ergonomicznością zostały uznane za najbardziej pożądane. W podobnym badaniu, w którym osoby starsze zostały poproszone o ocenę ważności kilku cech urządzeń mobilnych, ergonomię i łatwość użytkowania oceniono jako najważniejsze czynniki (Pohlmeyer, Machens i Blessing 2010). Ponadto autorzy wskazali, że czynniki te zostały uznane za ważniejsze przez osoby starsze, niż przez młodszą grupę porównawczą.
	Wskazywane m. in. w badaniach Szmigielskiej i współpracowników (Szmigielska, Bąk i Jaszczak 2012), czy Lin i współpracownicy (Lin, Hsieh i Shiang 2009) pożądane i niepożądane cechy urządzeń wskazują na postrzeganie przez osoby starsze charakterystyk cech jako czynników wpływających na oczekiwany poziom ergonomiczności.
Oczekiwania estetyczne i koszty	Pomimo najwyższego znaczenia, łatwość użytkowania i ergonomia to tylko część złożonego współdziałania atrybutów produktu, między innymi estetyki, jakości, funkcjonalności, atrakcyjności emocjonalnej, kosztu itp., które tylko w połączeniu dają naprawdę pożądane produkty dla starszych użytkowników (Pohlmeyer iin. 2009). Po drugie, pożądane cechy są często sprzeczne, więc jednej cechy nie można zoptymalizować bez szkody dla innej cechy, czy funkcji. Na przykład starsi użytkownicy oczekują telefonu cienkiego i lekkiego, a jednocześnie oczekują telefonu z dużym ekranem i dużymi przyciskami (Kim i in. 2007). Wynika z tego konieczność podejmowania kompromisów, które potencjalnie nie odpowiadają konkretnym potrzebom i możliwościom określonych użytkowników.

Na podstawie syntezy stanu wiedzy (tab. 15) wyciągnięto następujące wnioski o istotności preferencji OS w doborze i projektowaniu RUiES:

1. postawa, motywacja i stres towarzyszący OS w użytkowaniu RUiES w dużej mierze zależy od doświadczenia użytkowego przed wejściem w okres starości,
2. wiek, ma znaczenie na efektywność wykonywania zadań sterowniczych, jednak istnieje trudność z określeniem oddziaływania pomiędzy czynnikiem wieku, a właściwymi charakterystykami cech RUiES wpływającymi na pożądany poziom ergonomiczności interakcji OS-RUiES,
3. doświadczenie w użytkowaniu określonego typu RUiES, czy rodzaju komputera jest jednym ze znaczących czynników determinujących dobór urządzeń sterowniczych,
4. ręczność osób starszych jest odmienna, niż ręczność osób młodych według kategorii sposobu chwytu, aktywacji i sposobu wykonywania pracy, jednak brak wiedzy o tym zjawisku w kontekście użytkowania RUiES innych, niż ekran dotykowy,

5. technologia wykonania RUiES jest zróżnicowana, jednak obecnie duża część wyrobów ulega ujednoliceniu pod względem tej cechy w danej grupie typu RUiES i urządzeń komputerowych,
6. rozmiar i typ komputera, jak i RUiES jest ważny ze względu na możliwości zdrowotne i użytkowe użytkownika oraz potrzebę danej funkcjonalności i mobilności w określonym środowisku,
7. zdolność widzenia jest istotna ze względu na częste problemy OS w dostrzeganiu i odróżnianiu poszczególnych elementów urządzeń, a nawet ich położenia,
8. dolegliwości kończyn górnych są istotne ze względu na częste problemy OS np. z utrzymaniem napięcia mięśniowego (skurcze), które mogą wymuszać inny rodzaj chwytu, obniżać zdolności motoryczne, efektywność i ergonomię pracy,
9. zdolności kognitywne są istotne ze względu na duże zróżnicowanie w badanej grupie użytkowników oraz ze względu na silne oddziaływanie na oceniane kryteria; wyróżnia się kilka typów zdolności kognitywnych wymagających różnych metod diagnostycznych; z tego względu w pracy wykonano jedynie ogólną ocenę ich oddziaływania na uzyskiwaną ergonomiczność interakcji OS-RUiES (podrozdział 5.2.2.), gdyż przekroczyłby to zakres pracy – zagadnienie to stanowi kierunek dalszych badań,
10. zadania są istotne ze względu na dostosowanie RUiES względem funkcjonalności systemu przewidzianej przez użytkownika,
11. cechy antropometryczne są istotne ze względu na różnice populacyjne i indywidualne,
12. oczekiwania wobec poziomu ergonomiczności RUiES są istotne ze względu na częstszą wśród OS potrzebę posiadania ergonomicznie dopasowanych urządzeń, niż w przypadku osób młodych; uwzględniają one również przyzwyczajenia w użytkowaniu urządzeń o określonych charakterystykach cechy,
13. oczekiwania estetyczne i koszty są istotne, jednak bardzo indywidualne, trudne do określenia, przy tym zmienne (zależne od wynagrodzenia itp.) i zależne od innych ww. zmiennych preferencyjnych.

Wyciągnięte wnioski zastosowano w klasyfikacji i podziale opcji preferencji OS, które przedstawiono w tabeli 16 w podrozdziale 2.2. Powyższe wnioski posłużyły również do wyznaczenia zakresu badań empirycznych (podrozdział 5.2. i 5.3.) i opracowania struktury HSE (podrozdział 4.5. i 4.6.).

2.2. Zmienne preferencyjne w analizie kontekstu użytkowego

Uzyskane na podstawie analizy literatury zmienne preferencyjne zastosowano w analizie kontekstu użytkowego (AKU), którą zastosowano w etapie pierwszego ankietowania opracowanej metody i hybrydowego systemu ekspertowego. Posłużenie się w opracowanej metodzie AKU uzasadnia m. in. potrzeba zbierania danych wejściowych dotyczących kontekstu użytkowego przyszłego systemu C-M-O. Zgodnie z definicją terminu analiza kontekstu użytkowego obejmuje pozyskiwanie informacji o projektowanym systemie C-M-O (Koło Naukowe HCIb). Przy czym kontekst użytkowy definiuje się jako całość złożoną z: „użytkowników, zadań i sprzętu (urządzeń, oprogramowania i materiałów) oraz środowiska fizycznego i społecznego, w których użytkowany jest produkt" (Maguire 2001b; Maguire 2001c).

Uwzględnienie w pracy zagadnienia dotyczącego analizy kontekstu użytkowego i użyteczności ma takie znaczenie, że miary wyznaczające poziom użyteczności stosowane są często do oceny poziomu ergonomiczności. Pomimo rozróżnienia jakości użytkowej i ergonomicznej (Sikorski 2000; Sikorski 2006). Pojęcie analizy kontekstu użytkowego wiąże się z pojęciem kontekstu użytkowego, a ten z pojęciem użyteczności. Wzajemne powiązanie kontekstu użytkowego i użyteczności zawarto w normie ISO 9241-210 definiując pojęcie użyteczności jako: "miarę wydajności, efektywności i satysfakcji użytkownika, z jaką dany produkt może być używany dla osiągnięcia danych celów przez danych użytkowników w danym kontekście" (ISO 9241-210:2010). Ta definicja podkreśla, że na użyteczność produktu wpływają nie tylko cechy samego produktu, ale także konkretnych okoliczności, w których produkt jest użytkowany (Mościchowska, Rogoś-Turek 2018). Pojęcie użyteczności jest również definiowane jako stopień dopasowania rozwiązań informatycznych do potrzeb użytkowników, mierzony łatwością nauki użytkowania i obsługi, skutecznością i efektywnością uzyskanych wyników pracy, oraz odczuwaną satysfakcją z łatwego uzyskania oczekiwanego wyniku (Koło Naukowe HCIa); Kwiatkowska 2012). W powyższych odwołaniach literaturowych zauważyć można podobieństwo cech użyteczności i ergonomiczności. Dlatego uwzględnienie aspektu użyteczności rozszerza zakres kryteriów oceny ergonomiczności.

Analiza kontekstu użytkowego polega na zebraniu szczegółowych informacji dotyczących m.in. (Koło Naukowe HCIb):

1. docelowych użytkowników systemu,
2. realizowanych zadań,
3. motywacji do użycia systemu,
4. umiejętności, doświadczeń i nastawienia użytkowników, oraz
5. ograniczeń technicznych, organizacyjnych, psychologicznych i środowiskowych w wdrożeniu systemu.

Szerszy zbiór komponentów systemu C-M-O, o jakich zbierane mogą być informacje w AKU przedstawia m. in. Maguire (Maguire 2001a). W opracowanej metodzie informacje zbierane w AKU zawężono do opcji preferencji OS przedstawionych w tabeli. 16. Wybrane rodzaje i opcje preferencji podzielono ze względu na kryterium zastosowania.

Tab. 16. Opcje preferencji OS w interakcji OS-RUiES
Źródło: Opracowanie własne

Nr pref.	Rodzaj zmiennej preferencyjnej OS	Zastosowanie rodzaju OP	Nr OP	Opcja zmiennej preferencyjnej (OP)
1.	Doświadczenie w użytkowaniu typu RUiES	Dobór typu RUiES	1.	Klawiatura komputerowa
			2.	Mysz komputerowa
			3.	Mysz komputerowa z kulą wodzącą
			4.	Ekran dotykowy
			5.	Dżojstik
			6.	Gamepad
			7.	Mikro-dżoistik
			8.	Przycisk nawigacji
			9.	Klawiatura telefonu komórkowego
			10.	Kontroler ruchu
			11.	Panel dotykowy
			12.	Kula wodząca

			13.	Mysz komputerowa typu dżojstik
			14.	Długopis świetlny
			15.	Pilot
			16.	Klawiatura ekranowa
			17.	Klawiatura numeryczna
			18.	Rollermouse
			19.	Mysz komputerowa typu 3D
			20.	Kontroler gier typu kierownica
			21.	Przycisk
			22.	Pokrętło
			23.	Rękawica wirtualna
2.	Ręczność	Projektowanie RUiES	24.	Lewa
			25.	Prawa
3.	Mobilność – rodzaj komputera	Dobór typu RUiES	26.	Stacjonarny
			27.	Przenośny
			28.	Mobilny
4.	Technologia RUiES	Dobór typu RUiES	29.	Klasyczne interfejsy użytkownika
			30.	Gestykularne interfejsy użytkownika
5.	Rozmiar komputera i RUiES	Projektowanie RUiES	31.	Mały
			32.	Duży
6.	Zdolność widzenia	Projektowanie RUiES	33.	Potrzeba korygowania zdolności widzenia
			34.	Brak potrzeby korygowania zdolności widzenia
7.	Dolegliwości kończyn górnych	Projektowanie RUiES	35.	Zimne ręce
			36.	Ból dłoni
			37.	Ból w nadgarstku
			38.	Ból w łokciu
			39.	Ból w barku
			40.	Sztywność palca 1-2
			41.	Sztywność palca 3-5
			42.	Sztywność dłoni
			43.	Mrowienie palca 1-2
			44.	Mrowienie palca 3-5
			45.	Mrowienie dłoni
			46.	Skurcze palca 1-2
			47.	Skurcze palca 3-5
			48.	Lewostronne skrzywienie palca 1-2
			49.	Lewostronne skrzywienie palca 3-5
			50.	Prawostronne skrzywienie palca 1-2
			51.	Prawostronne skrzywienie palca 3-5
			52.	Brak
			53.	Problem z widzeniem
8.	Zadania realizowane za pośrednictwem RUiES i komputera	Dobór typu RUiES	54.	Czytać
			55.	Dzwonić
			56.	Zarządzanie aktywnością sportową
			57.	Wykonywać zdjęcia
			58.	Korzystać z Internetu
			59.	Korzystać ze specjalistycznego oprogramowania
			60.	Korzystać z elektronicznych map
			61.	Korzystanie z komunikatorów internetowych
			62.	Przeglądać zdjęcia

			63.	Słuchać muzyki
			64.	Oglądać filmy
			65.	Grać w gry
			66.	Pisać
9.	Zakres cech antropometrycznych kończyn górnych [w mm]	Projektowanie RUiES	67.	Długość ręki (130-170)
			68.	Długość ręki (171-180)
			69.	Długość ręki (181-190)
			70.	Długość ręki (191-200)
			71.	Długość ręki (201-240)
			72.	Długość dłoni (70-100)
			73.	Długość dłoni (101-110)
			74.	Długość dłoni (111-120)
			75.	Długość dłoni (121-130)
			76.	Długość dłoni (131-160)
			77.	Szerokość dłoni (70-80)
			78.	Szerokość dłoni (81-83)
			79.	Szerokość dłoni (84-86)
			80.	Szerokość dłoni (87-89)
			81.	Szerokość dłoni (90-100)
			82.	Długość palca wskazującego (60-70)
			83.	Długość palca wskazującego (71-75)
			84.	Długość palca wskazującego (76-79)
			85.	Długość palca wskazującego (80-84)
			86.	Długość palca wskazującego (85-95)
			87.	Szerokość palca wskazującego (15-17)
			88.	Szerokość palca wskazującego (18)
			89.	Szerokość palca wskazującego (19)
			90.	Szerokość palca wskazującego (20)
			91.	Szerokość palca wskazującego (21-25)
10.	Oczekiwania wobec poziomu ergonomiczności RUiES	Projektowanie RUiES	92.	Bardzo małe
			93.	Małe
			94.	Średnie
			95.	Duże
			96.	Bardzo duże

Zastosowane w preferencje podzielono na 10 rodzajów (tab. 16). Na podstawie wniosków z podrozdziału 2.1. rodzajom tym przyporządkowano opcje preferencji, przy czym w:

1. identyfikacji doświadczenia użytkowego zastosowano opcje wyboru związane z typami RUiES,
2. określeniu ręczności ograniczono się do uwzględnienia lewo- i praworęczności,
3. ocenie mobilności przyjęto podział komputerów na stacjonarne, przenośne i mobilne,
4. aspekcie technologii ograniczono się do podziału RUiES na interfejsy klasyczne i gestykularne,
5. uwzględnieniu rozmiaru komputera i RUiES również zastosowano uproszczenie w postaci dwóch opcji preferencji tj.: duży i mały rozmiar urządzenia,
6. identyfikacji zdolności widzenia przekładającej się na wielkość opisów i znaków informacyjnych na RUiES uwzględniono zdolność widzenia w okularach lub szkłach kontaktowych oraz konieczność używania korektorów wad wzroku,

7. określaniu dolegliwości kończyn górnych posłużono się ich identyfikacją na podstawie własnych badań (Wróbel 2018) oraz uszczegółowieniem na pary palców tj.: 1 i 2 palec oraz 3-5 palec, co uzasadnia np. częste mrowienia w obrębie ww. par palcy,
8. identyfikacji przewidywanych zadań realizowanych za pomocą dobieranego urządzenia sterowniczego zastosowano własny podział zadań uwzględniający klasyfikację Veas i Kruijff (Veas, Kruijff 2008) oraz odpowiadający typom sterowania występujące w komunikacji człowiek-komputer; wybrane rodzaje zadań sprowadzają się do zadań nadążnych, nienadążnych lub zarówno nadążnych, jak i nienadążnych, co przedstawiono w podrozdziale 4.6.3.,
9. określeniu wartości cech antropometrycznych posłużono się normami PN-EN 547-3+A1:2010 i PN-EN ISO 7250:2005,
10. ocenie oczekiwanego przez OS poziomu ergonomiczności dobieranego RUiES zastosowano skalę pięcio-stopniową.

Uzyskano 96 opcji preferencji (załącznik: folder nr 2.4.2.; plik nr 131), z których użytkownik w AKU może wskazać minimalnie 14, a maksymalnie 65 z nich (tab. 16). W tym OP1-91 zastosowano jedynie w zbieraniu danych do doboru lub projektowania. Natomiast za pomocą OP92-96 określa się poziom ogólnych wymagań ergonomii, jak i poziom ergonomiczności OS-RUiES.

Przedstawione opcje preferencji (tab. 16) ze względu na ich uniwersalny charakter nie ograniczają się jedynie do osób starszych. Jednak w porównaniu do innych grup użytkowników opcje preferencji osób starszych tj. dolegliwości charakteryzują się dużym zróżnicowaniem i dynamiką zmian względem poszczególnych osób tej grupy użytkowników (Wróbel 2018), co utrudnia ich wartościowanie. Podejście spersonalizowane uzasadnia Merkisz-Guranowska podkreślając, że uwzględnienie wszystkich preferencji jest często niemożliwe w podejmowaniu decyzji (Merkisz-Guranowska 2013). Dlatego rozsądnie jest prawidłowe zdefiniowanie i wyodrębnienie docelowej grupy użytkowników systemu C-M-O.

2.3. Cechy podzespołów RUiES oddziaływujące na ergonomiczność interakcji OS-RUiES

Określenie cechy podzespołów RUiES jest ważne ze względu na potrzebę określenia zakresu modyfikacji techniczno-ergonomicznej. Elementy RUiES połączone ze sobą tworzą elementy składowe, inaczej podzespoły, pełniąc wyodrębnione funkcje urządzenia (PWN-Doroszewski.pl). Podzespoły RUiES podzielono według kryterium lokalizacji na:

1. podzespoły zewnętrzne – zlokalizowane całkowicie ponad obudową lub stanowiące część obudowy,
2. podzespoły wewnętrzne – zlokalizowane całkowicie pod obudową,
3. podzespoły zewnętrzno-wewnętrzne – zlokalizowane zarówno pod, jak i nad obudową lub tylko pod obudową, jednak wymagające np. inspekcji i/lub wymiany,
4. podzespoły software'owe – będące oprogramowaniem komputerowym.

Na podstawie różnic w budowie klasycznych i gestykularnych RUiES wyszczególnić można 16 rodzajów cech dla 13 typów podzespołów oddziaływujących na poziom ergonomiczności interakcji OS-RUiES (tab. 17). RUiES dzieli się na urządzenia dedykowane do sterowania nadążnego i nienadążnego. Jednak większość typów RUiES pełni rolę interfejsu

w sterowaniu nadążnym. Urządzeniami do sterowania nadążnego są np. mysze komputerowe, dżojstiki, kule wodzące, panele i ekrany dotykowe, czy rękawice wirtyalne. Natomiast urządzenia stosowane w sterowaniu nienadążanym służą przede wszystkim do wprowadzania znaków i są to np. klawiatura numeryczna, czy klawiatura komputerowa. Duża część podzespołów i cech RUS jest taka sama pomiędzy klasycznymi typami urządzeń tj. dżojstik, mysz komputerowa, czy kula wodząca (ang. *trackball*). Natomiast bardzo dużą różnicę w podzespołach i cechach zauważyć można pomiędzy klasycznymi i gestykularnymi RUS tj. ekran i panel dotykowy, czy rękawice wirtualne.

Ocena zakresu oddziaływania cech podzespołów na kształtowanie ergonomiczności interakcji OS-RUiES umożliwia identyfikację potencjalnych obszarów modyfikacji charakterystyk cech (tab. 17). Ocena ta obejmowała następujące oddziaływania OS-RUiES:

1. oddziaływanie motoryczne – współdziałanie segmentów kończyn górnych użytkownika z uchwytem i elementami sterowniczymi RUS,
2. oddziaływanie wizualne – współdziałanie w wzrokowej kontroli, identyfikacji położenia i budowy RUS oraz rozmieszczenia i przeznaczenia RES.

Uzyskanie modyfikacji charakterystyk cech względem opcji preferencji w opracowanym HSE wymagało uwzględnienia następujących podzespołów:

1. podstawa,
2. obudowa (uchwyt),
3. elementy sterownicze,
4. elementy informacyjne,
5. interfejs,
6. przewód zasilający,
7. podzespół czujnika,
8. podzespół zasilania,
9. oprogramowanie.

Natomiast z wymienionych w tabeli 17 cech podzespołów RUiES w HSE uwzględniono:

1. rozmiar,
2. forma,
3. liczba,
4. położenie,
5. ciężar,
6. wytrzymałość,
7. czułość,
8. inercja,
9. przełożenie,
10. siła tarcia,
11. siła aktywacji,
12. zakres ruchu,
13. stabilność,
14. kolorystyka,
15. temperatura.

Pozostałe podzespoły i cechy pominięto z uwagi na brak konieczności ich dopasowywania do przyjętych w pracy opcji preferencji osób starszych.

Tab. 17. Zakres oddziaływania cech podzespołów RUiES na kształtowanie ergonomiczności interakcji OS-RUiES
Źródło: Opracowanie własne

Podzespół zewnętrzny/ wewnętrzny	Podzespół i oprogramowanie	Cecha podzespołu															
		Rozmiar	Forma	Liczba	Położenie	Ciężar	Wytrzymałość	Czułość	Inercja	Przełożenie	Siła tarcia	Siła aktywacji	Zakres ruchu	Stabilność	Kolorystyka	Temperatura	Odporność na zabrudzenia
Wewnętrzny	Konstrukcja	X	X	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-
Zewnętrzny	Podstawa	X	X	-	X	X	X	-	-	-	X	-	X	X	-	-	X
Zewnętrzny	Obudowa (uchwyt)	X	X	X	X	X	X	-	-	-	X	-	X	X	X	X	X
Zewnętrzny	Element sterowniczy – podzespół mechaniczno -elektryczny	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Zewnętrzny	Element informacyjny	X	X	X	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	X	-	X
Wewnętrzny	Interfejs	X		-	X	X	X	X	X	-	-	-	-	X	X	-	X
Zewnętrzny	Przewód zasilający	X	X	-	-	X	X	-	-	-	X	-	X	-	X	X	X
Zewnętrzny	Pokrywa obudowy	X	X	-	X	-	X	X	-	-	X	X	X	X	X	X	X
Wewnętrzny	Element połączeniowy	X	X	X	X	-	X	-	-	-	X	-	X	X	X	X	X
Wewnętrzny	Podzespół elektroniczny	-	-	-	X	X	X	-	X	X	-	-	-	X	-	-	-
Zewnętrzny/ wewnętrzny	Podzespół czujnika	X	-	X	X	-	X	X	X	-	-	-	X	X	X	-	X
Zewnętrzny/ wewnętrzny	Źródło zasilania	X	X	X	X	X	X	-	-	-	X	-	X	X	X	X	X
Software	Oprogramowanie	-	-	-	-	-	X	X	X	X	-	-	-	X	-	-	-
Legenda: X – możliwy wpływ cechy podzespołu na kształtowanie ergonomiczności interakcji OS-RUiES																	

W pracy przyjęto dwa kryteria wyznaczania zakresu zmian charakterystyk cech podzespołów RUiES wskazujące ogólne relacje pomiędzy elementami systemu. Pierwszym kryterium jest charakterystyka cech podzespołów. Uzasadnia to oddziaływanie cech podzespołów na właściwości pomiędzy podzespołami, jak i podzespołami a użytkownikiem określając poziom ergonomiczności interakcji OS-RUiES. Badania m. in. Słowikowskiego (Słowikowski 2000), Sandfeld i Jensen (Sandfeld, Jensen 2005), czy badania własne (Wróbel, Sławińska 2019) wykazały, że różne charakterystyki cech urządzeń sterowniczych oddziaływują na zmianę uzyskiwanej podczas wykonywania zadań dokładności regulacji i czasu ich trwania. Kryterium to przełożyło się na następujący podział zakresu zmian charakterystyk cech uwzględniający oddziaływania podzespół-użytkownik i podzespół-podzespół:

1. zakres urządzenie – kończyny – uwzględnienie szerokości w sytuacji doboru RUS o dużych wymiarach tj. klawiatura komputerowa w celu zapewnienia odpowiedniej szerokości RUS względem szerokości obręczy barkowej,
2. zakres urządzenie – uchwyt (pod dłonią) – uwzględnienie cechy obudowy tj. rozmiar, forma i położenie w taki sposób by chwyt był pewny i wygodny,
3. zakres urządzenie – RES (uchwyt pod palcami) - uwzględnienie cech obudowy tj. rozmiar, forma i położenie w taki sposób by chwyt był pewny i wygodny oraz by RES znajdowały się bezpośrednio pod palcami lub ewentualnie w najbliższym ich położeniu ograniczając nienaturalne ruchy palcami,
4. zakres wyprofilowanie – uchwyt (lewy bok) – uwzględnienie przede wszystkim tych cech obudowy, które określają kierunek i położenie wyprofilowań oraz ich głębokość,
5. zakres wyprofilowanie – uchwyt (prawy bok) - uwzględnienie przede wszystkim tych cech obudowy, które określają kierunek i położenie wyprofilowań oraz ich głębokość,
6. zakres wyprofilowanie – RES - uwzględnienie tych cech RES, które określają kierunek i położenie wyprofilowań oraz ich głębokość; wyprofilowania te zależne są w tym przypadku od wyprofilowań obudowy,
7. zakres RES - uwzględnienie cech RES tj. rozmiar, forma, siła aktywacji i położenie w taki sposób by zapewniały właściwy sposób pracy,
8. Zakres RES – RES – uwzględnienie położenia RES względem siebie; zakres ten wynika z zakresu nr 3, 6 i 7,
9. Zakres pozostałe cechy RUiES – uwzględnienie pozostałych cech dotyczących podzespołów tj. oprogramowanie, czujniki, interfejs, RES, czy obudowa; cechy te są dodatkowe lub wynikają w ww. zakresów dostosowania.

Podział i kolejność zakresów zmian uwzględnia również drugie kryterium analizy zakresu charakterystyk cech RUiES. Kryterium drugie określa rangi modyfikacji cech podzespołów predysponując wykonanie modyfikacji, które mogą określać charakterystykę cech innych podzespołów. Przykładowo, można pominąć uwzględnienie charakterystyk cech podzespołu elektronicznego tj. szerokość w sytuacji uwzględnienia charakterystyk obudowy przy założeniu, że układy elektroniczne znajdą się pod obudową. Zastosowanie obu kryteriów wyznaczania zakresu zmian charakterystyk cech, porządkuje i zmniejsza liczbę możliwych wyborów oraz zakres oddziaływania cech RUiES na kształtowanie ergonomiczności interakcji OS-RUiES (tab. 17).

2.4. Charakterystyki cech do doboru i projektowania RUiES

Jak zauważa Zawadzki (Zawadzki 2016) projektowanie jest procesem złożonym, w którym realizacja poszczególnych zadań może być prowadzona na wiele różnych sposobów, a wybór najodpowiedniejszego w danym przypadku jest najtrudniejszym zadaniem projektanta, który jako twórca ma największy wpływ na ostateczny kształt wyrobu. Brak jednoznaczności w rozwiązywaniu problemów projektowo-konstrukcyjnych skłania inżynierów do poszukiwania i analizowania różnych wariantów rozwiązań. W tym kontekście zastosowanie znajdują systemy ekspertowe wyposażone m. in. w bibliotekę charakterystyk cech RUiES. Biblioteka charakterystyk cech RUiES w systemie ekspertowym stanowi bazę informacji technicznej, która zdaniem Gasparskiego (Gasparski 1988) wraz z zasadami naukowymi i wyobraźnią projektanta jest potrzebna do formułowania struktury mechanicznej maszyny lub systemu w projektowaniu technicznym (inżynierskim). Dobór i projektowanie dla osób starszych wymaga elastycznego podejścia do określania charakterystyk cech RUiES ze względu na znaczne zróżnicowanie wymagań i oczekiwać, które podzielono na:

1. wymagania antropometryczne i oczekiwania dotyczące charakterystyk cech indywidualnie i subiektywnie odbieranych jako ergonomiczne,
2. wymagania wynikające z zasad ergonomii,
3. wymagania cech RUiES zorientowane na ograniczanie odczuć dolegliwości zdrowotnych kończyn górnych i narządu wzroku.

W związku z podziałem wymagań i oczekiwań w HSE opracowano trzy uzupełniające się grupy modyfikacji cechy RUiES:

1. grupa charakterystyk cech podzespołów – zawiera podstawowe cechy i ich charakterystyki niezbędne do zaprojektowania urządzenia sterowniczego (tab. 18),
2. grupa zaleceń technicznych odpowiadających wymaganiom ergonomii (przedstawiona w tab. 5; podrozdział 1.2.1.),
3. grupa rozwiązań technicznych ograniczających wpływ dolegliwości (tab. 19).

W celu ograniczenia liczby zmiennych grupę z tabeli 18 podzielono na 56 cechy po pięć przedziałów charakterystyk. Zawarte w grupie przedziały uwzględniają wcześniej przyjęte:

1. etapy i zakresy dostosowania RUiES do użytkowników,
2. cechy podzespołów,
3. charakterystyki cech wynikające z pomiarów dostępnych urządzeń.

Spośród przedstawionych w tabeli 18 terminów i zakresów charakterystyk cech dwa wymagają komentarza. Pierwszy termin odnosi się do cech podzespołów nr 28-33 dotyczących elementu sterowniczego, który jest wykorzystywany najczęściej i który pełni najważniejszą rolę w aktywacji opcji wyboru GUI (tab. 18). Natomiast drugi termin dotyczy cech nr 34-39, które odnoszą się do odległości pomiędzy wyżej scharakteryzowanym elementem sterowniczym, a drugim najczęściej stosowanym i najważniejszym RES.

Zastosowane w HSE grupy bibliotek charakterystyk cech w możliwym stopniu dopasowano do wszystkich typów RUiES w komunikacji człowiek-komputer. Efektem tego jest konieczność podstawianie niektórych cech pomiędzy takimi urządzeniami jak np. mysz komputerowa i dżojstik. Trudność ta dotyczy przede wszystkim grupy charakterystyk cech RUiES, dlatego przy interpretowaniu wyników wnioskowania na jej podstawie niezbędna jest wiedza eksperta.

Tab. 18. Charakterystyki cech podzespołów RUiES
Źródło: Na podstawie (Wróbel, Sławińska 2019)

Etap i zakres dostosowania	Cecha podzespołu RUiES (WT)	Nr WT	Przedział charakterystyk cech podzespołów RUiES (WWT) [mm; N; N·m; g; lx]				
			1	2	3	4	5
Urządzenie – kończyny	Szerokość urządzenia w przypadku klawiatur	1.	20-30	31-35	36-40	41-45	46-60
Urządzenie – uchwyt (pod dłonią)	Długość urządzenia	2.	30-45	46-60	61-75	76-90	91-150
	Szerokość urządzenia	3.	40-55	56-70	71-85	86-100	101-140
	Wysokość urządzenia	4.	20-30	31-40	41-50	51-60	60-80
	Średnica urządzenia przy zacisku dłoń – palce	5.	20-40	41-60	61-80	81-100	101-120
	Kąt pochylenia płaszczyzny uchwytu do wewnątrz – na zewnątrz	6.	0-20	21-45	46-60	61-75	76-90
	Kąt pochylenia płaszczyzny uchwytu do dołu – do góry	7.	-21-40	-1-20	0	+1-20	+21-40
Urządzenie – RES (pod palcami)	Długość urządzenia	8.	30-40	41-50	51-60	61-70	71-80
	Szerokość urządzenia	9.	30-40	41-50	51-60	61-70	71-80
	Wysokość urządzenia	10.	15-25	26-35	36-45	46-55	56-80
	Kąt pochylenia płaszczyzny uchwytu do wewnątrz – na zewnątrz	11.	0-20	21-45	46-60	61-75	76-90
	Kąt pochylenia płaszczyzny uchwytu do dołu – do góry	12.	-21-40	-1-20	0	+1-20	+21-40
Wyprofilowanie – uchwyt (lewy bok)	Długość wyprofilowań	13.	0	30-55	56-80	81-105	106-130
	Szerokość wyprofilowań	14.	0	15-30	31-45	46-60	61-75
	Głębokość wyprofilowań	15.	0	1-3	4-6	7-10	11-30
	Kierunek wyprofilowań	16.	Od tył-dół do przód-góra	Od tył-góra do przód-dół	W linii prostej	Bardziej na dolnej części urządzenia	Bardziej na górnej części urządzenia
	Położenie wyprofilowań	17.	Tył płycej przód głębiej	Tył głębiej przód płycej	Tył i przód płycej środek głębiej	Tył i przód głębiej środek płycej	Bardziej pośrodku wysokości urządzenia
Wyprofilowanie – uchwyt (prawy bok)	Długość wyprofilowań	18.	0	30-55	56-80	81-105	106-130
	Szerokość wyprofilowań	19.	0	15-30	31-45	46-60	61-75
	Głębokość wyprofilowań [mm]	20.	0	1-3	4-6	7-10	11-30
	Kierunek wyprofilowań	21.	Od tył-dół do przód-góra	Od tył-góra do przód-dół	W linii prostej	Bardziej na dolnej części urządzenia	Bardziej na górnej części urządzenia
	Położenie wyprofilowań	22.	Tył płycej przód głębiej	Tył głębiej przód płycej	Tył i przód płycej środek głębiej	Tył i przód głębiej środek płycej	Bardziej pośrodku wysokości urządzenia
Wyprofilowanie – RES	Długość wyprofilowań	23.	0	1-15	16-30	31-45	46-60
	Szerokość wyprofilowań	24.	0	1-15	16-30	31-45	46-60

	Głębokość wyprofilowań [mm]	25.	0	1-3	4-6	7-10	11-30
	Kierunek wyprofilowań	26.	W poprzek RES po przekątnej od lewego tyłu do prawego przodu	W poprzek RES rozpoczynając pomiędzy środkiem a narożnikiem RES od lewego tyłu do prawego przodu	Centralnie wzdłuż RES	W poprzek RES rozpoczynając pomiędzy środkiem a narożnikiem RES od prawego tyłu do lewego przodu	W poprzek RES po przekątnej od prawego tyłu do lewego przodu
	Położenie wyprofilowań	27.	Z lewej strony	Z prawej strony	Centralnie	Z tyłu	Z przodu
RES	Położenie RES	28.	Od spodu urządzenia	Na lewym boku urządzenia	Na prawym boku urządzenia	Od przodu urządzenia	Od góry urządzenia
	Długość RES	29.	0-20	21-30	31-40	41-50	51-60
	Szerokość RES	30.	0-20	21-30	31-40	41-50	51-60
	Wysokość RES – obudowa dla pozostałych RES i małych joy.	31.	0	1-10	11-20	21-30	31-40
	Wysokość RES – obudowa dla dużych joysticków	32.	41-80	81-120	121-160	161-200	201-300
	Siła niezbędna do aktywacji RES	33.	0.00-0.05	0.06-0.10	0.11-0.15	0.16-0.20	0.21-0.30
RES – RES	Odległość RES – RES oś X dla małych odległości	34.	0-2	3-5	6-10	11-20	21-30
	Odległość RES – RES oś X dla dużych odległości	35.	31-50	51-100	101-150	151-200	201-300
	Odległość RES – RES oś Y dla małych odległości	36.	0-2	3-5	6-10	11-20	21-30
	Odległość RES – RES oś Y dla dużych odległości	37.	31-50	51-100	101-150	151-200	201-300
	Odległość RES – RES oś Z dla małych odległości	38.	0-2	3-5	6-10	11-20	21-30
	Odległość RES – RES oś Z dla dużych odległości	39.	31-50	51-100	101-150	151-200	201-300
Pozostałe cechy RUiES	Masa dla myszy, gamepada itp. [g]	40.	0-50	51-100	101-150	151-200	201-350
	Masa dla klawiatur, joysticka itp. [g]	41.	0-300	301-600	601-900	901-1200	1201-1500
	Rodzaj interfejsu/zasilanie	42.	Bluet-ooth+bateria	WiFi+bateria	Bluetooth+WiFi +bateria	Kabel USB 2.0	Kabel USB 3.0
	Wielkość przełożenia układu sterowania	43.	5:1 – 4:1	3:1 – 2:1	1:1	1:2 – 1:3	1:4 – 1:5
	Możliwość doboru DPI	44.	500-3000	3001-5500	5501-8000	8001-10500	10501-16000
	Liczba RES dla urządzeń jednoręcznych i mniejszych	45.	1-2	3-5	6-10	11-20	21-30
	Liczba RES dla klawiatur	46.	0-15	16-30	31-45	46-60	61-75
	Forma urządzenia	47.	Bardzo kanciasta	Kanciasta	Z zaokrągleniami na brzegach	Lekko okrągła	Okrągła
	Elementy informacyjne RES	48.	Niewystępujące	Mało kontrasto-we, mało wi-doczne; Rozmiar: Trzcionka 9 i mniejsza	Umiarkowanie kontrastowe, przeciętnie widoczne; Rozmiar: Trzcionka 10-11	Kontrastowe, widoczne; Rozmiar: Trzcionka 12-13	Wysoko kontra-stowe, doskonale widoczne; Rozmiar: Trzcionka 14 i większa

	Elementy informacyjne uchwytu	49.	Niewystępujące	Mało kontrastowe, mało widoczne; Rozmiar: Trzcionka 9 i mniejsza	Umiarkowanie kontrastowe, przeciętnie widoczne; Rozmiar: Trzcionka 10-11	Kontrastowe, widoczne; Rozmiar: Trzcionka 12-13	Wysoko kontrastowe, doskonale widoczne; Rozmiar: Trzcionka 14 i większa
	Kolorystyka + kolorystyka podświetlenia	50.	Bardzo ciemna Bardzo jednorodna (1 kolor)	Ciemna Jednorodna (2 kolory)	Wyważona (3-4 kolory)	Jaskrawa Wielokolorowa (5-7 kolorów)	Bardzo jaskrawa Bardzo wielokolorowa (8 i więcej kolorów)
	Podświetlenie obudowy [lx]	51.	Brak 0 lx	Stłumione 101-300 lx	Umiarkowanie intensywne 301-400 lx	Intensywne 401-500 lx	Bardzo intensywne 501-600 lx
	Podświetlenie RES [lx]	52.	Brak 0 lx	Stłumione 101-300 lx	Umiarkowanie intensywne 301-400 lx	Intensywne 401-500 lx	Bardzo intensywne 501-600 lx
	Materiały	53.	Bardzo miękkie	Miękkie	Średnio twarde	Twarde	Bardzo twarde
	Materiał antypoślizgowy obudowy	54.	Materiał o bardzo małym tarciu	Materiał o małym tarciu	Materiał o średnim tarciu	Materiał o dużym tarciu	Materiał o bardzo dużym tarciu
	Materiał antypoślizgowy RES	55.	Materiał o bardzo małym tarciu	Materiał o małym tarciu	Materiał o średnim tarciu	Materiał o dużym tarciu	Materiał o bardzo dużym tarciu
	Temperatura obudowy i RES [°C]	56.	15 i mniej	16-20	21-25	26-30	31 i więcej

Ze względu na potrzebę uwzględnienia dolegliwości kończyn górnych i narządu wzroku osób starszych do grupy charakterystyk cech podzespołów dodano odrębną korygującą przewidywany zbiór zaleceń grupę rozwiązań technicznych ograniczających wpływ dolegliwości (tab. 19). Reguły przydziału rozwiązań technicznych ograniczających wpływ negatywnych odczuć zdrowotnych do dolegliwości przedstawiono w załączniku: folder nr 2.2.2.; plik nr 23.

Tab. 19. Lista rozwiązań technicznych ograniczających wpływ dolegliwości
Źródło: Opracowanie własne

Symbol	Rozwiązanie techniczne
PCT1	Uchwyt i elementy sterownicze o temperaturze 22-28 stopni Celsjusza
PCT2	Kąt pochylenia płaszczyzny uchwytu 46-90 stopni
PCT3	Dedykowane urządzenie bez dodatkowych programowalnych przycisków
PCT4	Dedykowane elementy sterownicze z chropowatą powierzchnią
PCT5	Dedykowane elementy sterownicze wymagające większej siły w celu ich aktywacji (0.21-0.30N/N•m)
PCT6	Dedykowany średni rozmiar ekranu (16-18 cali) i elementów informacyjnych(czcionka 10-11)
PCT7	Dedykowany duży rozmiar ekranu (24-28 cali) i elementów informacyjnych (czcionka 14 i większa)
PCT8	Dedykowane większe znaki i symbole graficzne (10 mm i więcej) oraz wysoce kontrastowa kolorystyka (np. kolory biały-czarny lub biały-granatowy itp.)
PCT9	Dopuszczalne mniejsze znaki i symbole (7-9 mm) lub ich brak oraz nisko kontrastowa kolorystyka (np. kolor czerwony-żółty lub czarny-szary itp.)
PCT10	Dedykowane znaczne zaokrąglenie uchwytu pod palcami, jeżeli występuje zaciśnięcie lub objęcie urządzenia
PCT11	Dedykowane szersze elementy sterownicze (41-50 mm)
PCT12	Dedykowane płaskie elementy sterownicze
PCT13	Dedykowane oddalenie elementów sterowniczych o 5-10 mm względem siebie
PCT14	Dedykowane urządzenie z chropowatą powierzchnią uchwytu pod dłonią
PCT15	Brak dodatkowych zaleceń technicznych

Z punktu widzenia poziomu innowacyjności, w odniesieniu do konstrukcji wyróżnić można projektowanie (Zawadzki 2016):

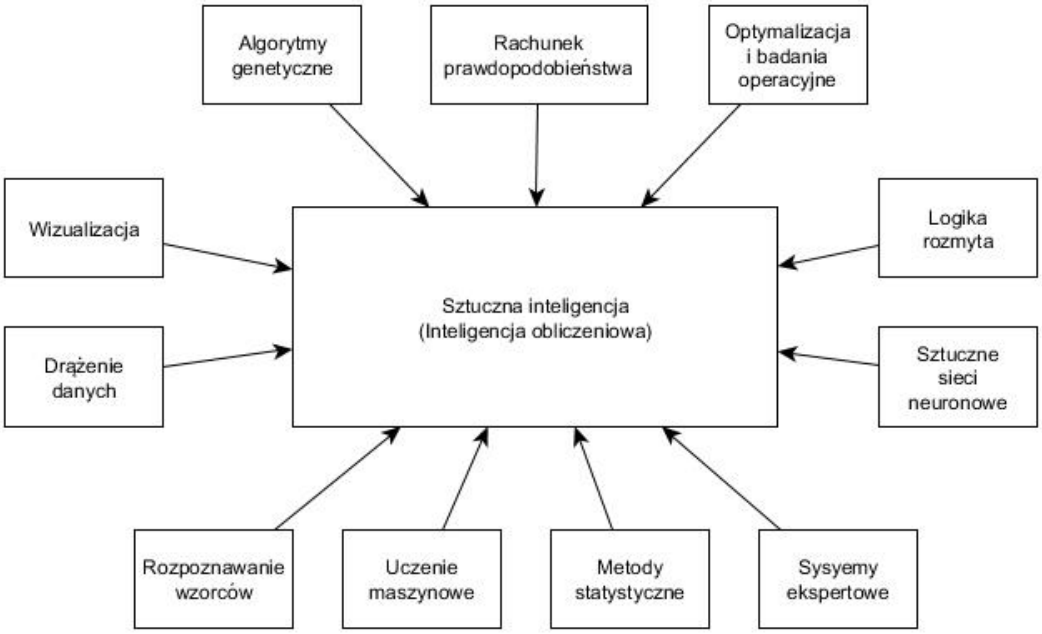
2. rutynowe – opracowanie konstrukcji na bazie istniejących, sprawdzonych rozwiązań,
3. innowacyjne – opracowanie konstrukcji z częściowym zastosowaniem nowych rozwiązań,
4. kreatywne – opracowanie zupełnie nowych rozwiązań konstrukcyjnych.

Celem projektowania kreatywnego jest tworzenie prototypowych rozwiązań, sprawdzających oryginalne koncepcje, które mają zaspokajać nowe potrzeby. Projektowanie kreatywne to proces skomplikowany, długotrwały i obecnie niemożliwy do realizacji bez udziału człowieka, który często wymaga prowadzenia prac badawczych. Natomiast projektowanie rutynowe opiera się na adaptacji istniejących rozwiązań konstrukcyjnych. W mniejszym stopniu dotyczy to również projektowania innowacyjnego (Zawadzki 2016). Niniejsza praca dotyczy przede wszystkim projektowania innowacyjnego wykorzystującego znane ogólne rozwiązania wariantowe i ich połączeń na cel projektowania jakim jest osiągnięcie oczekiwanego poziomu ergonomiczności interakcji systemu sterowania. Takie projektowanie wiąże się z tworzeniem wyrobów wariantowych. Jednak w mniejszym zakresie, niż ma to miejsce w przypadku projektowania rutynowego. Uzyskiwane na podstawie opracowanych grup zmiennych RUiES dane o projektowanym urządzeniu nie posiadają wystarczającej informacji by spełniły warunki modelowania parametrycznego, gdyż ich charakterystyki podane są w przedziałach. Wystarczą one jednak by w projektowaniu innowacyjnym wspomóc decydenta w wyborze poszukiwanego wariantu charakterystycznych cech RUiES.

3. Metoda do wspomagania kształtowania ergonomiczności interakcji OS-RUiES

3.1. Metody i techniki sztucznej inteligencji

Syntetyzując najczęstsze definicje pojęcia sztucznej inteligencji Sala wyróżnił jej uniwersalne cechy opisując ją jako: „sformalizowany w pewien sposób proces, zachodzący w sztucznie do tego celu stworzonej maszynie, polegający na znajdowaniu celowych reakcji dzięki zdolności do analizy i uogólniania zależności, zachodzących w zgromadzonych wcześniej zbiorach danych" (Sala 2007). Sztuczną inteligencję określa się również mianem inteligencji obliczeniowej (Duch 2005), w której skład wchodzą struktury danych służące do reprezentacji wiedzy, algorytmy wykorzystujące zebraną wiedzę w postaci struktur oraz języki i techniki programowania wykorzystywane do implementacji powyższych elementów (rys. 4).



Rys. 4. Metody i zagadnienia wchodzące w zakres sztucznej inteligencji
Źródło: (Mblachnik.pl)

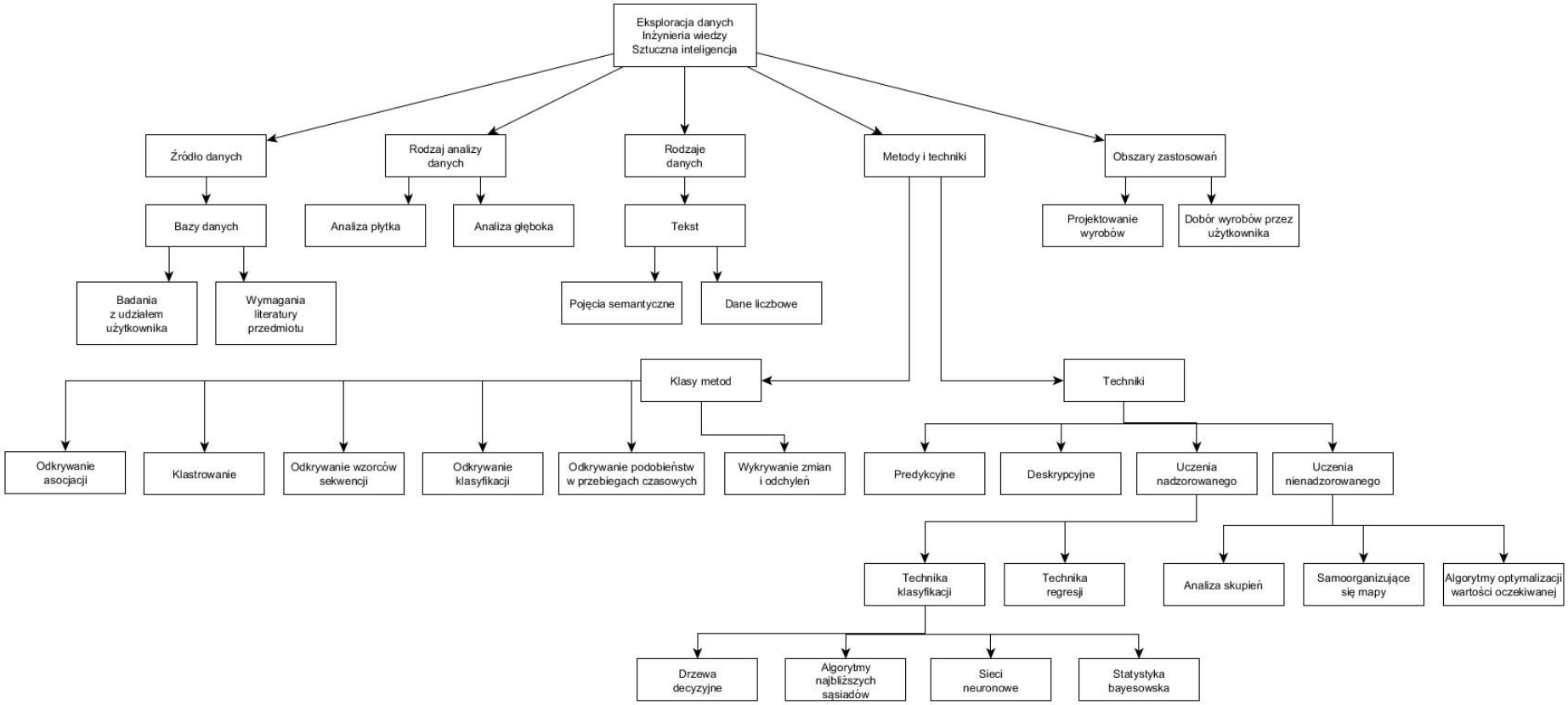
Spektrum aktualnie przeprowadzanych badań w różnych dziedzinach z zastosowaniem sztucznej inteligencji jest rozległe. Przykładowo, metody i techniki sztucznej inteligencji są wykorzystywane m. in. w eksploracji danych przy użyciu inżynierii wiedzy (rys. 5). Znajdują zastosowanie m. in. w systemach rozpoznawania stanu maszyn (Michalski 1997; Michalski, Rychlik 2001; Michalski, Rychlik i Wierzbicki 2005), przemyśle (*ang. industry mining*) (Mirończuk 2010) i modelowania interakcji w systemach C-M-O (Wisniewski i współ. 2019). Do zadań metod i technik sztucznej inteligencji należy m. in. wykonywanie dogłębnej analizy problemów pojawiających się w trakcie produkcji przemysłowej, jak i na etapach projektowych produkcji w celu ich rozwiązania (Mirończuk 2010). Działania te skupione są zwłaszcza na projektowaniu i doskonaleniu wyrobu, w tym poprawie jakości wyrobu poprzez kontrolę i poprawę procesu technologicznego, sterowanie i optymalizację procesu produkcyjnego, ana-

lizę reklamacji i niezawodności oraz bezpieczeństwa. Przy czym metody te mogą zostać zastosowane na etapie projektowania wyrobu oraz do polepszenia związków z klientami np. poprzez identyfikację ich potrzeb, czy też prognozowania popytu na wyrób i produkt (Mirończuk 2010).

Wybór metod i technik zależny jest od charakterystyki rozwiązywanego problemu, a pomocna w tym jest klasyfikacja. Uzasadnia to stwierdzenie, że niektóre źródła danych mogą wymagać specyficznych metod oraz technik do przeprowadzenia z ich zastosowaniem wnioskowania (Mirończuk 2010). W podjętym problemie badawczym klasyfikacja metod i technik wnioskowania, jakie wchodzą w zakres zainteresowania szeroko pojętej dziedziny eksploatacji danych, inżynierii wiedzy i sztucznej inteligencji podlega dostrojeniu. Dostrojenie to uwarunkowane jest klasyfikacją rodzajów analizy danych, źródłami danych, rodzajami danych i obszarami zastosowań (rys. 5). Opisana klasyfikacja opiera się o klasyfikację Mirończuka (Mirończuk 2010), która pozwala odnaleźć, umiejscowić i opisać własne badania w szerszym kontekście oraz umożliwia odnalezienie potrzebnej metody i techniki do ich realizacji. Podział metod i technik wnioskowania jest najbardziej priorytatywny Spośród grup klasyfikacji ze względu na matematyczne podstawy całej dziedziny. Podstawy te umożliwiają fizyczną realizację algorytmów wnioskowania (Hand, Mannila i Smyth 2005) na rzecz badań w wybranej dziedzinie poprzez implementację aplikacyjną (Mirończuk 2010). Ze względu na temat rozprawy w dalszej części podrozdziału szerzej omówione zostanie tylko zagadnienie dotyczące metod i technik wnioskowania.

Metody sztucznej inteligencji bazują na technikach i stanowią ich uogólnienie. Realizowane są za pomocą wybranej techniki przy użyciu odpowiedniego dla niej algorytmu (Hand, Mannila i Smyth 2005). Do metod tych zaliczamy m.in.: odkrywanie asocjacji, klastrowanie, odkrywanie wzorców sekwencji reguł, odkrywanie klasyfikacji, odkrywanie podobieństw w przebiegach czasowych i wykrywanie zmian i odchyleń.

Pojęcie reguł asocjacyjnych (*ang. association rulet*) zostało wprowadzone przez Agrawala, Imielinskiego i Swami (Agrawal, Imieliński i Swami 1993). Odkrywanie asocjacji (powiązań) polega na wykrywaniu różnego rodzaju zależności występujących pomiędzy danymi w bazie danych. Precyzyjniej mówiąc zależności te określone są za pomocą korelacji reguł asocjacyjnych wiążących współwystępowanie podzbiorów elementów w dużej kolekcji zbiorów. Znalezione korelacje prezentowane są jako reguły postaci $X \Rightarrow Y$ (wsparcie, ufność), gdzie X i Y są rozłącznymi zbiorami elementów. Termin *wsparcie* oznacza częstotliwość występowania zbioru $X \cup Y$ w kolekcji zbiorów, zaś termin *ufność* określa prawdopodobieństwo warunkowe $P(X|Y)$ (Mirończuk 2010).



Rys. 5. klasyfikacja metod i technik wnioskowania w kontekście zagadnień eksploatacji danych, inżynierii wiedzy i sztucznej inteligencji
Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Mirończuk 2010)

Klastrowanie, nazywane także grupowaniem lub analizą skupień (*ang. clustering*), polega na znajdowaniu skończonych zbiorów klas obiektów (klastrów) w bazie danych posiadających podobne cechy. Podczas tego procesu zbiór obiektów dzielony jest na takie podzbiory aby jednocześnie maksymalizować podobieństwo pomiędzy obiektami przypisanymi do tego samego podzbioru i minimalizować podobieństwo pomiędzy obiektami przypisanymi do różnych podzbiorów zgodnie z zadaną miarą podobieństwa pomiędzy obiektami (Mirończuk 2010). Podczas dokonywania klastrowania nie są znane docelowe podzbiory (grupy) obiektów oraz zazwyczaj nie jest znana ich liczba. Z tego względu klastrowanie należy do tzw. klasyfikacji bez nadzoru i jest rozwiązywana za pomocą przeznaczonych do tego technik tj. analiza skupień, klastrowanie (*ang. clustering*), samoorganizujące się mapy (*ang. self-organization map*), algorytmy aproksymacji wartości oczekiwanej (*ang. expectation-maximization*), czy zbiory przybliżone. Ponadto algorytmy przeznaczone do analizy skupień można podzielić na kilka podstawowych kategorii na które składają się: metody hierarchiczne (procedury aglomeracyjne i deglomeracyjne), grupy metod *k*-średnich (*ang. k-means*), metody rozmytej analizy skupień (*ang. fuzzy clustering*) oraz metody niehierarchiczne.

Problem odkrywania wzorców sekwencji został sformułowany przez twórców metody asocjacyjnej m.in. Agrawal i Srikant (Srikant, Agrawal 1995). Sekwencję stanowi uporządkowany ciąg zbiorów elementów, w którym każdy zbiór posiada znacznik czasowy. Wzorce sekwencji stanowią rozwinięcie modelu reguł asocjacyjnych o takie elementy, jak: następstwa zdarzeń, ograniczenia dotyczące maksymalnych interwałów czasowych pomiędzy kolejnymi wystąpieniami elementów sekwencji. Wprowadzenie interwałów czasowych umożliwiło nakładanie pewnego rodzaju okien czasowych do filtrowania sekwencji. Odkrywanie wzorców sekwencji polega ogólnie na znalezieniu w bazie danych sekwencji i podsekwencji występujących częściej, niż zadany przez użytkownika próg częstości (Mirończuk 2010). Prób ten nazywa się progiem minimalnego wsparcia (*ang. minsup*) w pewnym przedziale czasu.

Klasyfikacja (*ang. classification*) polega na zbudowaniu modelu przypisującego nowy, wcześniej nie znany obiekt, do jednej ze zbioru predefiniowanych klas. Przypisanie to następuje na podstawie wcześniejszego uczenia klasyfikatora (modelu umożliwiającego takie przypisanie) na zbiorze uczącym. Najczęściej stosowanymi technikami do klasyfikacji są: klasyfikacja bayesowska, adaptatywna sieć Bayesa, algorytmy indukcyjnych drzew decyzyjnych, algorytm *k* najbliższych sąsiadów, sieci neuronowe czy też algorytm maszyn wektorów nośnych SVM (*ang. suport vector machine*) (Mirończuk 2010).

Odkrywanie podobieństw w przebiegach czasowych polega na odnalezieniu punktów wspólnych opisujących grupę wyselekcjonowanych przebiegów opisujących zadany proces trwający ciągle w czasie. Natomiast wykrywanie zmian i odchyleń polega na znajdowaniu różnic pomiędzy aktualnymi, a oczekiwanymi wartościami danych. Wykorzystywane jest podczas znajdowania anomalii tj. niepasujących do trendu danych, które od niego odstępują. Odkrywanie cech wykorzystywane jest najczęściej we wstępnych procesach (*ang. preprocessing*) eksploracji danych (Fayyad, Piatetsky-Shapiro i Smyth 1996) w celu zmniejszenia wymiarowości rozpatrywanego problemu, a więc i zwiększenia efektywności. W celu zmniejszenia wymiarowości problemu stosuje się tzw. wybór cech (*ang. feature selection*) i odkrywanie cech (*ang. feature extraction*), czy też analizę składowych głównych (*ang. principal components analysis – PCA*). Pierwsza z metod polega na wyselekcjonowaniu z grupy

tych atrybutów, które posiadają tylko istotną wartość informacyjną. Dwie następne metody polegają na połączeniu atrybutów i stworzeniu ich liniowej kombinacji w celu zmniejszenia liczby wymiarów i uzyskania nowych składowych głównych (Mirończuk 2010; Hand, Mannila i Smyth 2005). Wybór i generacja nowych atrybutów może odbywać się w sposób nadzorowany lub bez nadzoru.

Techniki eksploracji można podzielić zasadniczo na cztery kategorie, do których zalicza się: techniki predykcyjne, techniki deskrypcyjne, techniki uczenia nadzorowanego i techniki uczenia nienadzorowanego.

Techniki predykcyjne, inaczej nazywane technikami lub modelami przewidywania (*ang. predictive techniques*), starają się na podstawie odkrytych wzorców dokonać uogólnienia i przewidywania wartości danej zmiennej. Pozwalają na przewidywanie wartości zmiennej wynikowej na podstawie wartości pozostałych zmiennych (badawczych lub przewidujących) (Hand, Mannila i Smyth 2005). Techniki te w systemach wspomagania decyzji (SWD) wykorzystywane są do przewidywania i szacowania np. zasobów (sprzętu/ludzi) do rozwiązywania postawionego problemu (Mirończuk 2010).

Techniki deskrypcyjne, nazywane także technikami bądź modelami opisowymi (*ang. description techniques*), służą do formułowania uogólnień na temat badanych danych w celu uchwycenia ogólnych cech opisywanych obiektów oraz ich najważniejszych aspektów (Hand, Mannila i Smyth 2005). Techniki te w SWD stosuje się do odkrywania grup i podgrup podobnych zdarzeń lub identyfikacji zdarzeń (Mirończuk 2010).

Techniki uczenia nadzorowanego (*ang. supervised learning*) wykorzystują zbiory danych, w których każdy obiekt posiada etykietę przypisującą go do jednej z predefiniowanych klas. Na podstawie zbioru uczącego budowany jest model, za pomocą którego można odróżnić obiekty należące do różnych klas (Hand, Mannila i Smyth 2005). Technikami z zakresu uczenia nadzorowanego są techniki klasyfikacji, do których należą drzewa decyzyjne, algorytmy najbliższych sąsiadów, sieci neuronowe, statystyka bayseyowska (klasyfikacja bayseyowska i sieć bayseyowska), algorytmy SVM i techniki regresji (Mirończuk 2010; Hand, Mannila i Smyth 2005).

W przypadku technik uczenia nienadzorowanego (*ang. unsupervised learning*) brak jest etykiet obiektów, nie ma także zbioru uczącego. Techniki te starają się sformułować model (modele) wiedzy najlepiej pasujące do obserwowanych danych. Technikami z zakresu uczenia bez nadzoru są: techniki analizy skupień, klastrowania (*ang. clustering*), samoorganizujące się mapy (*ang. self-organization map*), algorytmy aproksymacji wartości oczekiwanej (*ang. expectation-maximization*), czy też zbiory przybliżone (Mirończuk 2010).

Przedstawione kategorie metod i technik nie są ścisłe. Zatem mogą istnieć pewnego rodzaju permutacje technik w celu osiągnięcia wyznaczonego celu badań. Niemniej wyróżnia się kilka powszechnych nurtów, z których największą popularność zyskały różnego rodzaju drzewa decyzyjne, sztuczne sieci neuronowe oraz różnego rodzaju metaheurystyki (Czapczuk, Dawidowicz i Piekarski 2015). W tabeli 20 wyszczególniono i scharakteryzowano wybrane klasy technik sztucznej inteligencji.

Tab. 20. Porównanie zasad działania i zastosowania wybranych technik sztucznej inteligencji
Źródło: Opracowanie własne na podstawie przytoczonych publikacji

Klasa techniki	Zasada działania i ogólne zastosowanie
Drzewa decyzyjne - klasyfikacyjne i regresyjne (ang. Decision Trees)	Drzewo klasyfikacyjne jest jednym z obrazów podziału rekurencyjnego badanego zbioru. Polega on na stopniowym podziale wielowymiarowej przestrzeni cech na rozłączne podzbiory, aż do uzyskania ich homogeniczności ze względu na wyróżnioną cechę (*y*). Następnie w każdym z uzyskanych segmentów budowany jest lokalny model tej zmiennej. Graficzną prezentacją metody podziału rekurencyjnego jest drzewo decyzyjne. Jeśli takie drzewo odnosi się do cechy *y* będącej cechą nominalną, to reprezentujące ją drzewo nazywane jest drzewem klasyfikacyjnym, a jeśli jest to zmienna ciągła, to takie drzewo nazywamy drzewem regresyjnym (Gatnar 2001; Pociecha 2013). W ogólnym sensie drzewa decyzyjne służą do wspomagania procesu decyzji przez przedstawienie poszczególnych alternatyw jako rozgałęzień, które doprowadzają do wynikowego wyboru (Butlewski 2018). Drzewa decyzyjne tworzy się zazwyczaj z wykorzystaniem logiki klasycznej.
Wzmacnianie drzew (ang. Boosted Trees)	Istotą metody jest tworzenie ciągu prostych drzew, z których każde kolejne jest zbudowane do predykcji reszt generowanych przez poprzednie. Nadaje się do odtwarzania skomplikowanych zależności i jednocześnie pokonuje problem danych o niskiej jakości (Butlewski 2018).
Lasy losowe (ang. Random Forests)	Metoda uogólniająca ideę drzew decyzyjnych, która polega na stworzeniu wielu prostych (niż jedno całościowe) gałęzi, a decyzja klasyfikacyjna podejmowana jest na zasadzie większościowej. Dla poszczególnych drzew z lasu można wyznaczyć ranking zmiennych, a tym samym określić, które zmienne mają lepsze właściwości predykcyjne. Lasy losowe uważane są za trudniejsze do nadmiernego dopasowania, gdy model statystyczny ma zbyt dużo parametrów w stosunku do rozmiaru próby na podstawie, której był konstruowany (Butlewski 2018).
Sztuczne sieci neuronowe (ang. *ANN – Artificial Neural Networks*)	Wśród metod sztucznej inteligencji, oprócz symbolicznej reprezentacji wiedzy występują również reprezentacje nie symboliczne. Metody tego typu opierają się na obserwacji funkcjonowania układu nerwowego lub procesów zachodzących w świecie przyrody. Do grupy tej należą m.in. sztuczne sieci neuronowe, które symulują przetwarzanie informacji w układach nerwowych zwierząt i ludzi. Wiedza zgromadzona jest w nich w strukturze połączeń pomiędzy poszczególnymi neuronami oraz wartościami wag reprezentującymi siłę tych połączeń (Bishop 1995). Najczęściej stosowanym rodzajem jednokierunkowej sztucznej sieci neuronowej jest perceptron wielowarstwowy, który składa się z neuronów ułożonych w warstwy. Neurony połączone są pomiędzy warstwami na zasadzie „każdy z każdym", natomiast w jednej warstwie nie występują połączenia pomiędzy neuronami. Wyróżnia się trzy podstawowe typy warstw perceptronów wielowarstwowych: warstwę wejściową, warstwy ukryte oraz warstwę wyjściową. Sieci neuronowe działają w dwóch etapach. Pierwszy to uczenie na podstawie zbioru danych opisujących rozwiązywany problem. Wykonywane jest to przy użyciu metod uczenia, które umożliwiają wyznaczenie odpowiednich wartości parametrów sieci – wag połączeń pomiędzy neuronami oraz wartości progowych. Podstawowymi metodami uczenia perceptronów wielowarstwowych są algorytm wstecznej propagacji błędów (ang. B*ackPropagation*) oraz algorytm Quasi-Newtona. Drugi etap to właściwe działanie, w którym sieć neuronowa powinna rozwiązywać nowe zadania, wykorzystując dane nie biorące wcześniej udziału w uczeniu sieci. Sztuczne sieci neuronowe pozwalają zamodelować system nieliniowy, bez konieczności podawania jakichkolwiek wstępnych założeń dotyczących kształtu modelu. Mogą być stosowane wszędzie tam, gdzie pojawiają się problemy związane z predykcją, klasyfikacją, projektowaniem, kontrolą czy sterowaniem (Czapczuk, Dawidowicz i Piekarski 2015).
Sieć bayesowska (ang. Bayesian Network)	Język sieci probabilistycznych należy do formalnych języków graficznych. Tworzą one uniwersalny system semiotyczny dla specyfikacji, konceptualizacji i analizy sytuacji problemowych w warunkach niedeterministycznych. Sieć bayerowska w swojej warstwie wizualnej jest acyklicznym grafem skierowanym, którego węzły reprezentują zmienne losowe, a łuki mniej lub bardziej silne rodzaje zależności między nimi. W warstwie interpretacyjnej, węzły reprezentują predykaty (zdania logiczne), których prawdziwość zależy od predykatów reprezentowanych przez węzły z nimi połączone. Stąd, ekspresywność języka sieci bayesowskich jest taka jak ekspresywność języka logiki, przy czym ze względu na problem złożoności obliczeniowej nie wykracza się tu

	poza logikę predykatów I-szego rzędu. W przeciwieństwie do klasycznych systemów reprezentacji wiedzy opartych na logice nieprobabilistycznej, sieci bayesowskie umożliwiają wyrażanie wszelkich relacji, w tym zależności przyczynowo-skutkowych, istniejących trwale lub tylko czasowo w każdej częściowo obserwowalnej i poznawalnej rzeczywistości, czyli takiej w której występuje element niepewności. Miarą niepewności jest prawdopodobieństwo, a opisem zależności jest łączny rozkład prawdopodobieństwa (Kusz, Marciniak 2006).
Techniki oparte na teorii zbiorów przybliżonych i rozmytych (ang. Rough Set Theory, Fuzzy Logic Theory)	Teoria zbiorów przybliżonych jest, z logicznego punktu widzenia, sposobem nowego matematyczne-go podejścia do pojęć nieostrych, zaś w praktyce jest nową metodą analizy danych. W teorii mnogości zbiór jest definiowany przez swoje elementy, przy czym nie jest tu potrzebna żadna dodatkowa wiedza o elementach uniwersum, z których tworzymy zbiory. W teorii zbiorów przybliżonych jest przeciwnie. Zakładamy, iż mamy pewne dane o elementach uniwersum i dane te są wykorzystywane do tworzenia zbiorów. Elementy, o których mamy identyczną informację są podobne i tworzą tzw. zbiory elementarne. W teorii zbiorów przybliżonych stanowią one podstawę rozumowania. Suma dowolnych zbiorów elementarnych jest nazywana zbiorem definiowalnym. Zbiory, które nie są zbiorami definiowalnymi nazywane są zbiorami przybliżonymi. Zbiory definiowalne można jednoznacznie scharakteryzować przez cechy ich elementów, natomiast zbiorów przybliżonych nie można w ten sposób określić, dlatego w teorii zbiorów przybliżonych wprowadza się pojęcia dolnego i górnego przybliżenia zbioru. Pojęcia te pozwalają na scharakteryzowanie każdego zbioru niedefiniowalnego (przybliżonego) za pomocą dwóch zbiorów definiowalnych jego dolnego i górnego przybliżenia. Dolnym przybliżeniem zbioru są wszystkie elementy, które w świetle posiadanej wiedzy mogą być jednoznacznie przyporządkowane do rozważanego zbioru, zaś górnym przybliżeniem zbioru są wszystkie elementy, których przynależności do danego zbioru w świetle posiadanej wiedzy nie można wykluczyć. Różnica między górnym a dolnym przybliżeniem jest nazywana obszarem brzegowym (brzegiem) zbioru. Z matematycznego punktu widzenia zbiór jest przybliżony wtedy i tylko wtedy, gdy jego obszar brzegowy jest niepusty (Pawlak 2004).
Rozmyte mapy kognitywne (ang. Fuzzy Cognitive Maps – FCM)	Rozmyta mapa kognitywna jest modelem reprezentowanym w formie graficznej, składającym się z węzłów oznaczających najistotniejsze czynniki (jednostki, zmienne lub cechy) rozważanego fragmentu rzeczywistości i połączeń pomiędzy tymi węzłami, oznaczających zależności między tymi czynnikami. Przy czym „rozmytość" oznacza, że FCM często składają się z pojęć, które można przedstawić jako zbiory rozmyte, a przyczynowe zależności pomiędzy pojęciami mogą być rozmytymi implikacjami, warunkowymi prawdopodobieństwami itp. (Sobczak 2007; Aguilar 2005). Powoduje to, że FCM reprezentują modelowany fragment rzeczywistości w formie, która dobrze odpowiada sposobowi, w jaki spostrzegają go ludzie. FCM pozwala na modelowanie systemów o dużym stopniu nieokreśloności, szczególnie systemów obrazujących zjawiska z dziedzin leżących na pograniczu nauk ścisłych i humanistycznych. Do takiej dziedziny niewątpliwie należy dobór urządzeń sterowniczych dla użytkowników (osób starszych), których subiektywna ocena wyrażona jest za pomocą języka naturalnego, nie przyjmuje zaś jednoznacznych wartości „tak" lub „nie". Powiązania pomiędzy konceptami, wraz z wagami połączeń definiowane są przez zespół ekspertów, jako wiedza bazowa. Z jednej strony jest to zaleta modelu FCM – gdyż takie wartościowanie lepiej odzwierciedla analizowaną dziedzinę. Z drugiej strony stanowi to dużą wadę tego modelu, gdyż opiera się on na ludzkiej ocenie co do powiązań między poszczególnymi elementami systemu, a jak wiadomo niektóre czynniki i zależności mogą być nieuchwytne dla człowieka, nawet jeśli jest on ekspertem w danej dziedzinie (Stach i in. 2005). Wybór tego podejścia ma potencjał rozwoju i udoskonalenia, gdyż w ostatnim czasie prowadzone są badania w kierunku nienadzorowanego uczenia FCM (Papageorgiou 2012). Stosowanie FCM pozwala uniknąć wielu problemów związanych ze zdobywaniem wiedzy, które zazwyczaj powstają w przypadku systemów opartych na regułach, czy też systemach eksperckich, dla których budowane jest drzewo decyzyjne. Ponadto ta ostatnia forma prezentacji wiedzy stwarza problemy takie, jak niemożliwość posiadania przez duże drzewo zachowań dynamicznych czy też działania w czasie rzeczywistym (Sobczak 2007; Aguilar 2005). Jednocześnie w (Sobczak 2007; Tomé 1999), Carvalho argumentuje, że FCM nie są „rozmyte" w tradycyjnym sensie, ponieważ nie posługują się jakimkolwiek rodzajem

	funkcji rozmytej. Jego zdaniem są „trenowanymi przez człowieka sieciami neuronowymi", które nie zachowują w pamięci tradycyjnych sposobów rozumowania za pomocą rozumowania lingwistycznego. Dlatego przyjmuje się, że FCM funkcjonują jak asocjacyjne sieci neuronowe. Mapa taka opisuje modelowany fragment rzeczywistości za pomocą sieci jednowarstwowej, która jest stosowana w trybie nienadzorowanym i której neuronom są przydzielone znaczenia pojęciowe, a wagi połączeń reprezentują zależności pomiędzy tymi pojęciami (Sobczak 2007; Aguilar 2005). FCM stają się coraz popularniejszą techniką modelowania i symulacji stosowaną w wielu dziedzinach badań i aplikacji. Są one użyteczne w naukach administracyjnych, teorii gier, analizie informacji, we współpracy człowiek-maszyna, w rozproszonych systemach wspomagania decyzji grupowych (Sobczak 2007). FCM pozwala na modelowanie systemów o dużym stopniu nieokreśloności, szczególnie systemów obrazujących zjawiska z dziedzin leżących na pograniczu nauk ścisłych i humanistycznych (Tavanaei, Masquelier i Maida 2018).
Algorytmy ewolucyjne (ang. *EA – evolutionary algorithms*)	Algorytmy ewolucyjne obejmują metody inspirowane zasadą doboru naturalnego, w którym stosowane są mechanizmy selekcji, reprodukcji i mutacji, podobnie jak w biologicznym procesie ewolucji (Czapczuk, Dawidowicz i Piekarski 2015).
Algorytmy genetyczne (ang. *GA – genetic algorithm*)	Algorytmy genetyczne stanowią najlepiej znaną klasę algorytmów ewolucyjnych. Algorytmy genetyczne przeszukują przestrzeń alternatywnych rozwiązań problemu w celu wyszukania rozwiązań najlepszych na podstawie modelowania mechanizmów ewolucji biologicznej (Czapczuk, Dawidowicz i Piekarski 2015; Goldberg 1998; Michalewicz 2003).
Algorytm mrówkowy (ang. *ACO – Ant Colony Optimization*)	Algorytm mrówkowy jest techniką rozwiązywania problemów poprzez szukanie dobrych dróg w grafach, zainspirowany zachowaniem mrówek szukających pożywienia dla swojej kolonii. W algorytmach mrówkowych kolonia sztucznych osobników współpracuje ze sobą w trakcie poszukiwania optymalnych rozwiązań (Dorigo 2004; Czapczuk, Dawidowicz i Piekarski 2015).
Algorytm poszukiwania tabu (ang. *TS – tabu search*)	Algorytm poszukiwania tabu jest to meta heurystyka dążąca do minimum funkcji celu. Algorytm bazuje na poszukiwaniu losowym przestrzeni rozwiązań, jednak posiada dodatkowo „listę tabu", czyli zakazanych rozwiązań, która pozwala na uniknięcie utknięcia w minimum lokalnym i skierowanie przeszukiwania w korzystniejsze rejony przestrzeni (Glover 1997; Czapczuk, Dawidowicz i Piekarski 2015).
Optymalizacja rojem cząstek (ang. *PSO – Particle Swarm Optimization*)	Optymalizacja rojem cząstek, nazywana również inteligencją roju (stada) lub inteligencją rozproszoną jest probabilistyczną techniką optymalizacji zainspirowaną zachowaniem stada zwierząt (owadów, ptaków, ryb). Inteligencja roju (stada) jest pojęciem oznaczającym tworzenie się współpracy pomiędzy wieloma uczestnikami naturalnymi (np. stado gęsi) lub sztucznymi (np. grupa robotów) bez uprzednio zdefiniowanego planu i bez jednostki dowodzącej. Zjawisko to polega na kolektywnej samoorganizacji i jest podstawą omawianej meta heurystyki (Eberhard, Kennedy i Shi 2001; Czapczuk, Dawidowicz i Piekarski 2015).
Techniki oparte o systemy szare (ang. Grey System Theory)	Wnioskowanie i prognozowanie przy niepełnej informacji, szczególnie dla systemów złożonych, gdzie nie można pozyskać dokładnych danych (Butlewski 2018). Istotą modelowania szarego jest opis zachowania systemu obserwowanego w rzeczywistości danego jako zmienna prognozowana/ endogeniczna: $x(0)(k)$, gdzie: $k = 1,2,...,n$ poprzez zbiór zmiennych objaśniających stanowiących czynniki determinujące stan zmiennej prognozowanej. Zatem proces endogeniczny obserwowalny w rzeczywistości dany jako $x(0)(k)$ jest wyjaśniany w czasie N zmiennymi niezależnymi (objaśniającymi). Stąd w sensie ogólnym model szary można zapisać jako $GM(I,N)$, co oznacza, że system jest opisany równaniem różniczkowym I-go rzędu przy N zmiennych niezależnych/objaśniających (Barczak 2013).

Przedstawione w tabeli 20 techniki sztucznej inteligencji ukazują jedynie główne kierunki zastosowania sztucznej inteligencji, w tym logiki i metamatematyki w tworzeniu modeli, w tym hybrydowych, które mogą zostać zastosowane w wspomaganiu podejmowania decyzji w doborze i projektowaniu RUiES. Szerszy zbiór metod i technik sztucznej inteligencji przedstawią m. in. Moczulski (Moczulski 1997), Jastrzębska i Jastrzębska (Jastrzębska, Ja-

strzębska 2010), Magiera (Magiera 2007), Leszek (Leszek 2012) i Kisielewicz (Kisielewicz 2011).

3.2. Klasyczne i hybrydowe systemy ekspertowe w doborze i projektowaniu RUiES

3.2.1. Podział i ogólna charakterystyka systemów ekspertowych

System ekspertowy, to program komputerowy, wykorzystujący procedury wnioskowania do rozwiązywania tych problemów, które są na tyle trudne, że normalnie wymagają znaczącej ekspertyzy specjalistów (Nederliński 2002;). Przy czym działanie programu polega na próbie naśladowania zachowania eksperta w danej dziedzinie. W tym celu wykorzystuje się zapisaną wiedzę eksperta. Natomiast do zapisu wiedzy w systemach ekspertowych wykorzystuje się inżynierię wiedzy i języki zapisu wiedzy. System tego rodzaju jest szczególnie przydatny w przypadku wnioskowania w odniesieniu do problemów zawierających aspekty słabo strukturalizowane i powtarzalne o dużej częstotliwości. Ponadto system ekspertowy symuluje działanie eksperta w sposobie użytkownika – poprzez analizę odpowiedzi użytkownika na pytania kierowane do niego przez system. Charakterystyczną cechą systemów ekspertowych jest przedstawienie wiedzy w postaci symbolicznej, a najważniejszą w tym przypadku rolę pełnią metody oparte na regułach (Niederliński 2000).

Systemy ekspertowe charakteryzują się (Niederliński 2000):

1. zdolnością szybkiego rozwiązywania problemów,
2. rozwiązywaniem problemów przez osoby nie będące ekspertami w danej dziedzinie,
3. rozwiązywaniem problemów na podstawie wiedzy teoretycznej i empirycznej,
4. przystosowaniem do ciągłego uczenia się i doskonalenia procedur,
5. współpracą z użytkownikiem w języku zrozumiałym dla użytkownika końcowego,
6. poprawnością, zasadnością i konsekwencją wyprowadzonych wniosków,
7. obniżeniem kosztów uzyskiwanych ekspertyz,
8. dużą wszechstronnością uzyskiwanych ekspertyz.

Klasyfikacje systemów ekspertowych obejmują takie kryteria jak:

1. wybór platformy, gdzie wyróżnia się system:

1.1. szkieletowy – nazywany również skorupowym, który pozbawiony jest wiedzy dziedzinowej, co umożliwia jego szerokie zastosowanie (Niederliński 2006),

1.2. dedykowany – elementem którego jest wiedza dziedzinowa zdefiniowana na etapie projektowania i tworzenia systemu ekspertowego,

2. realizowane funkcje, gdzie wyróżnia się systemy (Sala 2007):

2.1. doradcze – wspomagające specjalistę w dokonywaniu ekspertyzy, nie zawierające jednak części decyzyjno wykonawczej; systemy te przedstawiają rozwiązanie decydentowi, który na podstawie własnej wiedzy i doświadczenia ocenia jego poprawność, a w konsekwencji rozwiązanie to akceptuje go albo odrzuca; istnieje możliwość uzasadnienia przez system sformułowanej konkluzji; dodatkowym atutem takich systemów jest możliwość wielokrotnego ich wykorzystywania w celu sprawdzenia możliwych rozstrzygnięć przy zmiennych warunkach stanów wejść systemu,

2.2. decyzyjne (sterujące) – w to systemy, które na podstawie szczegółowej wiedzy mogą wyciągać wnioski i podejmować decyzje w czasie rzeczywistym, działając w sposób

zbliżony do procesu rozumowania ludzkiego, lecz bez udziału człowieka; systemy te, podejmując decyzje bez udziału czynnika ludzkiego, są dla siebie ostatecznym arbitrem; wykorzystywane są do sterowania różnymi procesami, do kontroli oraz nadzorowania skomplikowanych maszyn i urządzeń, a więc tam, gdzie człowiek nie mógłby ogarnąć swoimi zmysłami całej sytuacji, albo tam, gdzie udział człowieka-eksperta jest utrudniony lub wręcz niemożliwy,

2.3. krytykujące (analityczne) – to systemy, które w danym przypadku dokonują analizy problemu i formułują warianty decyzyjne; mają zdolność do generowania propozycji rozwiązań wraz z opisem przewidywanych skutków ich realizacji; sprawdzają się w sytuacjach, gdy należy przyswoić dane, dokonać ich przeliczenia, a następnie przeprowadzić selekcję otrzymanych wyników,

3. uzyskiwane rezultaty, gdzie system ekspertowy może być:

3.1. diagnostyczny - oceniający stan istniejący na podstawie posiadanych danych,

3.2. prognozujący - przewidujący stan przyszły na podstawie istniejących danych,

3.3. planistyczny - opisujący określony stan do którego należy dążyć,

4. stan wiedzy, który określa podział na systemy elementarne lub rozwinięte (Niederliński 2006) z:

4.1. wiedzą pewną (zdeterminowaną),

4.2. wiedzą niepewną (niezdeterminowaną),

4.3. wiedzą pełną według kryterium kompletności,

4.4. wiedzą niepełną,

5. realizowane zadania w zależności od branżowego zastosowania,

6. stosowaną logikę, gdzie wyróżnia się trzy kategorie systemów ekspertowych tj. (Wieleba 2011):

6.1. systemy z logiką dwuwartościową,

6.2. system z logiką wielowartościową,

6.3. system z logiką rozmytą.

7. Typ reprezentacji wiedzy, który obejmuje m. in. (Budziński, Krakowiak 1735; Gąbka, Pełechaty 2006; Wieleba 2011; Głowacz 2010; Inżynieria Wiedzy.pl):

7.1. reguły (najczęściej w postaci: jeżeli *X*, to *Y*),

7.2. drzewa decyzyjne,

7.3. logikę predykatów,

7.4. taksonomie,

7.5. rozkłady prawdopodobieństwa,

7.6. funkcje przejść automatów skończonych,

7.7. reguły gramatyki formalnej,

7.8. sieci semantyczne.

W zależności od przeznaczenia systemu ekspertowego, charakterystyki analizowanej wiedzy, złożoności i zastosowanej techniki sztucznej inteligencji system ten może przyjąć strukturę klasyczną (w tym pierwotną (Wolny, Zadora 2008)), wielokrotną (Stefanowski 2001) lub hybrydową (Białko 2000). Inny podział systemów ekspertowych przedstawiają przykładowo Niźiński i Rychlik (Niziński, Rychlik 2005) dzieląc je na:

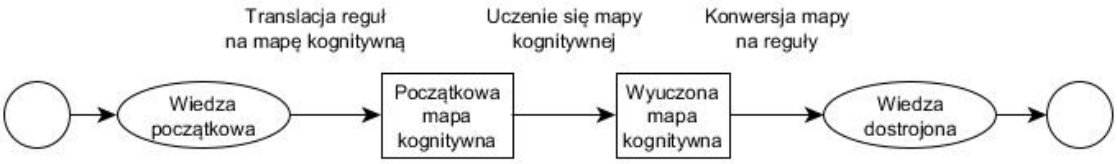
1. ekspertowe,
2. ekspertowe rozmyte,

3. ekspertowe hybrydowe.

Wśród hybrydowych systemów ekspertowych wyróżnia się (Wolny, Zadora 2008):

1. systemy równoległe - niezależne działanie różnych algorytmów wnioskowania, każdy z tych systemów przetwarza określone dane, a wynik jest agregacją wyników otrzymanych z różnych systemów; do tej kategorii zalicza się również systemy wielokrotne (Stefanowski 2001),
2. systemy sekwencyjne - wynik przetworzenia danych w jednym systemie jest podawany na wejście drugiego systemu (rys. 6),
3. systemy „zanurzenia" - jeden system stanowi integralną część drugiego, np. sieć neuronowa stanowi bazę wiedzy w systemie ekspertowym.

Hybrydowość systemów polega na ścisłym powiązaniu wnioskowania logicznego z obliczeniami arytmetycznymi i testowaniem relacji arytmetycznych. Przetwarzana wiedza jest przechowywana w bazie wiedzy składającej się z bazy reguł, bazy modeli, bazy ograniczeń i bazy rad. W skład rodziny wchodzą systemy elementarne dokładne, stosujące logikę arystotelowską i niedopuszczające zagnieżdżania z negacją, systemy rozwinięte dokładne, stosujące logikę arystotelowską i dopuszczające zagnieżdżania z negacją, systemy elementarne przybliżone, stosujące modyfikację stanfordzkiej algebry współczynników pewności i nie dopuszczające zagnieżdżania z negacją oraz systemy rozwinięte przybliżone**,** stosujące modyfikację stanfordzkiej algebry współczynników pewności i dopuszczające zagnieżdżania z negacją. Zagnieżdżanie reguł, zagnieżdżanie modeli oraz zagnieżdżanie wzajemne modeli i reguł może mieć praktycznie dowolną głębokość. Systemy są wyposażone w funkcje diagnostyczne, wykrywające sprzeczności baz reguł, sprzeczności łączne baz reguł i baz ograniczeń, nadmiarowości bazy reguł oraz nadmiarowości łącznych baz reguł i baz ograniczeń (Niederliński 2002).



Rys. 6. Wnioskowanie w hybrydowym sekwencyjnym systemie ekspertowym
Źródło: Na podstawie (Wojarnik 2008)

Projektowanie i dobór RUiES dla osób starszych charakteryzuje się zarówno zagadnieniami dobrze, jak i słabo znanymi, co predysponuje zastosowanie hybrydowego systemu ekspertowego. Przykładem hybrydowego systemu ekspertowego do doboru i projektowania RUiES jest system sekwencyjny. Składający się z drzew klasyfikacyjnych do wnioskowania opartego o wiedzę i z systemu inteligentnego wnioskowania z zastosowaniem rozmytej mapy kognitywnej (FCM). Funkcją FCM z uczeniem nadzorowanym i nienadzorowanym jest modelowanie struktury zależności charakterystyk cech RUiES. Rozwiązanie to umożliwia badanie oddziaływania elementów systemu na poziom interakcji OS-RUiES, co określono w problemie badawczym pracy. Za zastosowaniem FCM przemawia skuteczność i prostota jego działania w porównaniu np. do sieci neuronowych, czy sieci beyseowskich (tab. 20).

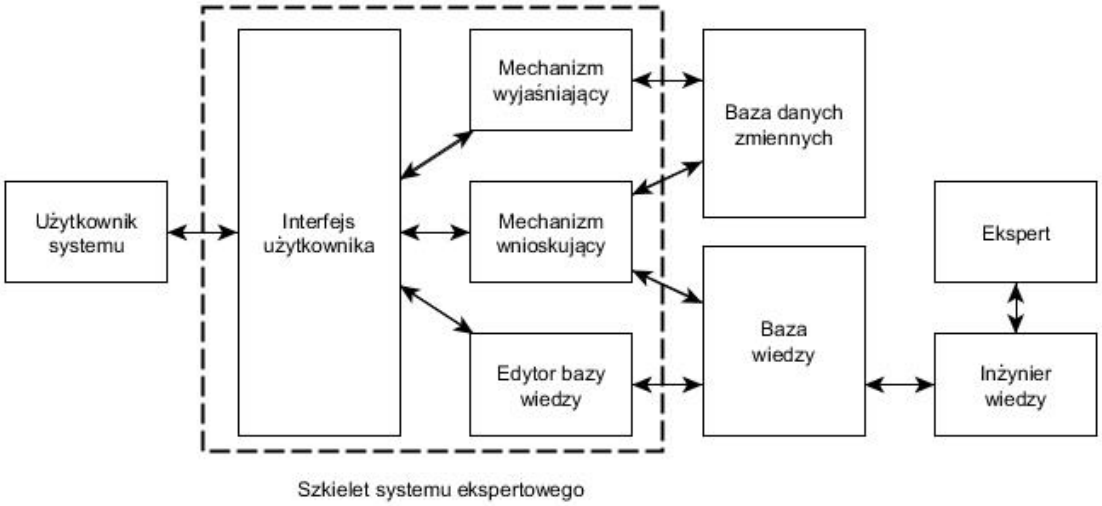
W dalszej części rozdziału omówiono strukturę klasycznego systemu ekspertowego (KSE) z wnioskowaniem na podstawie logiki klasycznej (Prac.pl) działanie inteligentnego systemu

ekspertowego opartego o mapę kognitywną (ISEMK) oraz techniki uczenia nienadzorowanego FCM.

3.2.2. Klasyczny system ekspertowy

Klasyczny system ekspertowy to program komputerowy z wnioskowaniem regułowym opartym o wiedzę eksperta (Wolny, Zadora 2008) i logikę klasyczną zaimplementowaną w decyzyjne drzewa klasyfikacyjne. Stąd też klasyczne systemy ekspertowe nazywa się systemami wspomagania decyzji (SWD) (Wolny, Zadora 2008). Systemy tego typu o pierwotnej budowie stanowią obecnie rzadkość. Większość współczesnych klasycznych systemów ekspertowych posiada bowiem złożoną architekturę i umożliwia uczenie nadzorowane.

KSE składa się z bazy danych, bazy danych zmiennych, edytora bazy wiedzy, mechanizmu wnioskującego, mechanizmu wyjaśniającego i interfejsu użytkownika (rys. 7). Edytor bazy wiedzy, interfejs użytkownika, mechanizm wyjaśniający, jak i wnioskujący stanowią szkielet systemu ekspertowego. Ponadto istotnymi elementami takiego systemu są ekspert, inżynier wiedzy i użytkownik.



Rys. 7. Ogólna budowa klasycznego systemu ekspertowego
Źródło: (Mblachnik.pl)

Elementy KSE realizują następujące funkcje (rys. 7) (Mblachnik.pl; Wikipedia.pl (D); (Niederliński 2002)):

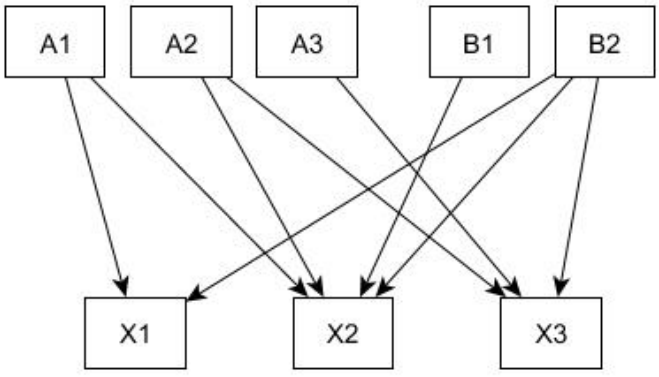
1. ekspert – jest źródłem wiedzy jaką w mechanizmie wnioskującym wykorzystuje typowy system ekspercki; wraz z inżynierem wiedzy przeprowadza uczenie nadzorowane, jeżeli dany system posiada określoną technikę uczenia,
2. inżynier wiedzy – posiada wiedzę i umiejętności umożliwiające opisanie i zaimplementowanie wiedzy eksperta w systemie informatycznym tworząc system ekspertowy,
3. baza wiedzy – służy do gromadzenia i przechowywania wiedzy pozyskanej od eksperta lub użytkownika; wiedza dotycząca udzielonych odpowiedzi użytkownika jak i rezultaty wnioskowania gromadzone są w tzw. dynamicznej bazie danych,

4. baza danych zmiennych – umożliwia odtworzenie sposobu wnioskowania systemu i przedstawienie go użytkownikowi za pomocą mechanizmu wyjaśniającego,
5. edytor bazy wiedzy – umożliwia uzupełnianie lub poprawianie wiedzy zawartej w bazie danych na podstawie interakcji systemu ekspertowego z użytkownikiem,
6. mechanizm wnioskujący – służy do podejmowania decyzji o akcji i udzielonych danych wyjściowych, czyli odpowiedzi systemu ekspertowego na podstawie danych wejściowych np. zapytań lub udzielonych odpowiedzi przez użytkownika – w systemach klasycznych najczęściej opiera się o klasyfikatory,
7. mechanizm wyjaśniający – umożliwia użytkownikowi uzyskanie odpowiedzi dlaczego system udzielił określonej odpowiedzi lub dlaczego system zadał użytkownikowi określone pytanie,
8. interfejs użytkownika – służy do komunikacji użytkownika z szkieletem systemu ekspertowego,
9. użytkownik systemu – osoba, która potrzebuje mechanizmu wspomagającego diagnozę, prognozę lub planowanie.

Zdecydowana większość algorytmów podziału drzew decyzyjnych klasycznych systemów ekspertowych, do których należą drzewa klasyfikacyjne, wywodzi się z 3-ch klasycznych metod (Łapczyński 2003):

1. CLS (*ang. Concept Learning System*),
2. AID (*ang. Automatic Interaction Detection*),
3. CART (*ang. Classification and Regression Trees*).

Drzewa klasyfikacyjne ze względu na ich strukturę rozróżnia się na binarne i niebinarne, nazywane również dowolnymi (Łapczyński 2003). Zasadniczą różnicą pomiędzy drzewami binarnymi, a niebinarnymi jest możliwość wystąpienia jednego lub wielu wyników wnioskowania Spośród co najmniej trzech wariantów w systemach z drzewami niebinarnymi (rys. 8). Jednym z rozwinięć drzewa niebinarnego jest wnioskowanie oparte na logice boolowskiej 2-ego rzędu. Przykładowy sposób wnioskowania drzewa niebinarnego na przykładzie logiki klasycznej boolowskiej (Prac.pl) 2-ego rzędu przedstawiono na rysunku 8.



Rys. 8. Uproszczony fragment drzewa klasyfikacyjnego niebinarnego 2-rzędu
Źródło: Opracowanie własne

Wnioskowanie logiki boolowskiej 2-ego rzędu zachodzi wówczas, gdy na wynik wnioskowania wpływa kilka czynników, a liczba wyników może być większa niż jeden. Wnio-

skowanie takie przy modelach wejściowych *A, B* i wyjściowych *X* najprościej można przedstawić w następujący sposób (rys. 8):

$$A2 \cup B2 = X2 \cup X3$$

Przy czym w zależności od wybranego zbioru odpowiedzi istnieje wiele rozwiązań, np. (rys. 8):

$$A1 \cup B1 = X2$$
$$A1 \cup B2 = X1$$
$$A3 \cup B1 = BRAK$$
$$A3 \cup B2 = X3$$

W sytuacji, gdy efektem wnioskowania jest kilka różnych wyników zachodzić może konieczność doprecyzowania wyboru np. poprzez zliczanie liczby ich powtórzeń i wybór najczęściej powtarzanego rezultatu operacji o tym samym symbolu modelu.

Istotną kwestią przy tworzeniu systemu ekspertowego jest jego ocena. Ogólne kryteria oceny jakości systemu ekspertowego opartego o technikę drzew klasyfikacyjnych to:

1. rozmiar drzewa,
2. liczba węzłów,
3. wysokość i liczba liści,
4. dokładność klasyfikacji na poziomie treningu,
5. dokładność klasyfikacji na poziomie zbioru testowego.

Przy czym tworzenie i uczenie drzewa polega na rekurencyjnym podziale zbioru uczącego na podzbiory, aż do uzyskania ich jednorodności ze względu na przynależność obiektów do klas. Celem jest tu utworzenie drzewa o jak najmniejszej liczbie węzłów, aby otrzymać jak najprostsze reguły klasyfikacyjne do czego stosuje się również tzw. przycinanie drzewa (*ang. pruning*) (Bożek 2006).

Zalety drzew decyzyjnych to (Bożek 2006):

1. efektywna reprezentacja pojęć, drzewa umożliwiają możliwie skrótowy zapis wiedzy,
2. możliwość reprezentacji złożonych pojęć,
3. uwzględniają zarówno cechy jakościowe jaki i ilościowe,
4. pozwalają na błędy w danych i wartości brakujące,
5. bardzo efektywny (obliczeniowo) proces klasyfikacji nowych przypadków,
6. czytelna wizualizacja, o ile drzewo nie jest zbyt skomplikowane,
7. istnieje łatwa możliwość przejścia od drzew decyzyjnych do reguł decyzyjnych.

Wymienione zalety drzew klasyfikacyjnych uzasadniają ich zastosowanie w HSE. Natomiast do wad drzew decyzyjnych należą (Bożek 2006):

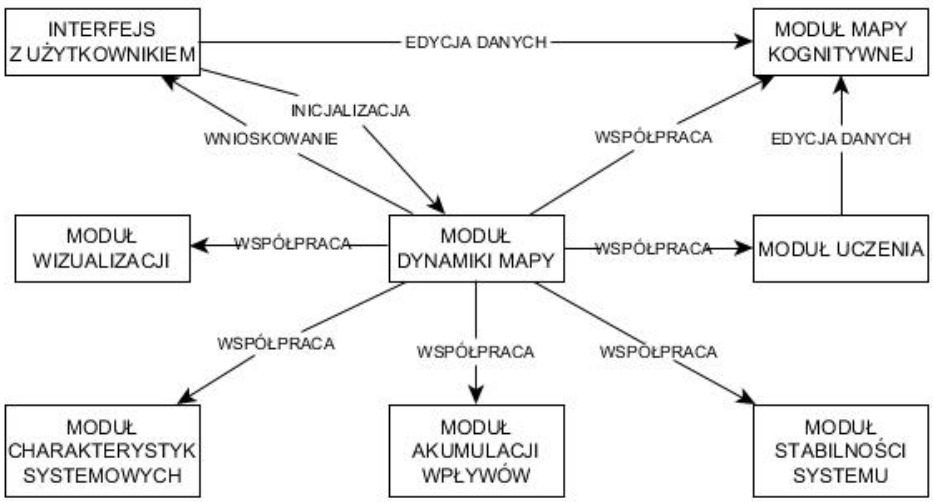
1. możliwość drastycznego błędu klasyfikacji w przypadku błędnej wartości atrybutu testowanego blisko korzenia drzewa,
2. brak możliwości uczenia się adaptacyjnego,
3. możliwe duże rozmiary drzew dla niektórych pojęć,
4. wymaga się w większości algorytmów by atrybuty decyzyjne były dyskretne,
5. mała stabilność drzewa – niewielka zmiana w drzewie wymaga ponownego uruchomienia algorytmu budowy drzewa.

Dodatkowo wadą drzew decyzyjnych jest fakt, że na etapie ich testowania i uczenia sprawdza się za każdym razem wartość tylko jednego atrybutu, co powoduje niepotrzebny rozrost drzewa. Niemniej wymienione wady drzew klasyfikacyjnych rekompensuje zastosowanie inteligentnych systemów ekspertowych.

3.2.3. Inteligentny system ekspertowy z koncepcją FCM

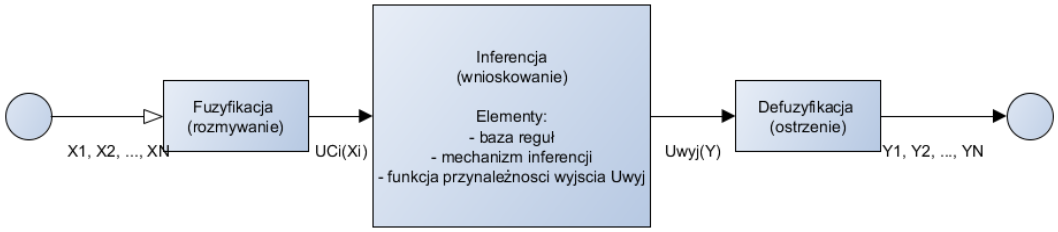
Rozwinięciem klasycznego systemu ekspertowego jest inteligentny system ekspertowy. Inteligentny system ekspertowy określa się również jako inteligentny system wspomagania decyzji (ISWD) (Wolny, Zadora 2008). Inteligentny system ekspertowy to program komputerowy rozwiązujący złożone problemy na podstawie wiedzy ekspertowej w sposób zbliżony do wnioskowania człowieka. Stanowi połączenie klasycznego systemu ekspertowego z wnioskowaniem arytmetycznym lub innym np. probabilistycznym (Kusz, Marciniak 2006), dzięki czemu ma zdolność do doskonalenia swojego działania na podstawie uzyskiwanego doświadczenia, co umożliwia wnioskowanie przy niepełnej, niepewnej i trudnej do sformalizowania wiedzy (Kosko 1986). Inteligentny system ekspertowy odpowiada zatem pojęciu hybrydowego systemu ekspertowego. Jednak może on stanowić system niepowiązany z wnioskowaniem klasycznym. Taki przykład inteligentnego systemu ekspertowego z zastosowaniem koncepcji FCM przedstawia m. in. Piotrowska (Piotrowska 2012). W takim systemie mapa kognitywna będąca pewnego rodzaju siecią neuronową (Sobczak 2007) odgrywa rolę zarówno bazy wiedzy, jak i maszyny wnioskującej (Wojarnik 2008), przy czym bazę wiedzy reprezentuje zbiór czynników mapy wraz z macierzą relacji, a wnioskowanie jest podyktowane działaniu mapy.

Przedstawiony przez Piotrowską inteligentny system ekspertowy składa się z bloków: bazy wiedzy, maszyny wnioskującej i interfejsu użytkownika. Bloki te skonstruowane są w oparciu o moduł mapy kognitywnej, moduł uczenia, moduł dynamiki mapy, moduł akumulacji wpływów, moduł stabilności systemu, moduł charakterystyk systemowych, moduł wizualizacji i interfejs użytkownika (rys. 9) (Piotrowska 2012). Od strony implementacji FCM w systemie ekspertowym najistotniejszymi modułami ISEMK są moduły mapy kognitywnej, dynamiki mapy, uczenia nienadzorowanego i charakterystyk systemowych.



Rys. 9. Schemat blokowy powiązań modułów ISEMK
Źródło: (Piotrowska 2012)

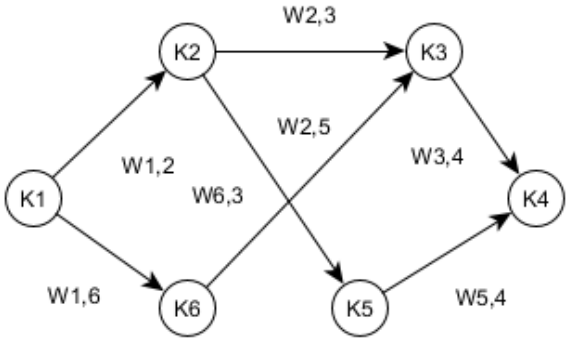
Moduł mapy kognitywnej oparty jest o konstrukcję FCM. W koncepcji podejścia FCM wiedza o modelowanym systemie zapisywana jest w formie grafu skierowanego przy zastosowaniu macierzy relacji pomiędzy elementami systemu. Wierzchołki grafu (węzły) reprezentują tzw. koncepty, czyli wejścia, wyjścia, zmienne, zdarzenia, a w ogólności dowolne cechy i elementy systemu istotne z punktu widzenia analizowanego problemu i budowanego dla niego modelu (Wróbel, Hoffmann 2019). Krawędzie grafu przedstawiają zależności pomiędzy konceptami, w postaci implikacji logicznej *P* -> *Q*, co oznacza „koncept *P* wpływa na koncept *Q*". Istotne jest jednak, że w ramach FCM używamy logiki rozmytej (ang. Fuzzy Logic), co oznacza, że implikacja nie ma znanej z logiki klasycznej cechy jednoznaczności, a fakt zaistnienia konceptu przyczynowego (jego tzw. aktywacji), nie musi oznaczać zaistnienia (aktywacji) konceptu wynikowego (skutku). Rozmyta mapa kognitywna jest zatem systemem wnioskowania w logice rozmytej (rys. 10), z bazą reguł określoną grafem, czyli zbiorem {*K*, *W*}, gdzie $K = \{K_1, K_2, \ldots, K_N\}$ oznacza zbiór konceptów modelowanego systemu, natomiast $W = \{W_{i,j}\}$ zbiór wag dla krawędzi pomiędzy konceptami K_i oraz K_j. W skład rozmytej mapy kognitywnej wchodzą też metody fuzyfikacji i defuzyfikacji. Metodą fuzyfikacji nazywamy proces uzyskiwania wag $W_{i,j}$ na podstawie ocen ekspertów lub wartości danych wejściowych, które mogą być zmierzone. Zauważmy, że nie wszystkie czynniki opisujące powiązania pomiędzy konceptami mogą być mierzalne. Z kolei metodą defuzyfikacji nazywamy zamianę rozmytych wartości wyjściowych na wyostrzone, najczęściej za pomocą funkcji przynależności (Wróbel, Hoffmann 2019).



Rys. 10. Elementy systemu wnioskowania w logice rozmytej
Źródło: (mail.pk.edu.pl; Wróbel, Hoffmann 2019)

Połączenia pomiędzy węzłami w grafie przyjmują wartości w przedziale *[-1,1]*, w zależności od znaku zdefiniować można trzy rodzaje przyczynowości (rys. 11):

1. $Wij > 0$ przyczynowość pozytywna: wzrost (spadek) wartości konceptu K_i powoduje wzrost (spadek) wartości K_j,
2. $Wij < 0$ przyczynowość negatywna: wzrost (spadek) wartości konceptu K_i powoduje spadek (wzrost) wartości K_j,
3. $Wij = 0$ brak relacji i wpływu wzrostu (spadku) wartości konceptu K_i na wzrost (spadek) wartości K_j.



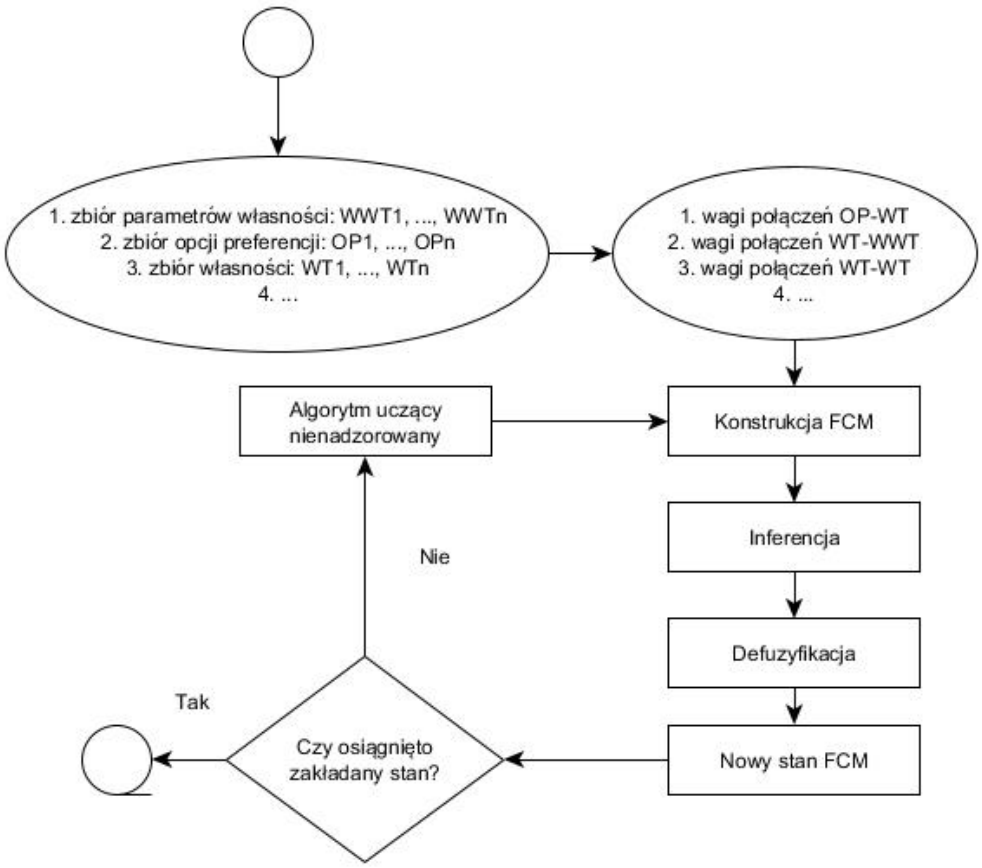
Rys. 11. Graf przedstawiający przykładową rozmytą mapę kognitywną
Źródło: (Papageorgiou, Stylios i Groumpos 2003; Wróbel, Hoffmann 2019)

W ogólności wyznaczanie wartości początkowych dla wag i konceptów pozostawia się ekspertom. Następnie obliczane są nowe wartości dla konceptów wg wzoru:

$$A_i^{(k+1)} = f\left(A_i^{(k)} + \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{N} A_j^{(k)} W_{ji}\right)$$

gdzie: $A_i^{(k)}$ oznacza wartość konceptu K_i w chwili k, natomiast w_{ji} jest wagą połączenia między konceptami K_j a K_i, z kolei f oznacza sigmoidalną funkcje progową. Informacje o przyszłych wartościach konceptu w chwili $k+1$, pozwalają na to, by korzystając z modelu FCM i modyfikując bieżące wartości konceptów, poszukiwać takich ich zmian, które wpłyną na otrzymanie korzystniejszej prognozy dla całego systemu.

Wdrożenie modelu rozmytych map kognitywnych wymaga odpowiedniego zdefiniowania elementów niezbędnych w każdym procesie wnioskowania w logice rozmytej. W szczególności określenia węzłów grafu FCM oraz krawędzi i ich wag - czyli zależności przyczynowo skutkowych w ramach systemu oraz ich siły. Kolejnym istotnym elementem jest określenie zbioru wartości dla każdego rodzaju węzłów, a także określenie funkcji przynależności dla każdego z nich, jest to niezbędne do zdeterminowania etapu fuzyfikacji. Następnie określenia wymagają wagi połączeń pomiędzy elementami systemu. W dalszej części tak skonstruowany zbiór danych wejściowych przekazywany jest do bloku rozmywania, czyli fuzyfikacji. Na tak przedstawionym w modelu FCM stanie systemu wykonywane jest wnioskowanie (inferencja) - czyli obliczenia komputerowe oparte na regułach logiki rozmytej, których Rezultatem jest nowy stan systemu o wartościach rozmytych. Jeżeli wartości te spełniają założenia, to wówczas algorytm jest zakończony. Natomiast jeśli wynik nie został osiągnięty, to wówczas modyfikowane są bieżące charakterystyki cech systemu poprzez algorytm uczenia nienadzorowanego. Uczenie nienadzorowane działa w taki sposób, by w kolejnej iteracji uzyskać stan systemu (tzn. jego parametrów) należący do zbioru pożądanych stanów. Uzyskanie takiego wyniku kończy działanie algorytmu (rys. 12) (Wróbel, Hoffmann 2019).



Rys. 12. Przykładowy algorytm wnioskowania ISEMK
Źródło: Na podstawie (Wróbel, Hoffmann 2019)

Moduł dynamiki mapy w ISEMK umożliwia monitorowanie wartości czynników w kolejnych krokach czasu dyskretnego. Zastosowana metoda wyznaczania zmian w systemie zależy od struktury analizowanego problemu oraz od potrzeb monitorowania określanych przez ekspertów (Piotrowska 2012). Obszerna bibliografia dotycząca modeli map kognitywnych została przedstawiona między innymi przez Borisowa, Krugłowa i Fiedułowa (Borisow, Krugłow i Fiedułow 2007), Froelicha i Juszczuka (Froelich, Juszczuk 2009), Jastriebowa, Gada i Słonia (Jastriebow, Gad i Słoń 2011), Papageorgiou i Froelich (Papageorgiou, Froelich 2012), czy na stronie internetowej Github.com.

Głównym problemem występującym przy budowie systemów ekspertowych jest pozyskiwanie wiedzy (ang. *knowledge acquisition*) (Wojarnik 2008). Przez wiele lat, podstawowym źródłem wiedzy były konsultacje ze specjalistami, literatura fachowa, czy ankiety. Tego typu akwizycja wiedzy jest jednak zadaniem trudnym, czasochłonnym i kosztownym. W związku z powyższym prowadzone są badania nad automatyzacją tego procesu, co ściśle związane jest z zagadnieniami uczenia nienadzorowanego (Mirończuk 2010), które określa się również jako uczenie maszynowe (ang. *machine learning*) (Wojarnik 2008; Cichosz 2000). Tak więc, kluczowym zagadnieniem dotyczącym map kognitywnych jest ich zdolność do doskonalenia swojego działania na podstawie zdobywanego doświadczenia (Piotrowska 2012). Definicja uczenia nienadzorowanego określa to pojęcie jako "system uczący się wykorzystujący zewnętrzne dane empiryczne w celu tworzenia i aktualizacji podstaw dla udoskonalonego działania na podobnych danych w przyszłości oraz wyrażania tych podstaw w zro-

zumiałej i symbolicznej postaci" (Wikipedia.plc). W przypadku sieci neuronowych tj. mapy kognitywne mamy do czynienia ze znacznie sprawniejszym procesem pozyskiwania wiedzy, niż w przypadku uczenia nadzorowanego drzew klasyfikacyjnych. Zamiast „ręcznego" wprowadzania reguł wykonywana jest operacja trenowania sieci neuronowej na podstawie właściwie dobranych przykładów. W celu generowania doskonalenia wnioskowania sieci należy wprowadzić przykład, czyli dane wejściowe *X* oraz spodziewane dane wyjściowe *Y*. Sieć musi tak się dostroić (zmieniać wartość wag połączeń), aby odpowiedzieć w sposób, jaki zakłada przykład. Po serii prób sieć nauczy się i będzie w stanie generować odpowiedzi na dotąd nieznane dane wejściowe (Wojarnik 2008). Zagadnienie metod i podejść uczenia nienadzorowanego oraz zastosowanie w pracy podejścia do uczenia FCM szczegółowo omówiono w podrozdziale 3.2.4.

Moduł charakterystyk systemowych (Borisow, Krugłow i Fiedułow 2007; Silov 1995) umożliwia analizę wpływu poszczególnych czynników mapy na system oraz systemu na czynniki. Przykładowo ISEMK przedstawiony przez Piotrowską umożliwia wyznaczenie w postaci tabelarycznej następujących charakterystyk systemowych (Piotrowska 2012):

1. konsonansu wpływu *i*-tego czynnika na system (*Ci*),
2. konsonansu wpływu systemu na *j*-ty czynnik (*Cj*),
3. dysonansu wpływu *i*-tego czynnika na system (*Di*),
4. dysonansu wpływu systemu na *j*-ty czynnik (*Dj*),
5. wpływu *i*-tego czynnika na system (*Pi*),
6. wpływu systemu na *j*-ty czynnik (*Pj*).

Gdy wartości charakterystyk *Pi, Pj, Ci i Cj* dążą do 0, a *Di* i *Dj* do *1*, to uzyskany model mapy kognitywnej jest mało adekwatny odbiegając od postaci rzeczywistego obiektu lub jego struktura nie jest optymalna.

3.2.4. Metody i podejścia uczenia nienadzorowanego FCM

Metody uczenia map kognitywnych analizowano m. in. w pracach (Papageorgiou, Froelich 2012; Brito, Gerstner 2016; Stach, Kurgan i Pedrycz 2010; Piotrowska 2012; Froelich, Juszczuk 2009; Papageorgiou, Stylios 2008; Aziz, Nassar 2011). Przy czym wyróżnia się 3 kategorie metod i 21 podejścia stosowane w nienadzorowanym uczeniu FCM (tab. 21) (Papageorgiou 2012).

Tab. 21. Kategorie i podejścia algorytmów uczenia nienadzorowanego FCM
Źródło: (Papageorgiou 2012)

Kategoria uczenia	Podejście uczenia nienadzorowanego
Oparte na działaniu neuronów	DHL (Dickerson, Kosko 1994)
	BDA (Huerga 2002)
	AHL (Papageorgiou, Stylios i Groumpos 2004)
	NHL (Papageorgiou, Stylios i Groumpos 2003; Papageorgiou, Groumpos 2005)
	DD-NHL (Stach, Kurgan i Pedrycz 2008)
	Petri nets (Konar, Chakraborty 2005)
Oparte na populacji	Genetic Stategies (Koulouriotis, Diakoulakis i Emiris 2001)
	Particle Swarm Optimization (PSO) (Papageorgiou, Stylios i Groumpos 2004)
	Memetic algorithm (Petalas 2005)
	Real-coded genetic algorithm (RCGA) (Stach 2005)
	Genetic algorithm (GA) (Mateou, Moiseos i Andreou 2005)
	Parallel RCGA (Stach, Kurgan i Pedrycz 2007)

	Divide and Conquer for genetic learning (Stach, Kurgan i Pedrycz 2010)
	Simulated annealing (SA) (Alizadeh i in. 2007)
	Tabu serach (TS) (Alizadeh, Ghazanfari i Fathian 2008)
	Immune Algorithm (Lin, Chen i He 2007)
	Game-based learing model (Luo, Wei i Zhang 2009)
	Extended Great Deluge Algorithm (EGDA) (Baykasoglu, Durmusoglu i Kaplanoglu 2011)
Podejścia hybrydowe	NHL-DE(Papageorgiou, Groumpos 2005 A)
	NHL-RCGAs (Zhu, Zhang 2008)
	Nonlinear Hebbian learning as a unifying principle in receptive field formation (Brito, Gerstner 2016)

Jednym z bardziej zaawansowanych podejść do nauki FCM jest DD-NHL będące rozwinięciem podejścia nieliniowego uczenia hebbianowskiego (*ang. Nonlinear Hebbian learning* – NHL), którego skuteczność w postaci najnowszego rozwinięcia potwierdzają ostatnie badania Brito i Gerstner (Brito, Gerstner 2016). DD-NHL jest przy tym skuteczniejsza, niż inne podejścia tj. DHL, z których uzyskiwane rezultaty są niejednoznaczne (Stach, Kurgan i Pedrycz 2008). Innym skutecznym sposobem może być zastosowanie np. podejścia Dziel i zwyciężaj dla uczenia genetycznego (ang. *Divide and Conquer for genetic learning*), algorytmu Optymalizacji Roju Cząstek (*ang. Particle Swarm Optimization* – PSO) lub połączenia obu podejść, które przedstawił Jourabloo (Jourabloo, 2011). Za przytoczonymi podejściami opowiadają się Papageorgiou, Stylios i Groumpos (Papageorgiou, Stylios i Groumpos 2004), którzy uważają, że PSO daje obiecujące rezultaty oraz Jourabloo (Jourabloo, 2011) wskazujący na wysoką skuteczność zaproponowanego podejścia.

W opracowanej metodzie za główne podejście przyjęto podejście sterowania danymi NHL (ang. *Data Driven Nonlinear Hebbian learning* – DD-NHL) (załącznik: folder nr 1.2.), które rozszerza podejście NHL za pomocą wejściowych danych historycznych konceptów zapewniając lepszą jakość wnioskowania map FCM. DD-NHL testowano zarówno na danych syntetycznych, jak i rzeczywistych, w których wykazywał większą skuteczność, niż podejście NHL niekorzystające z żadnych dodatkowych informacji optymalizujących uczenie nienadzorowane FCM (Stach, Kurgan i Pedrycz 2008).

Algorytm DD-NHL tak jak algorytm NHL poza wykorzystaniem nieliniowego uczenia Hebbianowskiego opracowanego dla sztucznych sieci neuronowych korzysta z zasady uczenia Oja (Oja 1989; Oja 1991). Zasada Oja pierwotnie wprowadzono w celu poznania wag neuronów. Dostosowana do rozmytych map kognitywnych reguła jest wyrażona jako następujące równanie (Stach, Kurgan i Pedrycz 2008):

$$e_{ij}(k) = e_{ij}(k\text{-}1) + \eta\, C_j\,(C_i - sgn(e_{ij})\, C_j\, e_{ij}(k-1))$$

gdzie: C_i, C_j są bieżącymi wartościami aktywacji pojęcia *i*-tego i *j*-tych obliczonych dla każdej iteracji, e_{ij} (k) jest wartością wagową relacji między pojęciem *i*-tego i *j*-tych w iteracji k i η jest współczynnik uczenia się.

Zasada uczenia Hebbianowskiego zakłada, że aktualizacja wagi e_{ij} jest proporcjonalna do iloczynu aktywacji pojęć C_i i C_j. Może to jednak prowadzić do nieskończonego wzrostu wartości wag. Kluczową ideą reguły uczenia Oja jest unikanie tego efektu poprzez użycie terminu zapominania, który jest odejmowany od prawej strony. W tej konkretnej metodzie termin zapominania jest proporcjonalny nie tylko do wartości wagi, ale także do kwadratu wartości poszukiwanego konceptu (dla e_{ij} C_j jest pojęciem celu).

Różnica pomiędzy NHL, a DD-NHL polega na tym, że podejście NHL zakłada wyzwalanie wszystkich konceptów synchronicznie przy każdej iteracji i synchroniczną zmianę ich wartości. Algorytm NHL przyjmuje początkową mapę FCM i początkowe wartości wszystkich pojęć i iteracyjnie aktualizuje model do momentu znalezienia pożądanej mapy. Dla porównania DD-NHL nie wymaga początkowej mapy FCM, którą może sam wygenerować na podstawie historycznych wartości konceptów, wyznaczających zakończenie wnioskowania. Natomiast NHL ma dwa warunki zakończenia. Pierwszy wykorzystuje informacje o pożądanych wartościach niektórych konceptów, które pochodzą z wiedzy eksperckiej lub specyfikacji problemu. Koncepty te nazywane są pojęciami pożądanego wyjścia (*ang. Desired Output Concepts* - DOC) i zazwyczaj mają predefiniowany zakres pożądanych wartości. W zależności od konkretnego problemu uczenie może ulec zakończeniu, gdy wszystkie pożądane koncepty osiągną pożądane poziomy aktywacji lub gdy będą wystarczająco blisko tych poziomów. Drugi warunek uwzględnia zmianę kolejnych wartości DOC i jest utrzymywany, jeżeli wszystkie z nich zmieniają się mniej, niż wstępnie zdefiniowana bardzo mała stała *e*. Gdy zmienność DOC jest mniejsza niż *e*, nie ma sensu, aby algorytm kontynuował proces uczenia.

DD-NHL od NHL odróżnia proces wnioskowania, który dla NHL do nauki rozmytych map kognitywnych składa się z siedmiu etapów (Papageorgiou, Stylios i Groumpos 2003; Papageorgiou, Stylios i Groumpos 2006):

1. etap 1. biorąc pod uwagę: wartości pojęć *C(0)* i początkowej macierzy połączeń *E(0)* oraz ograniczenia nałożone na pożądane wartości DOC w postaci nierówności:

$$C\ \frac{MIN}{j} \leq Cj \leq C\frac{MAX}{j}$$

2. etap 2.dla każdego etapu iteracji *k,*
3. etap 3. zaktualizowanie wagi zgodnie z równaniem:

$$e_{ij}\ (k) = e_{ij}\ (k\text{-}1) + \eta\ C_j\ (C_i - sgn\ (e_{ij})\ C_j\ e_{ij}\ (k-1))$$

4. etap 4. obliczenie C(*k*) dla każdej koncepcji zgodnie z równaniem:

$$\forall j\ \in \{1, \dots, N\}, Cj\ (t+1)\ = f\left(C_j(t) + \sum_{i=1}^{N} e_{ij} C_i\ (t)\right)$$

gdzie:

$C_j\ (t)$ – poziom aktywacji koncepcji j-ty przy iteracji *t,*

e_{ij} – siła relacji od koncepcji C_i do koncepcji C_j,

f - funkcja transformacji,

5. etap 5. ocena warunków rozwiązania za pomocą C(*k*) z etapu 4., *E(k*) i *E*(*k-1*).
6. etap 6. do czasu spełnienia obu warunków zakończenia przejdź do etapu 2,
7. etap 7. zwrócenie ostatecznej macierz połączeń W_{FINAL}.

Przy czym etap 6. można wyrazić poprzez dwa stany:

1. stan 1. (minimalizacja kosztu funkcji *F*): obliczanie funkcji kosztów dla każdego *F*:

$$F = \sqrt{\sum_{DOC_j} ||C_j(k) - T_j||^2}$$

gdzie:

Tj – średnia wartość docelowa konceptu *Cj*, tj.:

$$T_j = \frac{C_j^{MAX} - C_j^{Min}}{2}$$

Celem procesu szkolenia jest określenie zestawu wag, które minimalizują funkcję *F*.

2. stan 2. (zakończenie algorytmu po ograniczonej liczbie kroków):

2.1. etap 1. obliczanie maksymalnej różnicy e_{max} pomiędzy e_{ij} *(k)* i e_{ij} *(k-1)*,

2.2. etap 2. jeśli wartość bezwzględna e_{max} jest mniejsza niż ε, zwróć *TRUE*, w przeciwnym razie zwróć *FALSE*.

Zasadnicza różnica pomiędzy DD-NHL, a NHL polega na tworzeniu w oparciu o dane historyczne macierzy *D*, gdzie d_{ij} odpowiada wartości *i*-tej koncepcji w *j*-tym punkcie czasowym. Innymi słowy, wartości pojęć są wyrażone jako serie w czasie. Wielkość *D* to *KxN*, gdzie *K* to liczba dostępnych punktów danych, a *N* to liczba pojęć w modelowanym systemie.

Algorytm DD-NHL wykorzystuje dostępne dane historyczne w etapie 4, który jest zmodyfikowany względem algorytmu NHL do następującej postaci (Stach, Kurgan i Pedrycz 2008):

Etap 4. przypisanie *C* (*k*) z następnym rzędem macierzy *D*

Zatem aktualizacja macierzy jest przeprowadzana w oparciu o dostępne dane, które są używane na każdym etapie iteracji algorytmu. W przypadku wykorzystania wszystkich danych i niespełnienia warunków zakończenia, zaczynamy ponownie używać tych samych punktów danych (pierwszy wiersz macierzy *D* itd.).

Zasadniczo DD-NHL nadal używa reguły uczenia Oja, ale zamiast tego generuje dane wykorzystywane do uczenia tylko z bieżącego modelu, korzystając z danych dostępnych dla danego systemu. DD-NHL nadal potrzebuje początkowej macierzy połączeń, ale zamiast mapy wygenerowanej przez eksperta, może użyć losowo wygenerowanej mapy początkowej. Ponieważ problemem uczenia się w tym przypadku jest uzyskanie modelu mapy FCM, który po uruchomieniu z danego wektora stanu początkowego zbiega się do stanu, który spełnia pewne warunki, zaktualizować można również pierwszy warunek zakończenia. Po każdej iteracji aktualizacji uczenia bieżąca mapa FCM jest symulowana z wektora stanu początkowego, aż do osiągnięcia stabilnego stanu. Następnie wartości DOC z tego stanu są porównywane z pożądanymi wartościami DOC. Ta procedura gwarantuje, że jeśli rozwiązanie zostanie znalezione, spełni wszystkie wymagania dotyczące nauki. Dlatego warunek 1-wszy dla tego działania wyrażony jest w następujący sposób (Stach, Kurgan i Pedrycz 2008):

1. stan 1. (sprawdzanie warunków nałożonych na DOC):

1.1. etap 1. symulacja aktualnej mapy FCM zdefiniowanej przez *E*(*k*), poczynając od warunku początkowego *C(0)*, aż do osiągnięcia ustalonego stanu,

1.2. etap 2. dla każdego C_j, który został zdefiniowany jako DOC_j, sprawdź, czy stała wartość $C_j(n)$ spełnia ograniczenie,

1.3. etap 3. jeśli istnieje co najmniej jeden C_j, który nie spełnia ograniczenia z etapu 2., zwróć FALSE,

1.4. etap 4. w przeciwnym razie zwróć *TRUE*.

W celu skutecznego poszukiwania układu FCM dającego rezultaty wnioskowania odpowiadające wynikom rzeczywistym uzyskiwanym empirycznie w metodzie zastosowano po-

dejście *Particle Swarm Optimization* (załącznik: folder nr 1.2.). Podejście *Particle Swarm Optimization* zostało zaproponowana i wykorzystana po raz pierwszy do nauki FCM, dając bardzo obiecujące rezultaty (Papageorgiou 2004). Algorytmy PSO są częścią inteligencji roju należącą do technik obliczeń ewolucyjnych, która jest szybko rozwijającym się obszarem sztucznej inteligencji. Techniki inteligencji roju są inspirowane i oparte na dynamice społecznej i zachowaniu pojawiającym się w społecznie zorganizowanych koloniach (Parsopoulos, Vrahatis 2002; Eberhart, Shi i Kennedy 2001). PSO to oparty na populacji algorytm optymalizacji stochastycznej (Papageorgiou 2004) zapewniający procedurę wyszukiwania, która optymalizuje funkcję celu φ () zależną od problemu (Papageorgiou i in. 2005), poprzez utrzymywanie i rozwijanie potencjalnych rozwiązań. Korzystając z tego podejścia do uczenia można wyprowadzić szereg odpowiednich macierzy wag prowadzących system do pożądanych regionów zbieżności. Ponadto strategie ewolucji wykorzystuje się do obliczenia wartości pożądanych pojęć wyjściowych i konfiguracji systemu (Koulouriotis, Diakoulakis i Emiris 2001). Dokładnie ta sama technika została zastosowana w szkoleniu sieci neuronowych. PSO nie bierze pod uwagę początkowej struktury i wiedzy ekspertów dla modelowania mapy FCM, ale wykorzystuje zestawy danych określające koncept wejściowe i wyjściowe w celu zdefiniowania zależności przyczynowo-skutkowych spełniających funkcję sprawności (Papageorgiou 2004).

Załóżmy, że posiadamy D-wymiarową przestrzeń poszukiwania, $S \subset \mathbb{R}^D$, i rój składający się z N cząstek. To cząstka jest w efekcie wektorem D-wymiarowym, $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, ..., x_{iD})^T \in S$. Prędkość tej cząstki jest również wektorem D-wymiarowym, $V_i = (v_{i1}, v_{i2}, ..., v_{iD})^T \in S$ (Papageorgiou i in. 2004). Najlepszą poprzednią pozycją napotkaną przez tę cząstkę jest punkt i-tego, oznaczony przez $P_i = (p_{i1}, p_{i2}, ..., p_{iD})$. Zakładając, że g_i jest indeksem cząstki, która osiągnęła najlepszą pozycję w całym roju (wersja globalna) lub najlepszą pozycję w sąsiedztwie cząsteczki (wersja lokalna). Następnie rój jest manipulowany przez równania (Clerc, Kennedy 2002):

$$V_i(t+1) = \chi\,[V_i(t) + c_1 r_1 (P_i(t) - X_i(t)) + c_2 r_2 (P_{gi}(t) - X_i(t))],$$

$$X_i(t+1) = X_i(t) + V_i(t+1),$$

gdzie:

$i = 1, ..., N$,

χ – parametr zwany współczynnikiem zwężenia,

c_1 i c_2 – dwa parametry zwane odpowiednio charakterystykami poznawczymi r_1, r_2, liczb losowych równomiernie rozmieszczonych w przedziale $[0,1]$.

Wartość współczynnika zwężenia można wyprowadzić analitycznie (Clerc, Kennedy 2002); inicjalizacja roju i jednostek jest zwykle wykonywana losowo i jednolicie w przestrzeni poszukiwań.

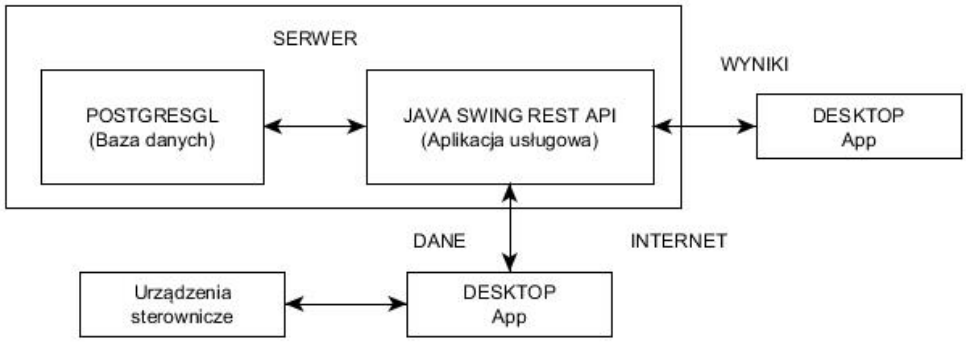
4. Hybrydowy system ekspertowy do kształtowania ergonomiczności interakcji OS-RUiES

4.1. Budowa hybrydowego systemu ekspertowego

Podstawą informatyczną opracowanej metody i hybrydowego systemu ekspertowego jest środowisko aplikacji składające się z:

1. bazy danych PostgresSql (Stones, Matthew i Meryk 2002) i aplikacji usługowej Java Swing REST API z technologią Hibernate (GitHub.com; Dominik 2017) zlokalizowanych na serwerze Heroku.com (Heroku.com),
2. aplikacji desktopowej administratora do obsługi wnioskowania regułowego, uczenia nadzorowanego i nienadzorowanego FCM w oparciu o dane z serwera w Java lub Pythonie z biblioteką relacji elementów mapy FCM (rys. 13).

Środowisko aplikacji uzupełnia aplikacja desktopowa Java Swing MVC (Javacodegeeks.com) zlokalizowana na komputerze administratora systemu, jak i komputerach użytkowników, co jest wymogiem możliwości korzystania z aplikacji. Kod źródłowy aplikacji dostępny jest w załączniku rozprawy.

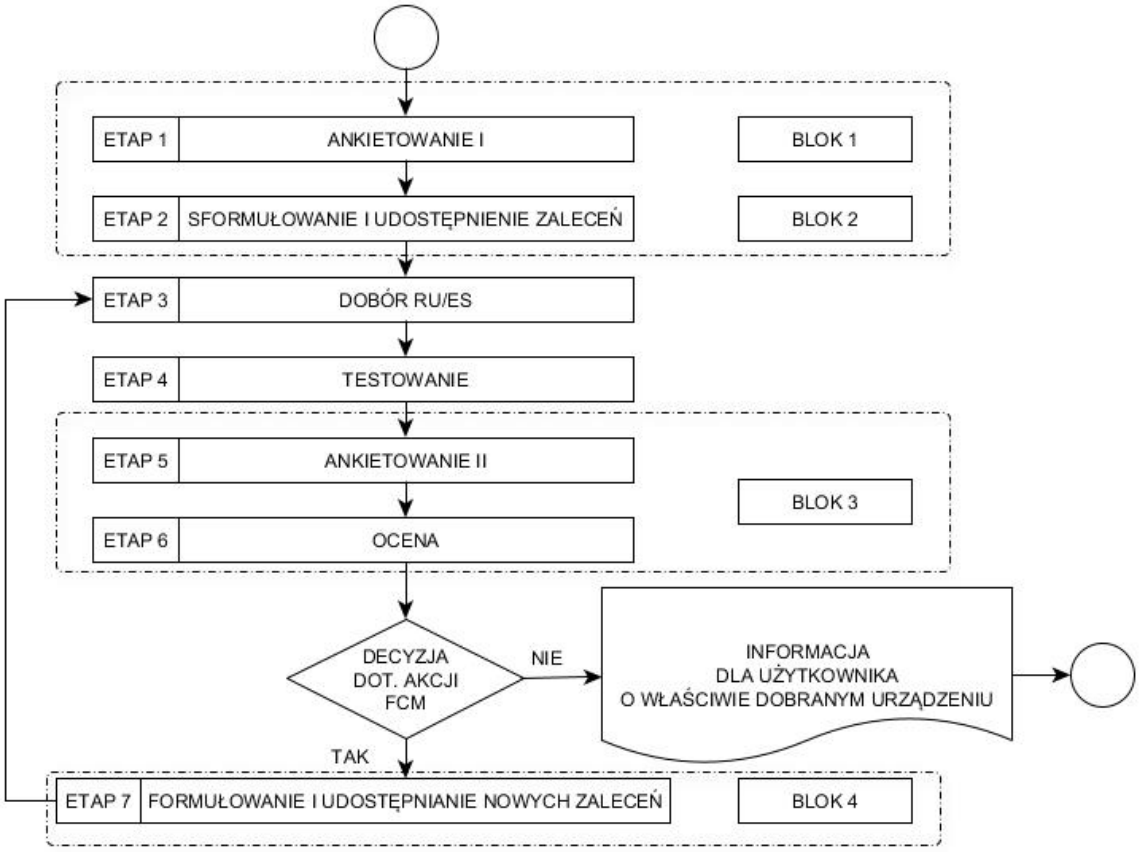


Rys. 13. Schemat budowy środowiska aplikacji HSE
Źródło: Na podstawie (Javacodegeeks.com; Dominik 2017; GitHub.com; Heroku.com; Stones, Matthew i Meryk 2002)

Architektura hybrydowego systemu ekspertowego umożliwia podłączenie równolegle wielu komputerów użytkowników i typów RUS/RES dzięki zastosowaniu odpowiednich konwerterów tj. JoyToKey (JoyToKey.com). Wszystkie komputery połączone są z serwerem poprzez łącze internetowe.

4.2. Zastosowanie HSE

Na podstawie wcześniejszych prac koncepcyjnych (Wróbel K., Hoffmann 2019) wyszczególniono podstawowe etapy użytkowania i bloki wnioskowania HSE. Etapy użytkowania HSE w sposób ogólny przedstawiono na rysunku 14, natomiast w tabeli 22 opisano dokładnie relację pomiędzy działaniami użytkownika a systemem.



Rys. 14. Etapy użytkowania oraz podział HSE na bloki
Źródło: Opracowanie własne

Etapy użytkowania HSE realizowane są przez projektanta lub użytkownika końcowego poprzez aplikację usługową. Natomiast działanie bloków HSE przeprowadzane jest z zastosowaniem aplikacji desktopowej administratora. Działanie aplikacji usługowej i administratora jest połączone systemowo (rys. 13 i tab. 22).

Tab. 22. Szczegółowa relacja pomiędzy działaniami użytkownika i HSE
Źródło: Opracowanie własne

Nr działania	Działanie ogólne	Przebieg działań użytkownika i HSE		Aplikacja i blok HSE
		Działania użytkownika	Działania HSE	
1.	Uruchomienie aplikacji	Uruchomienie pliku HSE		Aplikacja użytkowa
2.			Uruchomienie baz danych, kodów poleceń, reguł postępowania itd. oraz połączenie z serwerem	
3.	Zalogowanie do HSE		Wygenerowanie logowania: Podaj nr użytkownika lub nadaj nr użytkownika (nazwa i login); wygenerowanie indywidualnego nr użytkownika oraz utworzenie indywidualnej bazy danych użytkownika (baza danych zapisywana jest po ukończeniu pierwszego ankietowania w celu ograniczenia hakowania systemu); zalogowanie nowego lub dotychczasowego użytkownika	
4.		Zapisanie nr użytkownika i loginu; zalogowanie do HSE		
5.	AKU		Wygenerowanie pytań i odpowiedzi	Aplikacja użytkowa i administratora: Blok 1. i 2.
6.		Przeczytanie pytań i zaznaczenie właściwych odpowiedzi; zwymiarowanie kończyn górnych		
7.	Ogólne zalecenia do doboru RUiES		W oparciu o odpowiedzi i reguły wnioskowania wygenerowanie dla użytkownika zbioru zaleceń technicznych i ergonomicznych	
8.		Przeczytanie i zapoznanie się z zaleceniami HSE (użytkownik musi uwzględnić tylko te zalecenia, które dotyczą dobranego typu RUS/RES)		
9.	Dobór RUiES przez użytkownika	Zaopatrzenie się w RUS/RES spełniające zalecenia HSE (działanie zależne – może być później patrz działanie nr 10-16)		Aplikacja użytkowa
10.		Wybranie opcji: Przejdź do testów lub zamknij system		
11.			Przejście do modułu drugiego ankietowania lub zapisanie i zamknięcie systemu	
12.		Zaopatrzenie się w RUS/RES spełniające zalecenia HSE		
13.		Ponowne otwarcie systemu		

14.			Uruchomienie baz danych, kodów poleceń, reguł postępowania itd. oraz połączenie z serwerem	
15.			Wygenerowanie logowania	
16.		Zalogowanie się jako użytkownik wpisując swój nr i login		
17.	Testowanie czynności manipulacyjnych		Wygenerowanie modułu testowego – wprowadzenie do testu 1 i 2	Aplikacja użytkowa
18.		Wybór i przejście do właściwego zadania (zadanie jest wskazywane przez HSE w zaleceniach do doboru RUS/RES); zapoznanie się z treścią zadania i przystąpienie do zadania; w przypadku pominięcia testu 1 pomijane są działania 19-21		
19.			Zebranie i przeanalizowanie danych z testu (działanie tylko po wyborze testu 1)	
20.			Wygenerowanie dla użytkownika wyników testu (działanie tylko po wyborze testu 1)	
21.		Spisanie wyników testu i wybranie opcji: przejdź do następnego testu, powtórz test, przejdź do oceny interakcji; w przypadku pominięcia testu 2. pomijane są działania 22-25		
22.	Testowanie wprowadzania tekstu		Wygenerowanie polecenia do drugiego testu i wskazanie otwarcia programu Klaviro; test 31; wygenerowanie opcji wyboru: zminimalizuj aplikację i przejdź do oceny interakcji	
23.		Zapoznanie się z poleceniem drugiego testu zminimalizowanie aplikacji i uruchomienie programu Klaviro i testu 31 lub pominięcie testu poprzez przejście do oceny interakcji		
24.		Ponowne zapoznanie się z treścią zadania w programie Klaviro i wykonanie testu nr 31		
25.		Zapisanie wyników testu nr 31		
26.	Ocena interakcji	Powrócenie do aplikacji i wybranie opcji: przejdź do oceny interakcji		Aplikacja użytkowa

27.			Wygenerowanie pytań i odpowiedzi do oceny interakcji RUiES-OS	i administratora: Blok 3.
28.		Przeczytanie pytań i zaznaczenie właściwych odpowiedzi; w pytaniu Q32 i Q34 wpisać należy rezultaty testu pierwszego, a w pytaniu Q33 i Q35 wpisać należy rezultaty testu drugiego		
29.			Ocena spełnienia oczekiwań użytkownika co do poziomu szukanego urządzenia lub elementu sterowniczego. W sytuacji spełnienia zakładanego poziomu ergonomiczności zapisanie danych i wygenerowanie komunikatu dla użytkownika o właściwie dobranym urządzeniu. W przypadku niespełnienia zakładanego poziomu ergonomiczności interakcji rozpoczęcie wygenerowania szczegółowego zalecenia do doboru RUS/RES – aktywacja bloku 4	
30.	Pierwsze szczegółowe zalecenia do doboru RUiES		W oparciu o opcje preferencji, bazy danych istotności relacji, metodę rozmytych map kogniwistycznych, moduł nienadzorowanego uczenia się wygenerowanie parametrów wartości zbioru cechy technicznych. Powiadomienie użytkownika o kierunkach niezbędnych zmian charakterystyk cech technicznych niezbędnych do osiągnięcia oczekiwanego rezultatu. Zapisanie danych	Aplikacja administratora: Blok 4.
31.	Powtórzenie przez użytkownika działań od 8 do 28, a przez aplikację od 11 do 30	Jak wyżej	Jak wyżej	Jak wyżej

Dla każdego przypisanego przez HSE numeru użytkownika etap 1 i 2 występują tylko jeden raz, natomiast etapy od 3 do 7 mogą być wykonywane wielokrotnie (rys. 14 i tab. 22). Konieczność powtórzeń etapów zależy od zdefiniowanego przez użytkownika pożądanego poziomu ergonomiczności RUS/RES i od uzyskanej po testach oceny interakcji RUiES-OS. Określenie pożądanego poziomu ergonomiczności zachodzi na etapie ankietowania 1. Ankietowanie odbywa się przy użyciu zestawu pytań (PQ i Q) (tab. 23) oraz przyporządkowanych odpowiedzi (PA i A) (tab. 24). W oparciu o zbiór odpowiedzi użytkownika na określone pytanie HSE formułuje zalecenia użytkowe, techniczne i ergonomiczne względem dobranego typu RUS/RES. Przy czym formułowanie wyników wnioskowania regułowego przebiega etapowo wraz z ankietowaniem. Z uzyskanych zaleceń użytkownik ma za zadanie dobrać lub zaprojektować urządzenie sterownicze. W HSE na etapie pierwszego ankietowania występują dodatkowo trzy działania. Pierwsze działanie to zebranie danych dotyczących wieku użytkownika (WU). Działaniem drugim jest ocena wiarygodności wprowadzanych przez użytkownika informacji (CO). Natomiast ostatnie z działań dotyczy identyfikacji pożądanego przez użytkownika poziomu ergonomiczności (OPE) stanowiącego informację do zaleceń HSE. Przedstawione działania występują równolegle z blokiem 1 i 2.

Etap 3 użytkowania systemu wykonywany jest przez użytkownika poza udziałem HSE, który jedynie informuje o konieczności i opisie jego wykonania. Testowanie urządzenia odbywa się w etapie 4 za pomocą dostępnych lub opracowanych testów oceny interakcji analizowanego systemu. Etap 5 to drugie ankietowanie polegające na ocenie interakcji RUiES-OS przez użytkownika i/lub osób trzecich na podstawie przebiegu wykonanego testu. Po uzyskaniu odpowiedzi od użytkownika HSE wykonuje etap 6 wylicza ocenę interakcji i ustala, czy uzyskany wynik spełnia wcześniej zdefiniowane przez użytkownika oczekiwanie dotyczące poziomu ergonomiczności. W sytuacji spełnienia oczekiwania HSE informuje o właściwie dobranym urządzeniu. Natomiast w przypadku niespełnienia oczekiwania HSE uruchamia etap 7 poszukiwania nowego zbioru charakterystyk cech RUiES.

Reguły wnioskowania etapu 1, 2, 5, 6 i 7 podzielono na bloki, które opisano w podrozdziale 4.6.

4.3. Charakterystyka modeli i reguł

Relacje pomiędzy opcjami preferencji, zaleceniami systemu i charakterystykami cech RUiES przetwarzane są przez HSE w formie modeli i reguł. Do zapisu modeli i reguł wnioskowania klasyfikacyjnego i FCM zastosowano jednolity system separatorów. W pracy przyjęto, że separator:

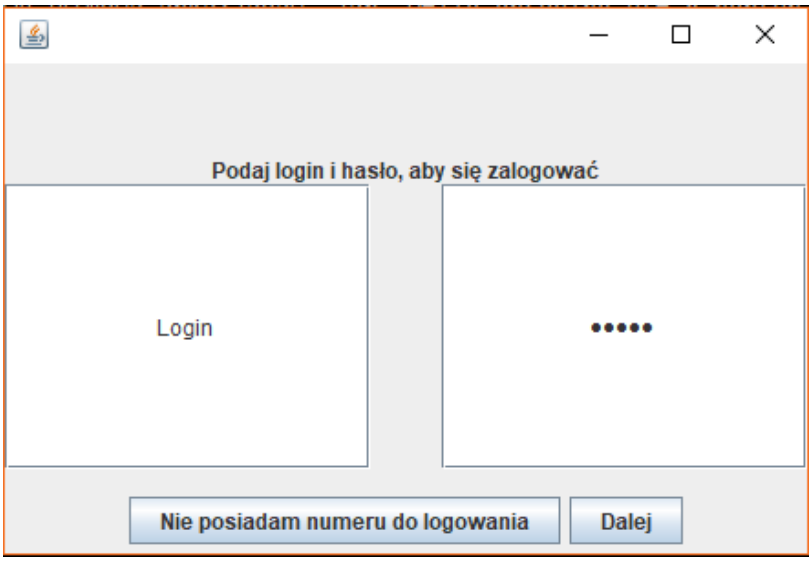
1. ; w plikach typu model (ang. *model*) oddziela symbol modelu od jego znaczenia, a w plikach typu reguła (ang. *rule*) oddziela symbole poszczególnych modeli w danym ich zbiorze,
2. : wskazuje, że względem modelu o symbolu poprzedzającym separator odpowiadają modele o symbolach występujących po separatorze,
3. | oddziela symbole modeli informując, że tylko jeden z modeli oddzielony tym separatorem może zostać wybrany; sytuacja taka zachodzi np. w pytaniach jednokrotnego wyboru,

4. + oddziela symbole modeli informując, że jeden lub wszystkie z modeli oddzielone tym separatorem mogą zostać wybrane; sytuacja taka zachodzi np. w pytaniach wielokrotnego wyboru,
5. > oddziela symbole modeli, gdzie symbol modelu poprzedzający separator przyjmuje wyższą rangę istotności nad symbolem modelu po separatorze,
6. = oddziela symbole modeli zmiennych równania od modelu lub modeli wyniku określonego równania.

Wszystkie pliki typu model, reguła, jak i ścieżka pytań i odpowiedzi z podziałem na bloki wnioskowania HSE zamieszczono w załączniku rozprawy (załącznik: folder nr 2.1.-2.5.). Przy czym zastosowana budowa HSE umożliwia łatwą przebudowę reguł wnioskowania.

4.4. Interfejs użytkownika

Aplikacja usługowa zawiera interfejs użytkownika składający się z 45 okien dialogowych (załącznik: folder nr 1.1.), których wyświetlenie zależy od ścieżki pytań i odpowiedzi (załącznik: folder nr 2.5.; plik 32). Ścieżkę pytań na podstawie, których system wykonuje operacje wnioskowania poprzedza okno dialogowe logowania. Przykładowe okno dialogowe HSE przedstawiono na rys. 15 i 16.



Rys. 15. Okno dialogowe logowania do HSE
Źródło: HSE

Dla wszystkich działań HSE rozpatrywanych w kategorii procesu wejścia stanowią odpowiedzi (PA i A) na pytania (PQ i Q) etapów ankietowania (załącznik: folder nr 2.1.1.; plik 1 i 2). Całkowita liczba pytań to 39, a odpowiedzi 242. Pytania PQ1-PQ17 dotyczą ankietowania 1, a pytania Q18-Q37 stanowią etap ankietowania 2 (tab. 23).



Rys. 16. Przykładowe okno dialogowe pierwszego ankietowania
Źródło: HSE

Pytania HSE wraz z ich zastosowaniem w kontekście danych wejściowych (tj. opcje preferencji użytkownika) do wnioskowania klasyfikacyjnego i FCM przedstawiono w tabeli 23.

Tab. 23. Zastosowanie pytań etapów ankietowania HSE
Źródło: Opracowanie własne

L.p.	Symbol	Treść pytania	Zastosowanie
1.	PQ1	Podaj swój wiek?	Umożliwia powiązanie wieku użytkownika z wynikami wnioskowania; dane dot. wieku nie stanowią o wynikach wnioskowania
2.	PQ2	Czy kiedykolwiek użytkowałeś?:	Umożliwia uwzględnienie doświadczenia użytkowego w doborze typu RUiES
3.	Q1	Czy kiedykolwiek użytkowałeś komputer:?	Weryfikuje odpowiedź na pytanie PQ2 i umożliwia dobór liczby elementów sterowniczych RUS
4.	Q2	Jaka jest twoja dominująca ręka:?	Umożliwia dobór RUiES do ręczności
5.	Q3	Czy używając mysz komputerową twoją dominującą ręką jest:?	
6.	Q4	Jak bardzo chcesz nauczyć się dobrze posługiwać się urządzeniami sterowniczymi i komputerem:?	Weryfikuje sumienność wprowadzanych przez użytkownika odpowiedzi; dane te nie stanowią o wynikach wnioskowania
7.	Q5	Czy zamierzasz przenosić komputer:?	Umożliwia dobór typu RUiES w kontekście rodzaju komputera osobistego z jakim RUiES ma współpracować
8.	Q6	Czy zamierzasz używać komputera chodząc lub biegając:?	
9.	Q7	Czy zamierzasz używać komputera tylko w domu lub pracy:?	
10.	Q8	Czy umiesz posługiwać się ekranem dotykowym (touchscreen):?	Umożliwia wybór technologii urządzeń sterowniczych
11.	Q9	Preferujesz mniejsze, czy większe urządzenie? Czy masz miejsce gdzie postawić komputer:?	

12.	Q10	Czy powinieneś nosić i nosisz okulary lub szkła kontaktowe:?	Umożliwia uwzględnienie wielkości i kontrastu użytych symboli i kolorów
13.	Q11	Czy w okularach widzisz dobrze i wyraźnie:?	
14.	Q12	Czy masz często zimne dłonie lub palce:?	Umożliwia uwzględnienie temperatury RUiES
15.	Q13	Czy często odczuwasz w kończynach górnych bóle, sztywność, mrowienie lub skurcze:?	Umożliwia uwzględnienie dolegliwości k. górnych w projektowaniu RUiES
16.	Q14	Jakie zazwyczaj odczuwasz dolegliwości kończyn górnych:?	
17.	Q15	Czy używając komputera będziesz (wybór wielokrotny):?	Umożliwia uwzględnienie zadań sterowniczych w doborze typy RUiES
18.	Q16	Wybierz przedział wartości cech antropometrycznych twoich rąk. Cechy antropometryczne zmierz zgodnie z ilustracjami:.	Umożliwia uwzględnienie cech antropometrycznych w projektowaniu RUiES – przełożenie na rozmiar urządzeń
19.	Q17	Wskaż jakiego rozwiązania technicznego oczekujesz:	Umożliwia uwzględnienie preferencji użytkownika; stanowi poziom ergonomiczności do osiągnięcia przez HSE
20.	Q18	Czy podczas użytkowania urządzenia występują niedopasowania tj.:?	Umożliwia ocenę dostosowania wymiarowego RUiES do użytkownika
21.	Q19	Czy podczas użytkowania urządzenia występują wymuszenia pozycji łokcia tj.:?	Umożliwia ocenę położenia łokieć-nadgarstek podczas użytkowania RUiES
22.	Q20	Czy podczas użytkowania urządzenia dłoń była (możliwość zaznaczenia dwóch opcji)?	Umożliwia ocenę położenia dłoni podczas użytkowania RUiES
23.	Q21	Czy podczas użytkowania urządzenia występują wymuszenia pozycji palcy tj.:?	Umożliwia ocenę położenia palcy podczas użytkowania RUiES
24.	Q22	Czy klikając w przyciski urządzenia palce dotykają przycisków:?	Umożliwia ocenę lokalizacji kontaktu palce-RUiES podczas użytkowania urządzenia
25.	Q23	Czy podczas użytkowania występowały rodzaje błędów interakcji układu sterowania:?	Umożliwia wnikliwą ocenę intuicyjnej interakcji podczas użytkowania RUiES
26.	Q24	Czy podczas użytkowania urządzenie:?	Umożliwia ocenę wpływu na zmęczenie użytkownika
27.	Q25	Czy po zapoznaniu się ze sposobem użytkowania urządzenia zapamiętanie zastosowania przycisków i wykonanie testu przyszło ci?	Umożliwia ocenę łatwości nauki użytkowania RUiES
28.	Q26	Czy dotykając urządzenie wrażenie dotyku wskazywało na urządzenie:?	Umożliwia ocenę odczuć dotyku podczas użytkowania urządzenia
29.	Q27	Czy podczas trzymania urządzenie było:?	Umożliwia ocenę odczuć temperatury RUiES podczas jego użytkowania
30.	Q28	Czy liczba przycisków urządzenia jest:?	Umożliwia ocenę Liczba funkcji
31.	Q29	Czy kształt (forma) urządzenia jest:?	Umożliwia ocenę kształtu RUiES
32.	Q30	Czy kolorystyka urządzenia jest:?	Umożliwia ocenę kolorystyki RUiES
33.	Q31	Czy podczas użytkowania urządzenia wystąpiła konieczność sprawdzania wzrokiem bądź problem z:?	Umożliwia ocenę rozróżnialności wizualnej urządzenia i elementów sterowniczych
34.	Q32	Ile wyniosła średnia dokładność odchylenia błędu sterowania (w przypadku sterowania nadążnego):?	Umożliwia ocenę dokładności sterowania (w przypadku sterowania nadążnego)
35.	Q33	Ile wyniosła liczba błędów sterowania (w przypadku wprowadzania danych tekstowych):?	Umożliwia ocenę liczby błędów (w przypadku sterowania nienadążanego)
36.	Q34	Ile wyniósł czas wykonania zadania (w przy-	Umożliwia ocenę prędkość sterowania

		padku sterowania nadążnego) [w minutach]:?	(w przypadku sterowania nadążnego)
37.	Q35	Ile wyniósł czas wykonania zadania (w przypadku wprowadzania danych tekstowych) [w minutach]:?	Umożliwia ocenę prędkość sterowania (w przypadku sterowania nienadążanego)
38.	Q36	Jak oceniasz wpływ urządzenia na poprawę negatywnego odczucia występujących u ciebie dolegliwości kończyn górnych i wzroku:?	Umożliwia ocenę wpływu cechy RUiES na dyskomfort związany z dolegliwościami
39.	Q37	Ile jesteś skłonny/a zapłacić [w zł] za kupno takiego urządzenia sterowniczego:?	Umożliwia ocenę ekonomiczna; dane dot. oceny wydatków finansowych nie stanowią o wynikach wnioskowania

Natomiast ścieżka pytań i odpowiedzi składa się z powiązań (PQ i PA) oraz (Q i A) (tab. 24) (załącznik: folder nr 2.5.; plik 3). Umożliwia, to uporządkowanie i wyznaczenie kierunku wnioskowania HSE w ustalony sposób oraz generowanie właściwego okna dialogowego z pytaniem i zbiorem możliwych odpowiedzi.

Tab. 24. Powiązania pytań i odpowiedzi HSE
Źródło: Opracowanie własne (załącznik: folder nr 2.5.; plik 3)

L.p.	Powiązanie pytanie-odpowiedzi
1.	PQPA1:PQ1:PA1|PA2|PA3|PA4|PA5|PA6|PA7|PA8|PA9|PA10|A209
2.	PQPA2:PQ2:PA11+PA12+PA13+PA14+PA15+PA16+PA17+PA18+PA19+PA20+PA21+PA22+ PA23+PA24+PA25+PA26+PA27+PA28+PA29+PA30+PA31+PA32+PA33+PA34
3.	QA1:Q1:A1|A2
4.	QA2:Q2:A3|A4
5.	QA3:Q3:A3|A4
6.	QA4:Q4:A5|A6|A7|A8|A9
7.	QA5:Q5:A10|A11
8.	QA6:Q6:A12|A13
9.	QA7:Q7:A14|A15
10.	QA8:Q8:A16|A17|A18
11.	QA9:Q9:A19|A20
12.	QA10:Q10:A21|A22
13.	QA11:Q11:A23|A24
14.	QA12:Q12:A25|A26
15.	QA13:Q13:A27|A28
16.	QA14:Q14:A29+A30+A31+A32+A33+A34+A35+A36+A37+A38+A39+A40+A41+A42+A43+A44+ A45
17.	QA15:Q15:A46+A47+A48+A49+A50+A51+A52+A53+A54+A55+A56+A57+A58
18.	QA16:Q16:A59|A60|A61|A62|A63;A64|A65|A66|A67|A68;A69|A70|A71|A72|A73;A74|A75|A76|A77| A78;A79|A80|A81|A82|A83
19.	QA17:Q17:A84|A85|A86|A87|A88
20.	QA18:Q18:A89+A90+A91+A92+A93+A210
21.	QA19:Q19:A94+A95+A96+A211
22.	QA20:Q20:A97|A98|A212; A99|A100|A101
23.	QA21:Q21:A102+A103+A104+A213
24.	QA22:Q22:A105|A106|A107|A108|A109
25.	QA23:Q23:A110+A111+A112+A113+A114+A115+A116+A117+A118+A119+A120+A121+A122+A 123+A124+A125+A126+A127+A128+A129+A130+A131+A132+A133+A134+A135+A136+A137+A 138+A139+A140+A141+A214
26.	QA24:Q24:A142+A143+A144+A145+A146+A215
27.	QA25:Q25:A147|A148|A149|A150|A151
28.	QA26:Q26:A152|A153|A154|A155|A156
29.	QA27:Q27:A157|A158|A159|A160|A161
30.	QA28:Q28:A162|A163|A164
31.	QA29:Q29:A165|A166|A167|A168|A169
32.	QA30:Q30:A170|A171|A172|A173|A174

33.	QA31:Q31:A175+A176+A177+A178+A216
34.	QA32:Q32:A179|A180|A181|A182|A183|A217
35.	QA33:Q33:A184|A185|A186|A187|A188|A218
36.	QA34:Q33:A189|A190|A191|A192|A193|A219
37.	QA35:Q35:A194|A195|A196|A197|A198|A220
38.	QA36:Q34:A199|A200|A201|A202|A203
39.	QA37:Q35:A204|A205|A206|A207|A208

Opracowana ścieżka pytań i odpowiedzi umożliwia pominięcie kilku pytań w zależności od odpowiedzi wskazanych przez użytkownika.

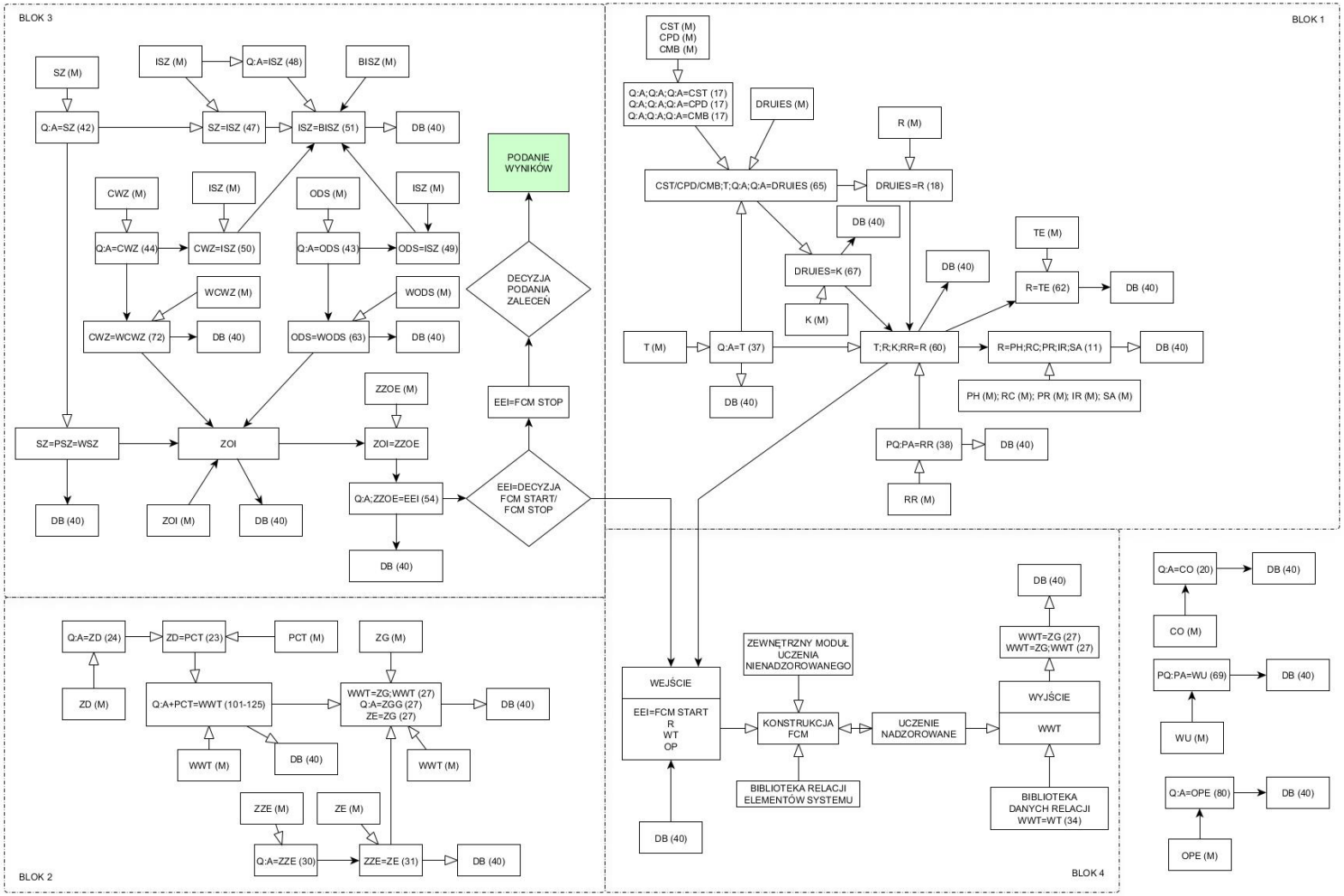
4.5. Aplikacja administratora

4.5.1. Struktura aplikacji

Zadaniem aplikacji administratora jest wnioskowanie na podstawie opcji preferencji użytkownika identyfikowanych za pomocą pytań i odpowiedzi HSE. W zależności od opcji preferencji i wyników oceny ergonomiczności interakcji RUiES-OS wnioskowanie przebiega w trzech lub czterech etapach. Każdemu etapowi odpowiada jeden blok wnioskowania HSE. System składa się z bloków (rys. 17):

1. doboru typu urządzenia lub elementu sterowniczego (blok 1),
2. doboru zaleceń technicznych i ergonomicznych (blok 2) – dobór zawężony uwzględniający jedynie kilka preferencji i wymagań ergonomii, przez co ma charakter dostosowania RUiES do szerszej populacji,
3. oceny interakcji człowiek-urządzenie sterownicze (blok 3),
4. doboru spersonalizowanych zaleceń technicznych (blok 4) – dobór uwzględniający wszystkie przyjęte opcje preferencje.

Wnioskowanie regułowe bloku 1 HSE służy przede wszystkim do wskazania typu RUS/RES wynikającego z opcji preferencji (załącznik: folder nr ..; plik nr ..). W przypadku uruchomienia bloku 4 dobrany typ RUS/RES aktywuje elementy mapy FCM odpowiadające cechom określonego urządzenia (załącznik: folder nr 2.4.2.; plik nr 91). Rezultatem tego jest możliwość uwzględnienia różnych typów i cech RUiES na jednej mapie FCM. Zadaniem bloku 2 jest dobranie charakterystyk cech RUS/RES do wstępnego projektowania urządzenia. W oparciu o rezultaty oceny interakcji OS-RUiES HSE w bloku 3 podejmuje decyzję o uruchomieniu bloku 4. Mapę powiązań modeli i reguł bloków HSE składających się na sposób wnioskowania aplikacji administratora przedstawiono na rysunku 17. Na rysunku 17 w nawiasach przy symbolach reguł podano numery plików z kodem wnioskowania, które znajdują się w załączniku pracy (załącznik: plik nr 2.1.-2.4.). Natomiast symbolem M wyróżniono modele wnioskowania. Dla uzyskania przejrzystości schematu pominięto przedstawienie modeli PQ, Q i PA, A.



Rys. 17. Mapa elementów aplikacji administratora i powiązań bloków wnioskowania HSE
Źródło: Opracowanie własne

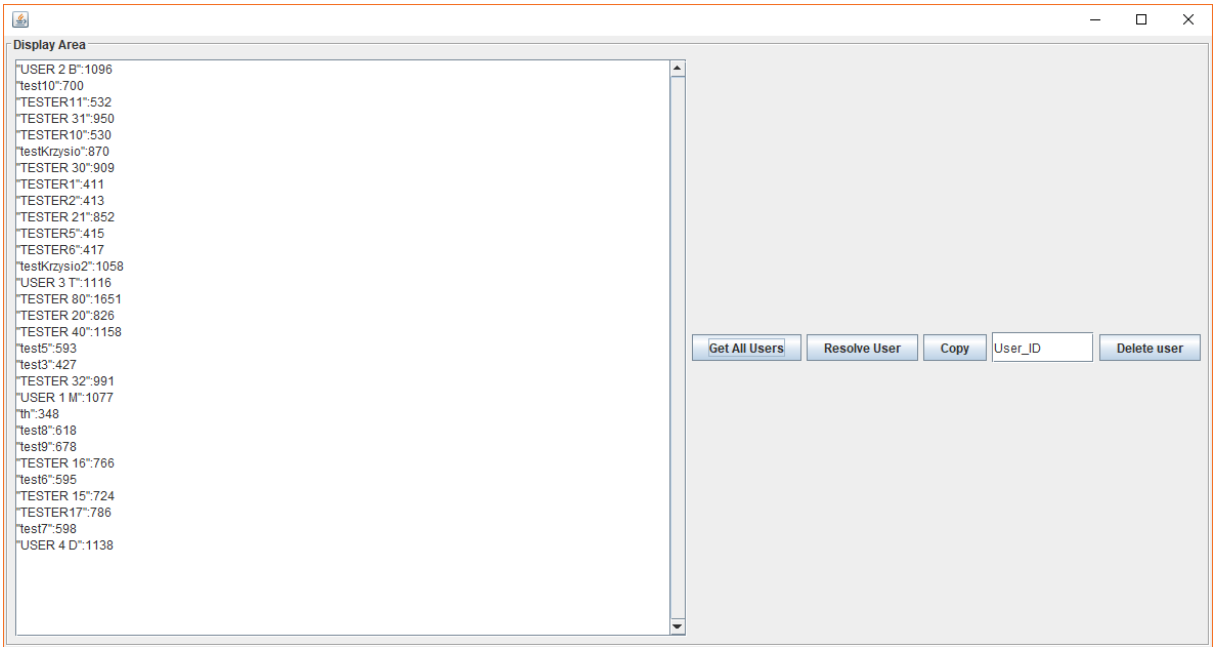
Dodatkowo aplikacja administratora służy do gromadzenia i analizowania wszystkich danych przekazywanych przez aplikację usługową. Zgromadzone dane, w tym zalecenia ergonomiczne i techniczne do doboru i projektowania RUS/RES wymagają interpretacji specjalisty, który przekazuje rezultaty użytkownikowi.

4.5.2. Bazy danych

Hybrydowy system ekspertowy składa się z dwóch baz danych:

1. bazy danych aplikacji usługowej,
2. bazy danych aplikacji administratora.

Baza danych aplikacji usługowej zawiera wszystkie modele elementów systemu tj. pytania i odpowiedzi z jakimi użytkownik ma styczność w postaci interfejsu. Natomiast baza danych aplikacji administratora gromadzi wszystkie modele i reguły niezbędne do wnioskowania klasyfikacyjnego i FCM. Ponadto aplikacja ta umożliwia zbieranie danych od wielu użytkowników (rys. 18). W niniejszym podrozdziale omówiona zostanie baza danych aplikacji administratora.



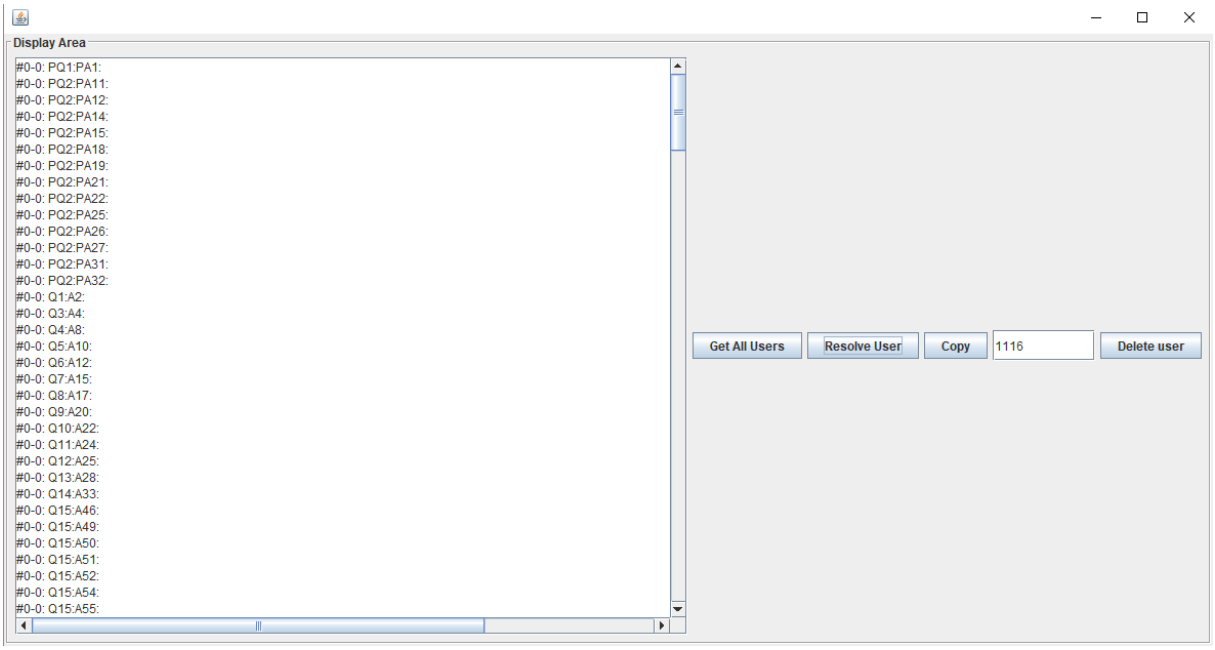
Rys. 18. Okno dialogowe aplikacji administratora; widok nazw i numerów wszystkich użytkowników
Źródło: HSE

Gromadzone od użytkowników dane obejmują elementy reprezentowane przez następujące modele wnioskowania (rys. 19):

1. PQ:PA/Q:A – symbole powiązań wszystkich wskazanych pytań i odpowiedzi,
2. Nr User – nr użytkownika aplikacji automatycznie przypisywany użytkownikowi (element ten nie stanowi modelu wnioskowania),
3. WU – wiek użytkownika w przedziałach wiekowych,
4. CO – rodzaj wprowadzanych odpowiedzi,
5. T – przewidywane przez użytkownika zadania sterownicze,
6. TE – zalecenie dotyczące konieczności wykonania określonego typu testu,
7. K – proponowany typ urządzenia komputerowego zastosowany podczas testów,

8. RR – RUS/RES wynikające z doświadczenia użytkowego,
9. R – typ RUS/RES dobrany przez aplikację,
10. WCWZ – ocena czasu wykonania zadania sterowniczego z określonego testu,
11. WODS – ocena dokładności regulacji z określonego testu,
12. WSZ – liczba zaistniałych podczas określonego testu rodzajów błędów interakcji,
13. ZOI – zagregowana ocena interakcji,
14. EEI – ocena spełnienia pożądanego poziomu ergonomiczności RUS/RES,
15. OPE – pożądany przez użytkownika poziom ergonomiczności dobieranego RUS/RES,
16. BISZ – lista wszystkich przyjętych i zaistniałych czynników opisujących interakcję,
17. ZE – lista zaleceń ergonomicznych,
18. WWT – zbiór charakterystyk cech RUS/RES wygenerowanych w bloku 2 i 4,
19. ZG – typ zalecenia technicznego wygenerowanego w bloku 2 i 4.

Zapis wymienionych elementów zachodzi po zakończeniu określonego etapu użytkowania HSE. Przy czym modele wnioskowania zapisywane są przez system określający etap ich wystąpienia, gdzie identyfikowane są na zasadzie odpytywania: *TRUE/FALSE*. Uzyskane dane zapisywane są w postaci wierszy z nr etapu wnioskowania i symbolem wnioskowania (rys. 19). Dla zaleceń do doboru i projektowania RUiES symbol wnioskowania jest rozszerzony do opisu jego znaczenia.



Rys. 19. Okno dialogowe aplikacji administratora; podgląd odpowiedzi i wyników dla określonego użytkownika
Źródło: HSE

Baza danych stanowi zbiór elementów niezbędnych użytkownikowi w następujących działaniach:

1. zalogowanie się do aplikacji przy czym HSE nie zapisuje informacji o loginie użytkownika,
2. doboru urządzenia o określonym zbiorze charakterystyk cech RUiES,
3. nauki sposobu aktywizacji i aktywacji RUS/RES sprzyjającej intuicyjnej interakcji,
4. podjęcia wykonania właściwego testu oceny interakcji osoba starsza-RUS/RES,

5. podjęcia decyzji o zakończeniu pracy z systemem.

Ponadto dane zawarte w bazie danych umożliwiają walidację i poprawę działania systemu w przyszłości.

W dalszej części rozdziału przedstawiono i omówiono funkcje, budowę i zasady działania poszczególnych bloków wnioskowania HSE.

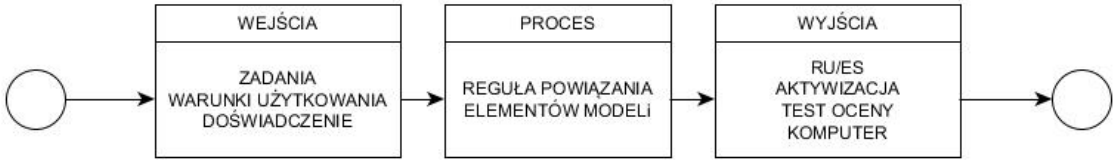
4.6. Algorytmy regułowe wnioskowania klasyfikacyjnego i FCM

4.6.1. Modele i reguły algorytmu bloku 1

Funkcja bloku 1 polega na doborze:

1. typu urządzenia lub elementu sterowniczego,
2. zaleceń dotyczących sposobu aktywizacji,
3. typu komputera służącego do wykonania testu,
4. typu testu oceny interakcji odpowiadającego charakterystyce zadań sterowniczych przypisanych do typu RUS/RES (rys. 20).

Zastosowanie analizy kontekstu użytkowego i metody analizy systemowej umożliwiło identyfikację elementów wejściowych i wyjściowych systemu i określenie tych z nich występujących w bloku 1 HSE. Elementy systemu wyszczególniono w oparciu o procesowe ujęcie algorytmu bloku 1, który przedstawiono na rysunku 14.



Rys. 20. Procesowe ujęcie algorytmu bloku 1 HSE
Źródło: Opracowanie własne

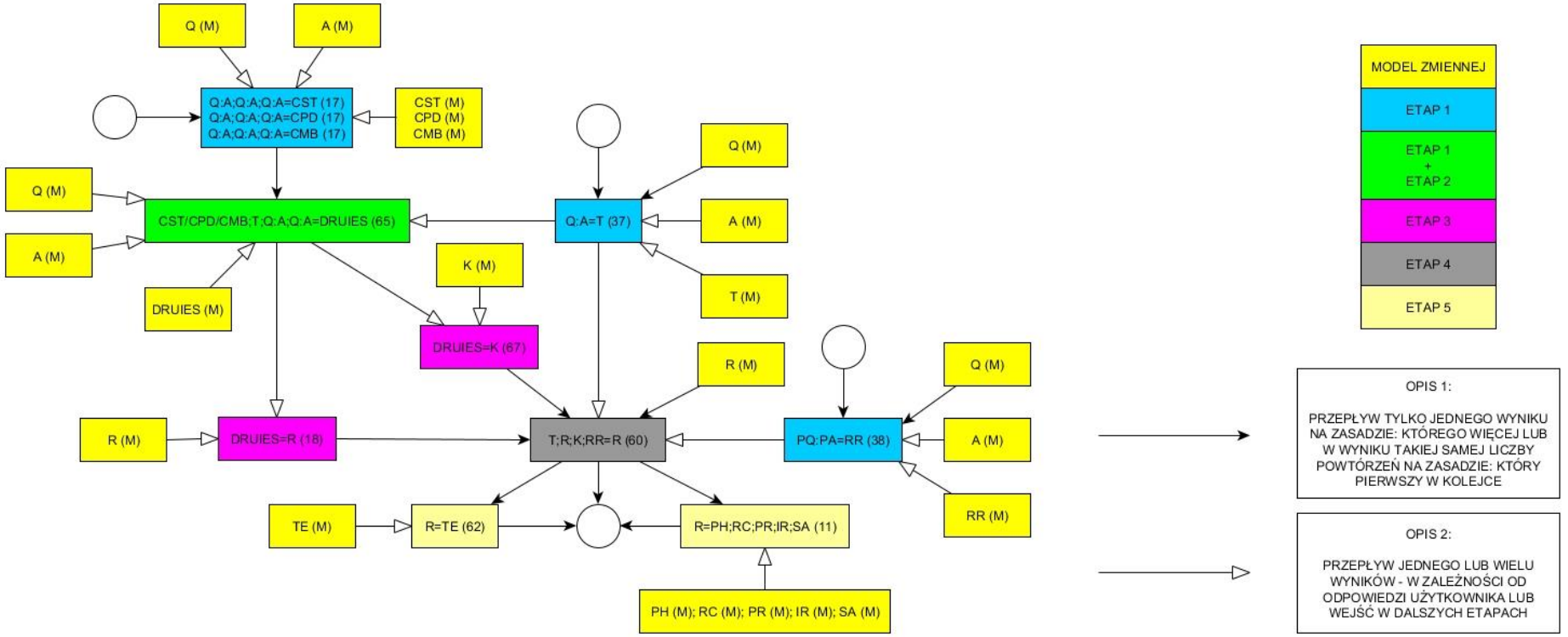
Przy czym w bloku 1 HSE wyróżniono następujące modele:

1. pytań: PQ/Q1, …, PQ/Q7,
2. odpowiedzi: PA/A1, …, PA/A47,
3. zadań: T1 …, T13,
4. rodzajów komputerów: CST1, …, CST4; CPD1, …, CPD4; CMB1, …, CMB7,
5. typów komputerów: K1, …, K15,
6. testów oceny interakcji: TE1, …, TE3,
7. typów RUS/RES: R1, …, R23,
8. typów RUS/RES wynikających z doświadczenia użytkowego: RR1, …, RR23,
9. część ręki aktywująca RUS/RES: PH1, …, PH19,
10. rodzaj chwytu: RC1, …, RC4,
11. pozycja ręki względem płaszczyzny roboczej: PR1, …, PR5,
12. jedno- lub dwuręczność: IR1, …, IR5,
13. rodzaj aktywacji: SA1, …, SA8.
14. sekwencji relacji elementów modelu wstępnego doboru: DRUIES1, …, DRUIES261.

W oparciu o wymienione rodzaje modeli zaprojektowano wnioskowanie regułowe składające się z 5 etapów działania algorytmu bloku 1 (rys. 21).

Etap 1 algorytmu bloku 1 rozpoczyna się od określenia trzech bezpośrednich zmiennych wejściowych dla etapu 2 i 4. Pierwszą ze zmiennych jest rodzaj urządzenia komputerowego (CST/CPD/CMB). Przy czym system określa tę zmienną na podstawie sekwencji trzech pytań (Q5, Q6 i Q7) (tab. 23) oraz przypisanych im odpowiedzi (tab. 24). Algorytm identyfikuje rodzaj komputerów tj. komputery stacjonarne (CST), komputery przenośne (CPD) lub komputery mobilne (CMB) dostosowanych konstrukcyjnie i funkcjonalnie do użytkowania w określonych warunkach otoczenia i przewidywanych do realizacji zadań. Reguły wnioskowania typu RUS/RES oparto o wnioski z literaturowej analizy ocen ergonomiczności RUiES (tab. 15). Reguły doboru typu RUiES opisano w załączniku (załącznik: folder nr 2.1.2.; plik 17 i folder 2.6.; plik nr 2.6.1. i 2.6.2.) (rys. 21.). Druga zmienna będąca rezultatem pierwszego etapu wnioskowania to rodzaj zadań sterowniczych (T) jakie użytkownik chce wykonywać za pomocą dobieranego RUS/RES (załącznik: folder nr 2.1.2.; plik 37). Identyfikacja RUiES wynikających z doświadczenia użytkowego odbywa się zgodnie z załącznikiem - folder 2.1.2.; plik 38. Działanie to inicjuje odpowiedź na pytanie wielokrotnego wyboru (Q15). Rodzaje zadań sterowniczych opracowano w taki sposób by były łatwo zrozumiałe dla użytkownika, nie było ich zbyt wiele i by odpowiadały klasyfikacjom literaturowym. Ostatnią szukaną zmienną etapu 1 jest zbiór RUS/RES wynikający z doświadczenia użytkowego. Zmienna ta określana jest na podstawie pytania (PQ2) i przypisanych opcji wyboru. Następnie w etapie 2 wnioskowania do rodzaju komputera za pomocą pytań (Q8, Q9) i przypisanych odpowiedzi określane oraz dodawane są preferencje dotyczące rozmiaru i technologii RUS/RES (załącznik: plik nr 2.6.1. i folder 2.1.2.; plik 65). Uzyskane w konsekwencji długie ciągi wierszy reguł wnioskowania zastąpiono w etapie 2 i 3 sekwencjami doboru (DRUIES).

W etapie 3 na podstawie sekwencji DRUIES identyfikacji podlega typ komputera (K) (załącznik: folder 2.1.2.; plik 67) oraz typu RUS/RES (R) (załącznik: folder 2.1.2.; plik 18). Identyfikacja ta zachodzi na przyjętych klasyfikacjach, które przedstawiono w załączniku - plik nr 2.6.1. W przedostatnim 4 etapie bloku 1 na podstawie klasyfikacji przedstawionej w załączniku - plik nr 2.6.2. uzyskiwany jest wynik w postaci jednego typu RUS/RES (załącznik: folder 2.1.2.; plik 60). Wynik ten jest o tyle charakterystyczny, że w poprzednich etapach wnioskowania dopuszcza się wystąpienie wielu wyników. W tym celu zastosowano klasyfikator ilościowy modeli będących wejściami i wyjściami wnioskowania etapu 4 przyjmując, że wejścia i wyjścia stanowią modele o najliczniejszym powtórzeniu określonego etapu wnioskowania (rys. 21). W ostatnim etapie na podstawie określonego typu RUS/RES i reguł wnioskowania dobrane są zalecenia dotyczące testu oceny ergonomiczności (TE) (załącznik: folder 2.1.2.; plik 62) i zalecanego sposobu aktywizacji opisanego symbolami PH, RC, PR, IR i SA (załącznik: folder 2.1.2.; plik 11).



Rys. 21. Schemat blokowy powiązań modeli i reguł bloku 1 HSE
Źródło: Opracowanie własne

Każdy etap i reguła wnioskowania bloku 1 spełnia przypisaną funkcję, co przedstawiono w tabeli 25.

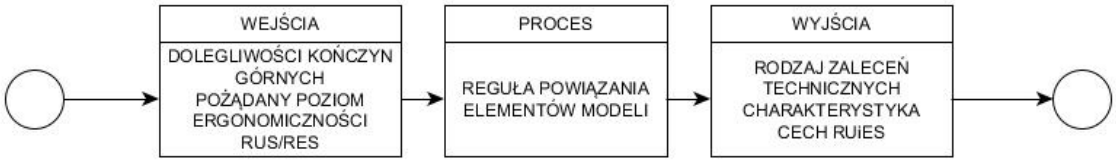
Tab. 25. Funkcje reguł modelu bloku 1 HSE
Źródło: Opracowanie własne

L.p.	Reguła	Funkcja/ cel reguły
1.	Q:A;Q:A;Q:A=CST Q:A;Q:A;Q:A=CPD Q:A;Q:A;Q:A=CMB	Identyfikacja rodzaju komputera o wysokiej użyteczności i ergonomiczności w danym środowisku
2.	Q:A=T	Identyfikacja potrzeb użytkownika w zakresie realizowanych zadań sterowniczych przy zastosowaniu komputera i RUiES
3.	Q:A	Identyfikacja potrzeby doboru rozmiaru RUiES
4.	Q:A	Identyfikacja potrzeby doboru technologii RUiES
5.	CST:T:Q:A;Q:A=DRUIES CPD:T:Q:A;Q:A=DRUIES CMB:T:Q:A;Q:A=DRUIES	Agregacja wstępnych zaleceń w sekwencje doboru
6.	DRUIES=K	Identyfikacja typów komputerów na podstawie zbiorów sekwencji doboru
7.	DRUIES=R	Identyfikacja typów Ru/ES na podstawie zbiorów sekwencji doboru
8.	PQ:PA=RR	Identyfikacja RUiES, co do których osoba starsza ma doświadczenie użytkowe
9.	T;R;K;RR=R	Końcowa identyfikacja typu RU/ES na podstawie zidentyfikowanego zadania sterowniczego, typu RU/ES i typu komputera
10.	R=TE	Identyfikacja rodzaju testu oceny interakcji człowiek-RU/ES na podstawie dobranego urządzenia sterowniczego
11.	R=PH;RC;PH;IR;SA	Identyfikacja właściwego sposobu aktywizacji w celu ułatwienia użytkowników nauki użytkowania RUS/RES

Należy zaznaczyć, że na postawie określonego na drodze wnioskowania klasyfikacyjnego typu RUS/RES określane są zmienne wejściowe do wnioskowania FCM w bloku 4 HSE.

4.6.2. Modele i reguły algorytmu bloku 2

Dla uwzględnienia doboru zaleceń technicznych i ergonomicznych RUS/RES stworzono blok 2 HSE. Procesowe podejście do bloku 2 umożliwiło identyfikację elementów wejściowych i wyjściowych systemu i określenie tych z nich występujących w bloku 2 (rys. 22).



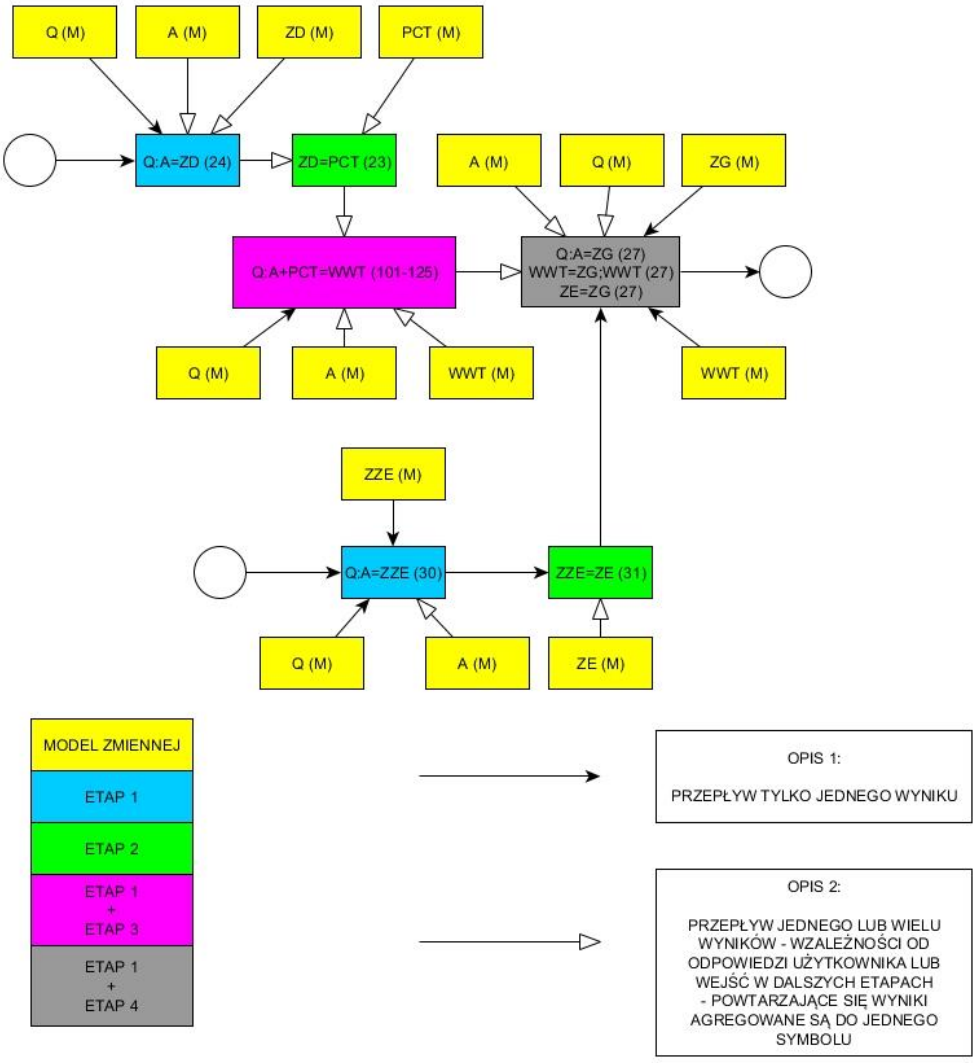
Rys. 22. Procesowe ujęcie algorytmu bloku 2 HSE
Źródło: Opracowanie własne

Blok 2 składa się z następujących modeli wnioskowania:

1. pytań: Q1, …, Q7,
2. odpowiedzi: A1, …, A47,
3. rodzaj dolegliwości kończyn górnych: ZD1 …, ZD19,
4. rozwiązania techniczne ograniczające odczucia dolegliwości: PCT1, …, PCT15,
5. pożądany poziom ergonomiczności RUS/RES: ZZE1, …, ZZE5,
6. rodzaj zaleceń ergonomicznych: ZE1, …, ZE14,
7. przedział charakterystyki cech RUS/RES: WWT1, …, WWT280,

8. rodzaj zalecenia technicznego: ZG1, …, ZG60.

Modele te posłużyły do budowy 4 etapów wnioskowania bloku 2 (rys. 23). W etapie 1 system identyfikacje dolegliwości zdrowotne kończyn górnych i narządu wzroku użytkownika (ZD) (załącznik: folder nr 2.2.2.; plik 24) oraz pożądany poziom ergonomiczności RUS/RES (ZZE) (załącznik: folder nr 2.2.2.; plik 30). W etapie 2 na podstawie wyników ZD i ZZE kolejno identyfikowalne są rozwiązania techniczne (PCT) (załącznik: folder nr 2.2.2.; plik 23) ograniczające oddziaływanie odczuwanych dolegliwości oraz zbiór zaleceń ergonomicznych (ZE) (załącznik: folder nr 2.2.2.; plik 31). Reguły wnioskowania w etapie 2 opisano na podstawie dobrych praktyk w zakresie projektowania ergonomicznego RUiES oraz na podstawie rezultatów badań w zakresie relacji zmiennych dotyczących dolegliwości kończyn górnych i ogólnej charakterystyki cech RUiES (podrozdział 5.3.4.). Wejściem do etapu 3 jest wynik PCT i wynik określający parametry cech antropometrycznych użytkownika, gdzie na podstawie pytania (Q16) i odpowiedzi (A59-A83) użytkownik określa długość ręki, długość dłoni, szerokość dłoni, długość palca wskazującego i szerokość palca wskazującego. Rezultatem etapu 3 jest zbiór charakterystyk cech RUiES (WWT) (załącznik: folder nr 2.2.2.; plik 101-125).



Rys. 23. Schemat blokowy powiązań modeli i reguł bloku 2 HSE
Źródło: Opracowanie własne

W etapie 4 na podstawie wyników WWT, dodatkowych pytań (Q1, Q2 i Q3) i odpowiedzi oraz wcześniej określonych ZE system generuje wynik w postaci tekstowej obejmującej zakres i przedział lub opis zaleceń (załącznik: folder nr 2.2.2.; plik 27). Uzyskane rezultaty wymagają jednak interpretacji eksperta zgodnie z regułami R=WT i WT=WWT (załącznik: folder nr 2.2.2.; plik 34 i 91).

Również regułom wnioskowania bloku 2 przypisano funkcje, co przedstawiono w tabeli 26.

Tab. 26. Funkcje reguł modelu bloku 2 HSE
Źródło: Opracowanie własne

L.p.	Reguła	Funkcja
1.	Q:A=ZD	Identyfikacja dolegliwości kończyn górnych i ogólnej sprawności narządu wzroku
2.	ZD=PCT	Identyfikacja rozwiązań technicznych ograniczających wpływ dolegliwości zdrowotnych na odczucia z tym związane i na ergonomię interakcji osoba starsza – RUS/RES
3.	Q:A=ZZE	Identyfikacja poziomu ergonomiczności dobieranego RUS/RES oczekiwanego przez użytkownika
4.	ZZE=ZE	Identyfikacja zbioru zasad ergonomii koniecznego do osiągnięcia przez RUS/RES określonego poziomu ergonomiczności
5.	Q:A;PCT=WWT	Identyfikacja charakterystyk cech RUS/RES wynikających z zidentyfikowanych dolegliwości i parametrów cech antropometrycznych
6.	Q;A=ZG WWT=ZG;WWT ZE=ZG	Identyfikacja zaleceń ergonomicznych i technicznych oraz ich konwersja na opis tekstowy

Zebrane z bloku 1 i 2 zalecenia stanowią podstawę dla użytkownika do doboru i projektowania RUS/RES.

4.6.3. Narzędzia oceny interakcji; modele i reguły algorytmu bloku 3

W bloku 3 HSE zastosowano wielokryterialną ocenę ergonomiczności interakcji OS-RUiES. Dla opracowania wielokryterialnej oceny ergonomiczności sprecyzowano założenia projektowe, zgodnie z którymi ocena powinna:

1. uwzględniać przedstawione w części teoretycznej pracy oceniane cechy, miary i skalę oceny,
2. opierać się o dane dotyczące oceny interakcji i efektywności pracy uzyskiwane z testów z udziałem użytkownika,
3. umożliwiać ocenę różnych typów urządzeń sterowniczych występujących w komunikacji człowiek-komputer,
4. umożliwiać wyciąganie wniosków dotyczących wpływu zmian charakterystyk cech RUiES na uzyskiwany poziom ergonomiczności interakcji,
5. być możliwa do zastosowania w HSE,
6. uwzględniać specyfikę osób starszych poprzez zrozumiałe zasady, strukturę, treść, odpowiednie testy i rezultaty oraz niską czasochłonność.

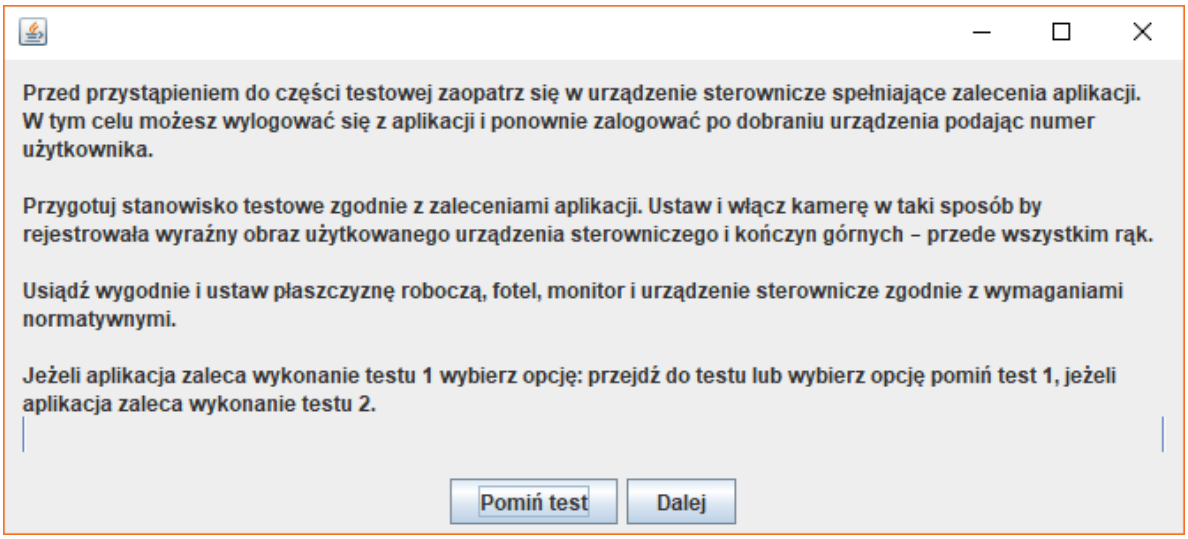
Przeprowadzenie oceny interakcji OS-RUiES przez blok 3 poprzedza dobór RUS/RES i wykonanie testu interakcji (załącznik: folder nr 1.1.). Użytkownik na podstawie wskazań bloku 1 HSE może wykonać Test 1, Test 2 lub Test 1 i 2. W sytuacji konieczności wykonania obu testów zaleca się osobne ich wykonanie i uwzględnienie poszczególnych wyników. Przy-

jęte w ocenie ergonomiczności interakcji narzędzia, to testy sterowania nadążnego i nienadążnego (tab. 27).

Tab. 27. Podział rodzajów zadań i testów w HSE
Źródło: Opracowanie własne

L.p.	Zadanie	Rodzaj zadania	Test (TE)
1.	Czytać	Nadążne	Test 1
2.	Dzwonić	Nienadążne	Test 2
3.	Zarządzanie aktywnością sportową	Nadążne	Test 1
4.	Wykonywać zdjęcia	Nadążne	Test 1
5.	Korzystać z Internetu	Nadążne/ Nienadążne	Test 1/ Test 2
6.	Korzystać ze specjalistycznego oprogramowania	Nadążne/ Nienadążne	Test 1/ Test 2
7.	Korzystać z elektronicznych map	Nienadążne	Test 2
8.	Korzystanie z komunikatorów internetowych	Nadążne	Test 1
9.	Przeglądać zdjęcia	Nadążne	Test 1
10.	Słuchać muzyki	Nadążne	Test 1
11.	Oglądać filmy	Nadążne	Test 1
12.	Grać w gry	Nadążne	Test 1
13.	Pisać	Nienadążne	Test 2

Przed przystąpieniem do Testu 1 lub 2 wyświetlane jest okno dialogowe przedstawiające ogólne zalecenia do wykonania testów (rys. 24.). W sytuacji, gdy użytkownik ma za zadanie wykonać tylko Test 2 możliwe jest poprzez wybranie opcji wyboru *Pomiń test* przejście do okna dialogowego wprowadzającego do Testu 2 (rys. 28.).



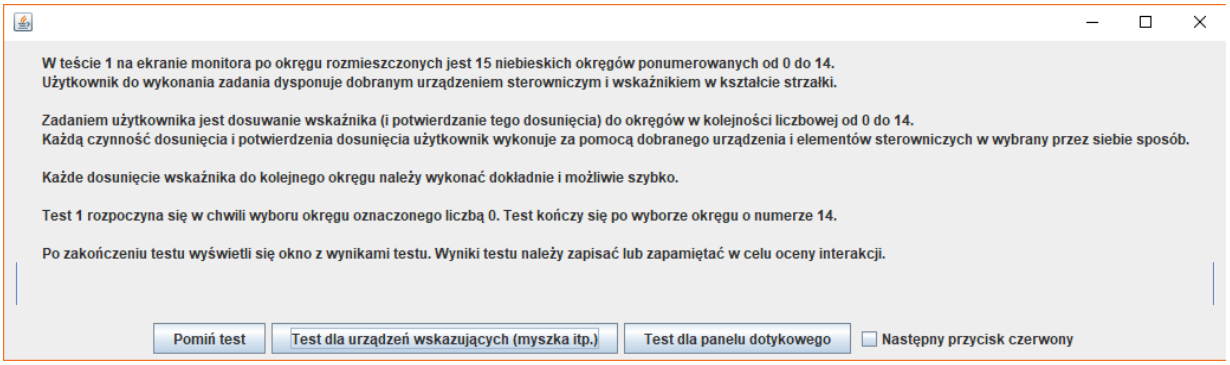
Rys. 24. Okno dialogowe wprowadzające do etapu testowania
Źródło: HSE

Po zapoznaniu się użytkownika z treścią polecenia Testu 1 (rys. 25) użytkownik może przejść do interfejsu Testu 1 w dwóch trybach tj. (rys. 25):

1. dla klasycznych urządzeń sterowniczych,
2. dla gestykularnych urządzeń sterowniczych.

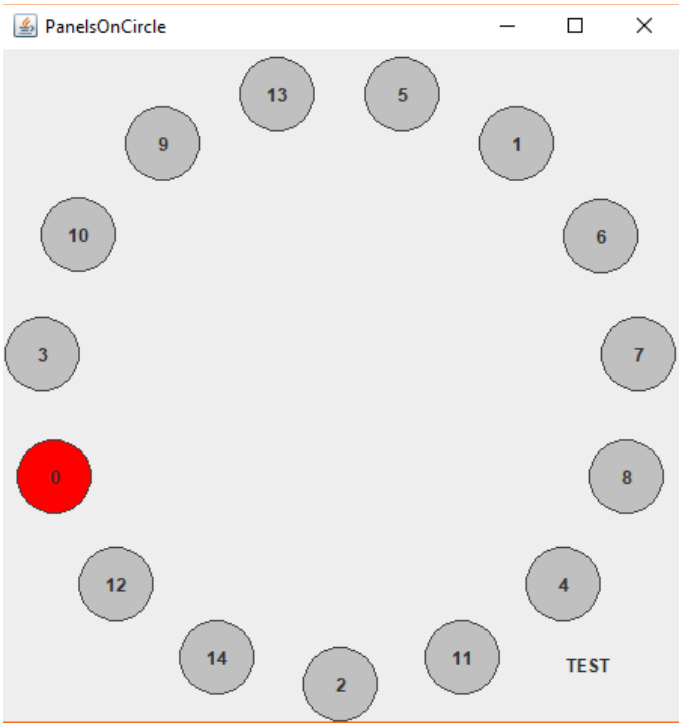
Użytkownik może wykonać powyższe tryby przy generowaniu podpowiedzi następnego pola do wskazania lub bez podpowiedzi poprzez zaznaczenie lub odznaczenie opcji wyboru

Następny przycisk czerwony. Natomiast gdy użytkownik chce pominąć Test 1 i przejść do okna dialogowego Testu 2 musi wybrać opcję *Pomiń test* (rys. 25).



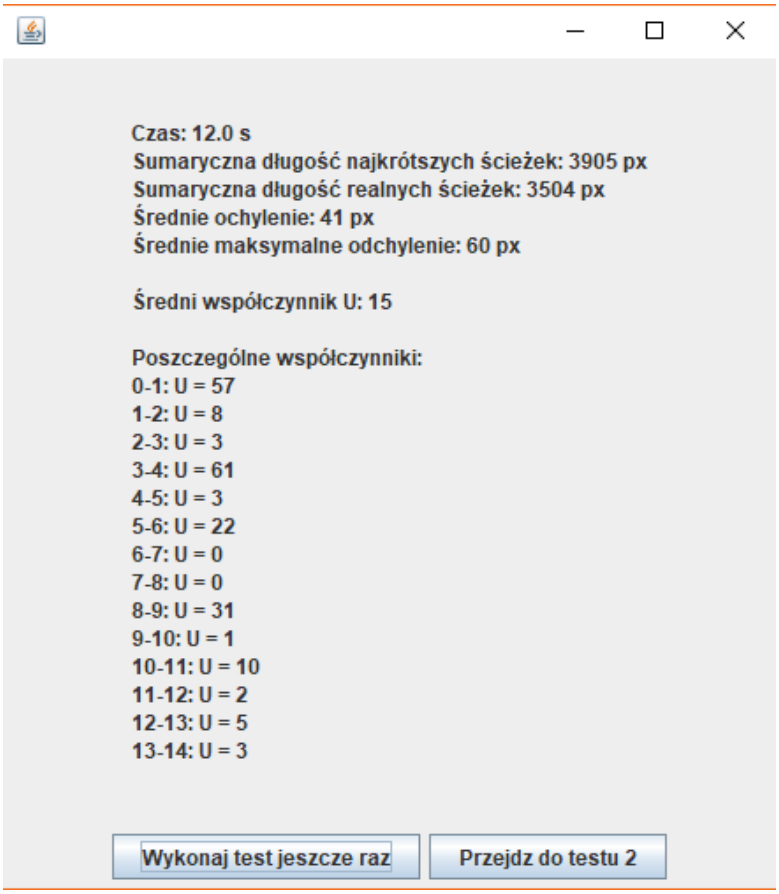
Rys. 25. Okno dialogowe wprowadzające do Testu 1
Źródło: HSE

Test 1 częściowo wzorowany jest na Wielokierunkowym Teście Wskazywania Doniewicza (Donigiewicz 2017) i teście Simon Wallner (Simonwallner.at). Pomimo istniejących narzędzi zdecydowano się na opracowanie rozwiązania uwzględniającego uchyb regulacji wyrażony całką o charakterystyce czasowej zamiast testu opartego o logarytm prawa Fitts'a (Simonwallner.at; Thumser i in. 2018) oraz integrację doboru i oceny w jednym systemie ekspertowym. Test 1 to narzędzie do oceny czynności wskazywania w sterowaniu nadążnym. Przy czym test ten polega na klikaniu w ponumerowane od 0 do 14 okrągłe pola, których dodatkowo kolejność może być podpowiadana poprzez podświetlenie w kolorze czerwonym (rys. 26). Po kliknięciu w odpowiednie pole jego kolor zmienia się z czerwonego na twz. kolor lazurowy. Pola te mają stałą średnicę wynoszącą 10 mm, a ich osie symetrii wpisane są w okrąg o średnicy 85 mm bez względu na rozdzielczość ekranu monitora.



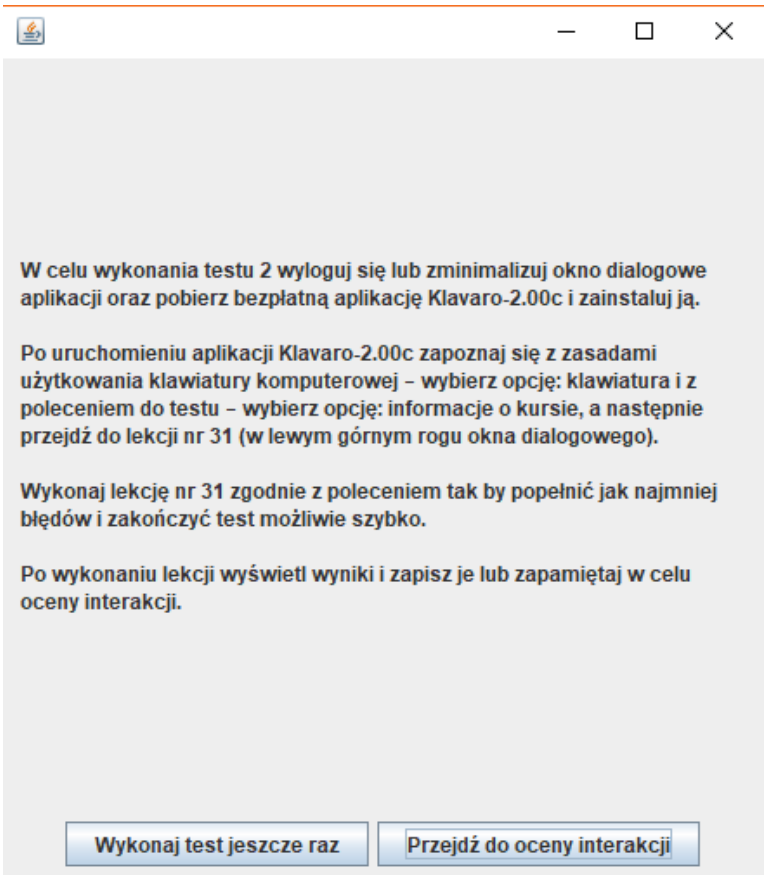
Rys. 26. Interfejs Testu 1 HSE
Źródło: HSE

Po wskazaniu ostatniego pola Testu 1 system wyświetla okno dialogowe wyników (rys. 27).



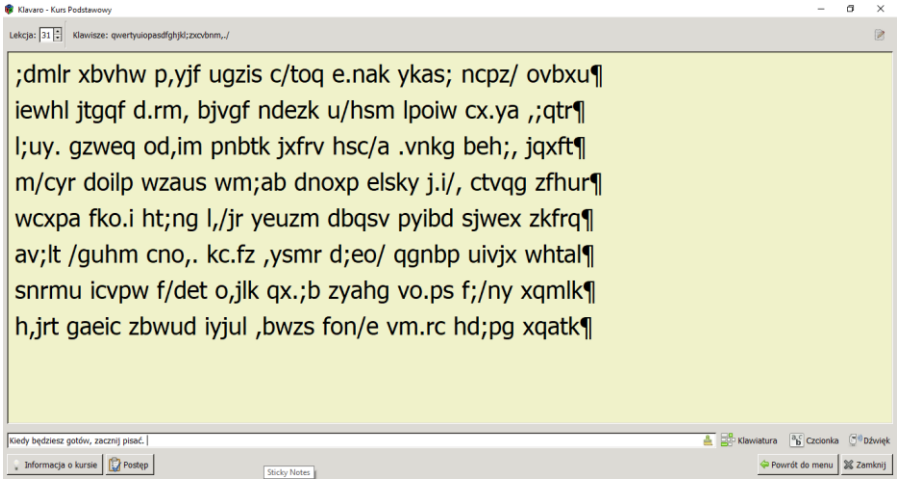
Rys. 27. Okno dialogowe wyników Testu 1
Źródło: HSE

W Teście 1 automatycznej ocenie podlegają mierniki jakości regulacji i czasu wykonania zadania (rys. 27). Przy czym jakość regulacji wyliczana jest na podstawie wzoru 4 z tab. 7 w podrozdziale 1.2.3. dla każdego przejścia pomiędzy polami, jak i dla średniego uchybu z wszystkich przejść. Pomocniczą jednostką jakości regulacji jest wynik w pikselach *px*. Natomiast czas wykonania zadania mierzony jest w sekundach. Zadaniem użytkownika jest zapamiętanie lub zapisanie średniego współczynnika uchybu i czasu wykonania zadania. Miernikiem nie podlegającym automatycznej ocenie jest liczba zawodności interakcji, która wymaga niezależnej oceny użytkownika i/lub eksperta.



Rys. 28. Okno dialogowe wprowadzające do Testu 2
Źródło: HSE

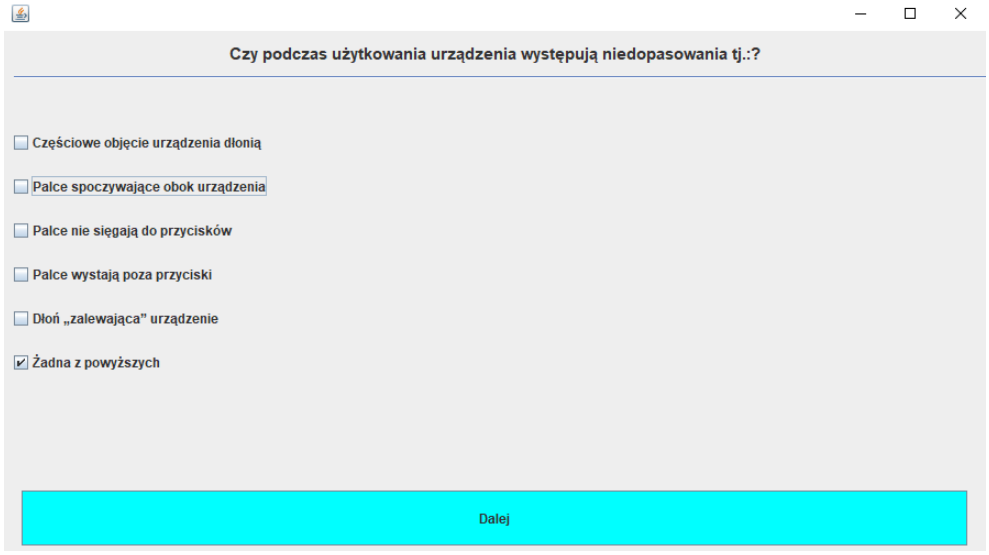
Test 2 to test oceny wprowadzania danych tekstowych poprzez sterowanie nienadążne. Test ten opiera się o aplikację Klaviro-2.00c i test nr 31 (Klavaro.pl). Klaviro-2.00c to darmowa aplikacja służąca do nauki szybkiego pisania na klawiaturze komputerowej. Natomiast test nr 31 aplikacji składa się z konieczności wprowadzania różnych liter i znaków przypisanych palcom obu kończyn górnych (rys. 29). Test nr 31 umożliwia ocenę interakcji z większością urządzeń, ponieważ urządzenia do wprowadzania tekstu są zazwyczaj dostosowane do pracy angażującej obie kończyny górne.



Rys. 29. Interfejs Testu 2. Aplikacja Klaviro-2.00c; test nr 31
Źródło: (Klavaro.pl)

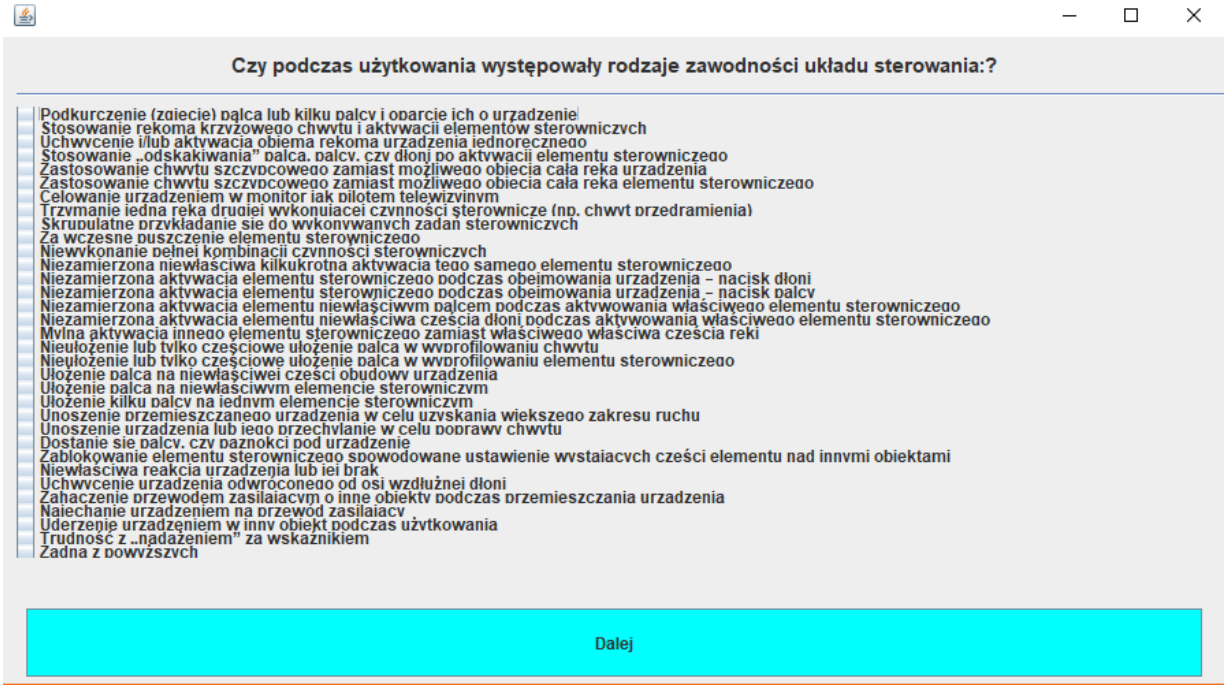
Użytkownik w Teście 2 ma za zadanie w podanej na ekranie kolejności wprowadzić właściwe symbole. Natomiast w miejscu oddzielającym ciąg symboli użytkownik w prawidłowy sposób stawia *spację*, a koniec każdego z wierszy zatwierdza *enterem*. Klaviro-2.00c po zakończeniu testu podaje procentowy współczynnik błędu i czas wykonania zadania. Użytkownik musi zapisać lub zapamiętać wszystkie rezultaty Testu 2 i podać je w ocenie interakcji.

Ocena interakcji opiera się o pytania, odpowiedzi i zakres oceny ergonomiczności interakcji OS-RUiES przedstawiony w tabeli 8 w podrozdziale 1.3.



Rys. 30. Przykładowe okno dialogowe etapu oceny interakcji – widok GUI
Źródło: HSE

W zależności od pytania i jego zakresu użytkownik może wybrać jedną lub wiele odpowiedzi (rys. 30 i 31).



Rys. 31. Okno dialogowe etapu oceny interakcji – widok GUI; podlista oceny intuicyjności interakcji
Źródło: HSE

Na podstawie podstaw teoretycznych dotyczących oceny ergonomiczności interakcji OS-RUiES i danych z tabeli 9, 10 i 11 z podrozdziału 1.4.2. wyszczególniono również niezbędne elementy wejściowe i wyjściowe bloku 3 (rys. 32).



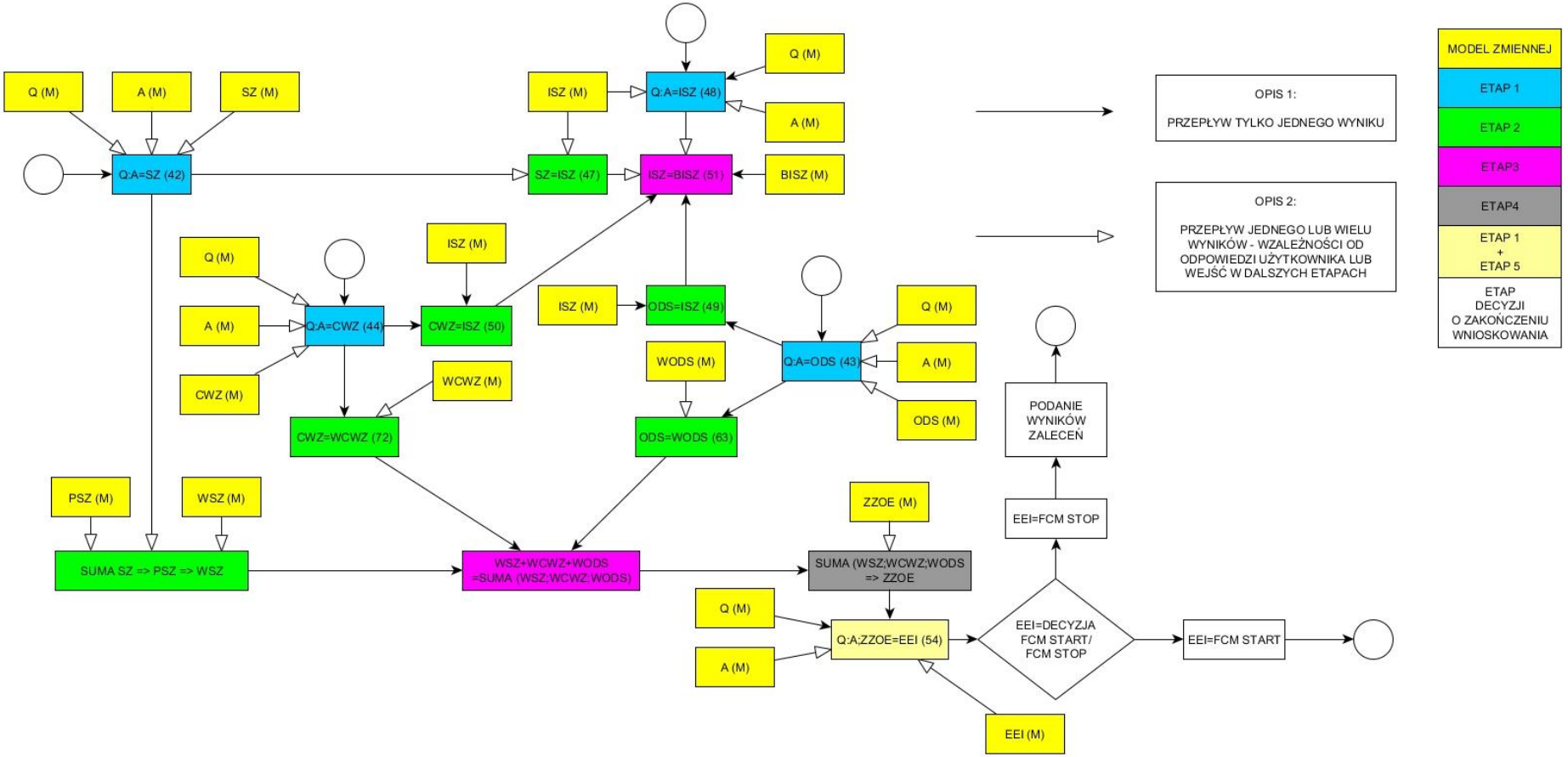
Rys. 32. Procesowe ujęcie algorytmu bloku 3 HSE
Źródło: Opracowanie własne

W budowie reguł wnioskowania bloku 3 zastosowano następujące modele:

1. pytań: Q1, …, Q7,
2. odpowiedzi: A1, …, A47,
3. rodzaje błędów interakcji OS-RUiES: SZ1 …, SZ69,
4. wszystkie czynniki i mierniki opisujące interakcję OS-RUiES: ISZ1, …, ISZ115,
5. liczba rodzajów błędów w interakcji: WSZ1, …, WSZ69,
6. ocena dokładności regulacji: ODS1, …, ODS10,
7. czas wykonania zadania sterowniczego: CWZ1, …, CWZ10,
8. wynik jakości regulacji: WODS1, …, WODS10,
9. wynik czasu wykonania zadania sterowniczego: WCWZ1, …, WCWZ10,
10. przedział liczby rodzajów błędów w interakcji: PSZ1, …, PSZ5,
11. ocena liczby rodzajów błędów w interakcji: WSZ1, …, WSZ5,
12. zagregowana ocena interakcji: ZOI,
13. Przedziały oceny interakcji: ZZOE1, …, ZZOE5,
14. ocena spełnienia pożądanego poziomu ergonomiczności: EEI1, …, EEI25.

Wnioskowanie regałowe bloku 3 składa się z 5 etapów algorytmu bloku 3 (rys. 33).

W etapie 1 algorytm bloku 3 (rys. 33) identyfikuje rodzaje błędów interakcji (SZ), jakość regulacji (ODS) i czas wykonania zadania (CWZ) (załącznik: folder nr 2.3.2.; plik 42, 43 i 44). Zebrane informacje o procesie pełnią dwie funkcje. Pierwsza z nich polega na zbieraniu szczegółowych informacji o charakterystyce interakcji. Zbieranie informacji w tym zakresie odbywa się poprzez przekonwertowanie zidentyfikowanych SZ, ODS i CWZ na ISZ, a następnie zebranie informacji w jedną bazę danych za pomocą reguły ISZ=BISZ (załącznik: folder nr 2.3.2.; plik 47-51) (rys. 33). Druga funkcja polega na ocenie ergonomiczności zaistniałej podczas testowania interakcji OS-RUiES. Dla oceny ergonomiczności obliczana jest liczba SZ (WSZ) oraz obliczane są wyniki jakości regulacji (WODS) i czasu wykonania zadania (WCWZ). Obliczanie WSZ polega na zliczeniu w pamięci aplikacji występujących i zapisanych SZ, przypisaniu ich do określonego przedziału PSZ i na podstawie porządkowych wag dla przedziałów nadanie wyniku WSZ.



Rys. 33. Schemat blokowy powiązań modeli i reguł bloku 3 HSE
Źródło: Opracowanie własne

Dla celów agregacji różnych wskaźników SZ, ODS i CWZ zastosowano porządkowy sposób oceny i agregacji przedstawiony w podrozdziale 1.4.2. W rezultacie system wylicza WSZ, WODS i WCWZ. Następnie na podstawie sumy WSZ, WODS i WCWZ formułowana jest zagregowana ocena interakcji (ZOI). Uzyskana ZOI stanowi wejście do reguły identyfikacji przedziału oceny interakcji (ZZOE) (tab. 28). Identyfikacja ZZOE zachodzi poprzez przypisanie wyniku ZOI do określonego przedziału ZZOE.

Tab. 28. Skala przedziałów wartości oceny interakcji ZZOE
Źródło: Opracowanie własne

l.p.	Skala słowna	Skala liczbowa ZZOE	Przedział ZZOE	Powiązanie Q:A
1.	Ergonomiczność bardzo niska	4.20-5.0	ZZOE1	Q17:A84
2.	Ergonomiczność niska	3.4-4.19	ZZOE2	Q17:A85
3.	Ergonomiczność średnia	2.6-3.39	ZZOE3	Q17:A86
4.	Ergonomiczność wysoka	1.80-2.59	ZZOE4	Q17:A87
5.	Ergonomiczność bardzo wysoka	1-1.79	ZZOE5	Q17:A88

Następnym działaniem algorytmu bloku 3 jest określenie, czy oceniane RUiES w interakcji z użytkownikiem spełnia zakładany poziom ergonomiczności. Ocena ta przebiega z uwzględnienie odpowiedzi A84-A88 na pytanie Q17 i uzyskanym przedziałem ZZOE. W efekcie system podejmuje decyzję, czy interakcja OS-RUiES spełnia zakładany poziom ergonomiczności i poprzez ocenę spełnienia pożądanego poziomu ergonomiczności (EEI) informuje użytkownika o wynikach. Od wyniku oceny zależy, czy HSE uruchomi blok 4.

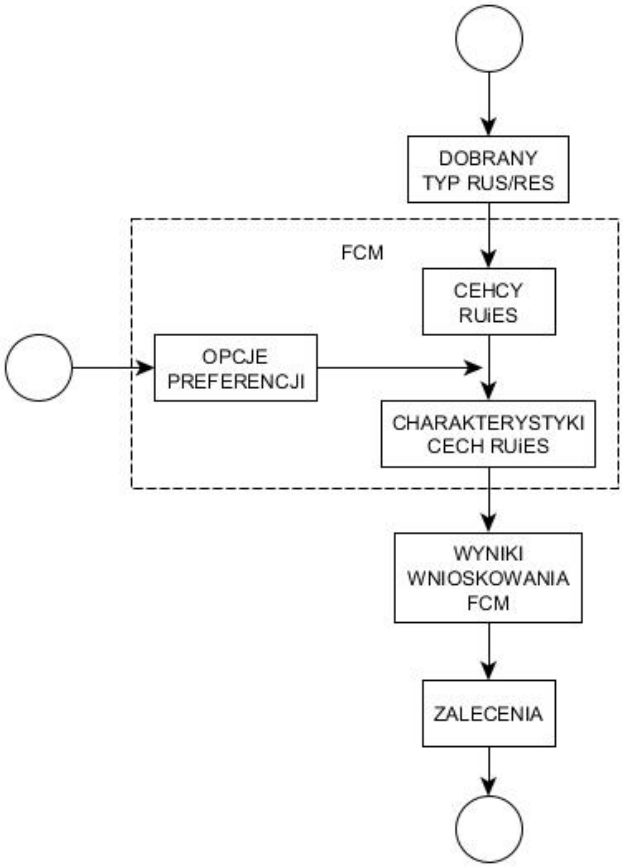
Tab. 29. Funkcje reguł modelu bloku 3 HSE
Źródło: Opracowanie własne

L.p.	Reguła	Funkcja
1.	Q:A=SZ	Identyfikacja rodzajów zawodności interakcji
2.	Q:A=ISZ	Identyfikacja pozostałych czynników opisujących interakcję
3.	Q:A=ODS	Identyfikacja jakości regulacji
4.	Q:A=CWZ	Identyfikacja czasu wykonania zadania
5.	SZ=ISZ	Identyfikacja czynników opisujących interakcję na podstawie rodzajów zawodności interakcji
6.	ODS=ISZ	Identyfikacja czynników opisujących interakcję na podstawie jakości regulacji
7.	CWZ=ISZ	Identyfikacja czynników opisujących interakcję na podstawie czasu wykonania zadania
8.	ISZ=BISZ	Zebranie pełnej informacji o przebiegu interakcji w jednej bazie danych
9.	ODS=WODS	Ocena jakości regulacji
10.	CWZ=WCWZ	Ocena czasu wykonania zadania
11.	SZ=WSZ	Ocena liczby występujących rodzajów zawodności
12.	WODS;WCWZ;WSZ=ZOI	Ocena zagregowania
13.	SZ=PSZ	Przypisanie liczby rodzajów zawodności do przedziałów rodzajów zawodności
14.	PSZ=WSZ	Przypisanie przedziałów rodzajów zawodności do wyniku oceny
15.	ZOI=ZZOE	Identyfikacja uzyskanego wyniku zagregowanego
16.	Q:A;ZZOE=EEI	Identyfikacja spełnienia oczekiwanego poziomu ergonomiczności RUS/RES
17.	EEI=FCM START/STOP	Podjęcie decyzji przez aplikację o dalszych działaniach

Regułom wnioskowania bloku 3 również przypisano funkcje, co przedstawiono w tabeli 29.

4.6.4. Modele i reguły algorytmu bloku 4

Podstawę bloku 4 stanowi model FCM zbudowana w oparciu o konstrukcję, którą pobrano ze stron internetowych Github.com i JFCM.com (Github.com; JFCM.megadix.it). Model FCM można zbudować ręcznie przy współpracy z ekspertami lub za pomocą danych rzeczywistych i podejść uczenia nienadzorowanego (Stach, Kurgan i Pedrycz 2008). W dalszych działaniach podjęto próbę opracowania modelu FCM w oparciu o uzyskane z badań eksperymentalnych dane rzeczywiste (załącznik: folder nr 3.2.; plik 3.2.2.-3.2.5). Przyjęto, że ewentualne błędy w definicjach siły węzłów pomiędzy konceptami FCM skorygują zastosowane w HSE podejścia uczenia nadzorowanego i nienadzorowanego.



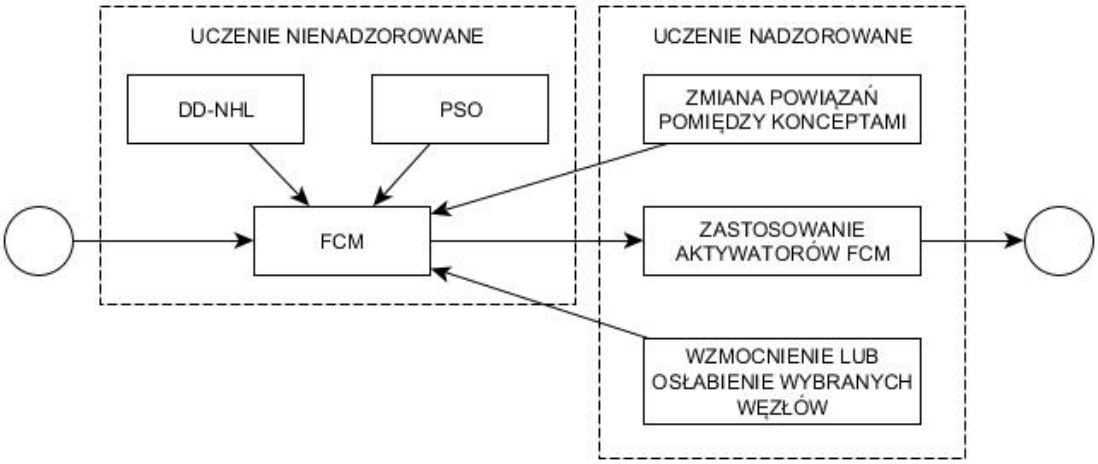
Rys. 34. Budowa FCM w HSE
Źródło: Opracowanie własne

FCM poprzedzono klasyfikacją cech RUiES i opcji preferencji (rys. 34). Klasyfikacja cech RUiES odbywa się na zasadzie przedstawionej w załączniku; folder nr 2.4.2; plik nr 91. Natomiast klasyfikacja opcji preferencji odbywa się poprzez algorytm aplikacji administratora, gdzie dane od użytkowników są odpytywane i automatyczne zaciągane do wnioskowania bloku 4 i przebiegają na zasadzie opisanej w załączniku: folder nr 2.4.2.; plik nr 131. Model FCM wsparto utworzonymi bibliotekami wyodrębniającymi koncepty mapy i połączenia tj. (rys. 34):

1. cechy RUiES oddziaływujące na odpowiadające im charakterystyki cech RUiES – uwzględnia wejściowe siły konceptów względem sił innych konceptów; definicję sił konceptów opisano siłą węzłów pomiędzy konceptami i oparto je o wyniki odchylenia względnego relacji pomiędzy zmiennymi (podrozdział 5.3.),
2. opcje preferencji oddziaływujące na charakterystyki cech RUiES – siły węzłów w tym przypadku również zdefiniowano w oparciu o dane rzeczywiste, wyniki odchylenia względnego relacji pomiędzy zmiennymi (podrozdział 5.3.) i zasadę określania siły węzłów opisaną w załączniku: folder nr 2.6.; plik nr 2.6.3.

Istotnym ustawieniem mapy FCM jest ustalenie, które elementy mapy mają być niezmienne, a którym dopuszcza się modyfikacje wartości. W przypadku opracowanej mapy zmiany wartości konceptów dotyczą charakterystyk cech i opcji preferencji (rys. 34). Równie istotne jest zastosowanie arytmetyki przedziałowej, na której FCM się opiera.

Po określeniu danych wejściowych FCM ulega wyliczeniu i przyjmuje stan mapy możliwie dostosowanej do użytkownika. Uzyskany stan mapy można modyfikować dalej przy zastosowaniu metod i podejść uczenia nadzorowanego i nienadzorowanego, które wybrano i omówiono w podrozdziałach 3.2.4 i 4.6.4. (rys. 35).

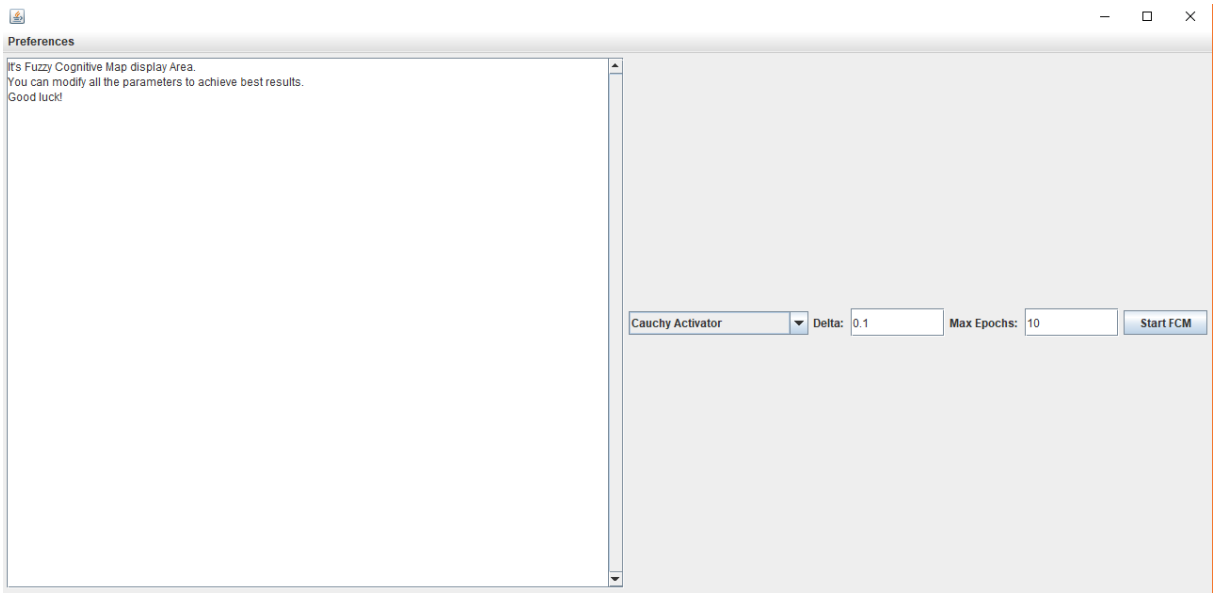


Rys. 35. Metody i podejścia modyfikacji mapy FCM
Źródło: Opracowanie własne

Uczenie nadzorowane mapy poprzedzają[6] zewnętrzne moduły uczenia nienadzorowanego oparte o podejścia DD-NHL i PSO (Github.com). Oba moduły działają na języku programowania Python 7.2., dlatego ich integracja z HSE wymaga konwersji i zapisania biblioteki relacji konceptów mapy w plikach CSV oraz skopiowania do folderu *additional_fcm_files*. Następnie z folderu istnieje możliwość wczytania zmodyfikowanej mapy do wnioskowania bloku 4. Moduł uczenia nadzorowanego mapy opiera się o zmianę reguł relacji pomiędzy konceptami, moduł dostrajający mapę o wybraną siłę wskazanych węzłów oraz na 8 wbudowanych aktywatorach przedstawionych na stronie JFCM.com (JFCM.com) (rys. 35). Zastosowane funkcje aktywacji JFCM zostały zapożyczone z sieci neuronowych. Zasadniczo są to funkcje, które obliczają wynik na podstawie danych wejściowych, zwykle na sumę całkowitą (JFCM.megadix.it).

[6] Przy czym istnieje możliwość zastosowania tylko uczenia nadzorowanego.

Moduł 4 kończy konwertowanie wyniku wnioskowania FCM na tekstowe zalecenia, które wyświetlane są w oknie dialogowym (rys. 36).



Rys. 36. Okno dialogowe modułu FCM
Źródło: HSE

Okno dialogowe bloku 4 HSE zawiera moduł definiowania siły określonych węzłów konceptów FCM, moduł aktywatorów FCM, moduł doboru do wnioskowania FCM zmodyfikowanego metodami uczenia i okno wyniku wnioskowania (rys. 36). Uzyskane w oknie dialogowym zalecenia do doboru i projektowania RUiES wymagają weryfikacji w procesie kształtowania ergonomiczności interakcji OS-RUiES (rys. 1; wprowadzenie).

5. Badania empiryczne relacji zmiennych preferencyjnych i charakterystyk cech w aspekcie ergonomiczności interakcji OS-RUiES

5.1. Analizowane preferencje osób starszych i charakterystyki cech RUiES

5.1.1. Preferencje osób starszych

W badaniach uwzględniono zróżnicowanie preferencji (tab. 30) 14 osób wśród których było 8 kobiet i 6 mężczyzn. Badane osoby były w wieku od 52 do 77 lat i zgodnie z przyjętym w pracy i HSE podziałem obejmowały 6 grup wiekowych (tab. 30). Badane osoby reprezentowały różne zawody i związany z tym czas doświadczenia w pracy z komputerem. Wśród badanych osób byli emeryci (zawód szwaczka i sprzedawca), nauczyciel szkoły podstawowej, mechanik samochodowy i przedsiębiorca, pielęgniarka, kamerzysta i montażysta wideo, elektryk, osoba zajmująca się gospodarstwem domowym (rencista) i nauczyciele akademiccy.

Tab. 30. Zróżnicowanie badanych preferencji osób starszych
Źródło: Opracowanie własne

OP	Badane osoby													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	X	-	-	-	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-
4	X	-	X	X	X	-	X	-	-	X	X	X	X	X
5	X	-	X	-	-	-	X	-	-	-	X	-	X	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-
7	X	-	-	-	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-
8	X	X	X	X	-	X	-	-	-	X	X	X	X	X
9	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	X	X	X	X	X	-	X	-	-	X	X	X	X	X
12	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
16	X	-	X	X	-	X	X	-	-	-	X	X	X	X
17	X	X	X	X	-	X	X	-	-	-	X	X	-	X
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-
21	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
22	X	X	X	X	X	X	-	X	-	X	X	X	X	X
23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
26	-	X	X	-	X	X	-	X	-	-	-	-	X	-
27	-	-	-	X	-	-	X	-	X	X	-	X	-	X
28	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-
29	-	X	-	X	X	X	X	X	X	-	-	-	X	X

30	X	-	X	-	-	-	-	-	-	X	X	X	-	-
31	-	X	-	-	-	-	-	X	-	X	-	-	-	X
32	X	-	X	X	X	X	X	-	X	-	X	X	X	-
33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
35	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	X
36	-	-	-	-	-	X	-	-	-	X	-	-	-	X
37	-	-	-	-	-	X	-	-	X	X	X	-	-	X
38	-	X	-	-	-	X	X	-	-	X	-	-	-	
39	-	X	X	-	-	X	X	-	-	X	-	X	X	X
40	-	-	-	-	-	X	-	-	-	X	-	-	-	-
41	-	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-
42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-
43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
44	-	X	-	-	-	X	X	-	-	X	-	-	-	-
45	-	-	-	-	-	X	-	-	-	X	X	-	-	-
46	-	-	-	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-
47	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-
48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
54	X	-	X	X	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X
55	X	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X
56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
57	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
58	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
59	X	-	X	X	-	X	X	X	X	-	X	X	X	X
60	X	-	X	X	-	X	X	X	X	-	X	-	-	X
61	X	-	-	X	-	-	X	X	-	-	X	-	-	X
62	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	X	X	X	X
63	X	X	X	X	X	X	-	-	-	X	X	X	X	X
64	X	X	X	X	-	X	X	-	-	X	X	X	X	-
65	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-
66	X	-	X	X	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X
67	-	-	-	-	-	X	-	-	-	X	-	-	-	X
68	-	X	-	X	-	-	X	-	-	-	-	X	-	-
69	-	-	-	-	X	-	-	X	X	-	X	-	X	-
70	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
71	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
72	-	X	-	X	-	X	X	-	-	X	-	-	-	X
73	-	-	X	-	-	-	-	X	-	-	X	X	X	-
74	-	-	-	-	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-
75	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
77	X	-	-	X	-	X	X	-	-	X	-	X	-	X
78	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

80	-	-	-	-	X	-	-	X	X	-	-	-	-	-
81	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	X	-	X	-
82	-	X	-	X	-	X	X	-	-	X	X	X	X	X
83	X	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-
84	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
85	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
86	-	-	-		X	-	-	-	X	-	-	-	-	-
87	-	-	-	X	-	X	X	-	-	X	-	X	-	X
88	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
89	-	X		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90	-	-	X	-	X	-	-	-	X	-	X	-	X	-
91	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-
Wiek	50-54	75-79	50-54	60-64	70-74	65-69	55-59	65-69	70-74	60-64	55-59	55-59	60-64	65-69
Płeć	K	K	M	K	M	K	K	M	M	K	M	K	M	K
Legenda: X – opcja preferencji osoby starszej; K – kobieta; M - mężczyzna														

W badaniach uwzględniono skrajne preferencje i doświadczenie zawodowe osób starszych. Przy czym jedynie w kilkunastu przypadkach nie uzyskano żadnych wyborów określonej opcji preferencji (np. OP14, 18, 19, 43, 48-53, 76, 79 i 84). W badaniach nie uwzględniono osób starszych nie posiadających doświadczenia użytkowego względem dobranych RUiES.

5.1.2. Charakterystyki cech RUiES

Ze względu na ograniczone możliwości badania wyrobów wariantowych, dobór zmiennych technicznych przeprowadzono za pomocą analizy budowy dostępnych w sprzedaży RUS. Urządzenia dobrano do badań pod względem oceny oddziaływań poszczególnych zmian w zakresie charakterystyk cech urządzeń tj. długość urządzenia pod dłonią, czy masa urządzenia. W rezultacie dobrano 16 urządzeń, z których dwa umożliwiają zmianę kąta pochylenia uchwytu względem płaszczyzny roboczej, co umożliwiło badanie 18 różnych skrajnych zestawów charakterystyk cech (tab. 32). Przy czym ze względu na dobrane typy RUS (tab. 32) i szczegółowe specyfikacje cech (tab. 33, 34 i 35) oraz metody i narzędzia badawcze przyjęto za konieczne zawężenie zmiennych technicznych do ogólnej charakterystyki ich cech (tab. 31). Cechy RUS podzielono na dwie skrajne charakterystyki (tab. 31) za pomocą, których zbadano relacje preferencji osób starszych i ergonomicznie pożądanych ogólnych charakterystyk cech RUiES (podrozdział 5.3.).

Tab. 31. Ogólna charakterystyka cech RUiES
Źródło: Opracowanie własne

	Charakterystyka cech RUiES												
RUS	Długość urządzenia pod dłonią (Kolejno charakterystyka 1 i 2: krótkie/długie)	Długość urządzenia pod palcami (Kolejno charakterystyka 1 i 2: krótkie/długie)	Szerokość urządzenia pod palcami (Kolejno charakterystyka1 i 2: wąskie/szerokie)	Masa urządzenia (Kolejno charakterystyka 1 i 2: lekkie/ciężkie)	Kąt pochylenia uchwytu (Kolejno charakterystyka 1 i 2: horyzontalny/wertykalny)	Siła niezbędna do aktywacji RES (Kolejno charakterystyka 1 i 2: mała/duża)	Występowanie programowalnych RES (Kolejno charakterystyka1 i 2: nie/tak)	Chropowatość uchwytu (Kolejno charakterystyka 1 i 2: nie/tak)	Głębokość wyprofilowań obudowy pod palcami (Kolejno charakterystyka 1 i 2: płytkie/głębokie)	Wielkość przełożenia układu sterowania (Kolejno charakterystyka 1 i 2: małe/duże)	Forma urządzenia (Kolejno charakterystyka 1 i 2: okrągła/kanciasta)	Tarcie obudowy (Kolejno charakterystyka 1 i 2: małe/duże)	Tarcie RES (Kolejno charakterystyka 1 i 2: małe/duże)
1	K	K	W	L	H	D	N	N	P	M	O	M	M
2	D	D	S	C	H	M	T	N	P	M	O	D	M
3	K	K	W	L	H	D	T	N	P	M	O	D	D
4	D	K	S	C	H	D	N	N	G	M	O	M	M
5	K	K	S	L	H	M	N	T	P	M	O	D	D
6	K	D	W	C	W	M	N	N	P	M	O	M	M
7	D	D	W	C	W	D	T	T	P	D	O	M	M
8	K	K	W	L	H	D	T	N	G	M	O	D	M
9	D	K	S	C	H	D	N	N	G	M	O	M	M
10	D	D	S	L	H	M	T	T	G	D	O	D	D
11	K	D	S	C	H	M	T	N	G	M	K	D	D
12	D	D	W	C	W	M	T	N	G	M	O	M	M
13	K	K	W	L	H	M	N	N	P	M	O	M	M
14	K	K	W	L	H	M	N	N	P	M	O	M	M
15	K	D	S	C	H	M	T	T	G	M	O	M	M
16	K	D	W	C	W	M	T	T	G	M	O	M	M
17	D	K	W	L	W	D	T	N	P	M	O	M	M
18	D	D	S	L	H	M	N	N	P	M	K	M	M
Legenda: Symbole w kolumnach odpowiadają parametrom RUiES np. K – krótki/D - długi													

Dobrane urządzenia to 10 horyzontalnych myszek komputerowych, 3 wertykalne myszki komputerowe, 1 horyzontalna kula wodząca (*ang. trackball*), 1 wertykalna kula wodząca , 1 dżojstik (*ang. joystick*), 1 mysz typu dżojstik (brak powszechnie występującej nazwy) i 1 ekran dotykowy (*ang. touchscreen*) (tab. 32). Ilustracje z tabeli 32 przedstawiają położenie RUS względem płaszczyzny roboczej podczas wykonywania testów oceny ergonomiczności interakcji OS-RUiES i podczas określania szczegółowej specyfikacji cech (tab.33). Wyjątek stanowi przedstawiona na ilustracji pozycja ekranu dotykowego, która podczas ww. czynności była ułożona w położeniu wertykalnym.

Tab. 32. Ręczne urządzenia sterownicze dobrane do badań
Źródło: Opracowanie własne (Źródło ilustracji: Internet i własne)

Nr RUS	Typ RUS (położenie)	Nazwa urządzenia	Ilustracja
1	Mysz komputerowa (horyzontalne)	HP	
2	Kula wodząca (wertykalne)	LOGITECH MX ERGO 40°	
3	Mysz komputerowa (horyzontalne)	BLOW	
4	Mysz komputerowa (horyzontalne)	M2WB	
5	Mysz komputerowa (horyzontalne)	TRACER	
6	Mysz komputerowa (wertykalne)	3D OPTICAL MOUSE	

7	Dżojstik (wertykalne)	SDEEDLINE TORNADO	
8	Mysz komputerowa (horyzontalne)	TRUST	
9	Mysz komputerowa (horyzontalne)	L2WB	
10	Mysz komputerowa (horyzontalne)	FURY HUNTER	
11	Mysz komputerowa (horyzontalne)	HIRO OCTAGON	
12	Mysz komputerowa (wertykalne)	CLIPY	

13	Mysz komputerowa (horyzontalne)	ISY	
14	Kula wodząca (horyzontalne)	LOGITECH MX ERGO 15°	
15	Mysz komputerowa (horyzontalne)	UNIMOUSE 35°	
16	Mysz komputerowa (wertykalne)	UNIMOUSE 70°	
17	Mysz typu dżojstik (wertykalne)	3M MOUSE	
18	Ekran dotykowy (horyzontalne)	EKRAN DOTYKOWY NOTEBOOKA LENOVO YOGA	

Natomiast szczegółowa specyfikacja RUiES (tab. 33) objęła identyfikację przedziałów charakterystyki cech z tabeli 18 (podrozdział 2.4.).

Tab. 33. Szczegółowa specyfikacja charakterystyk cech RUiES

Źródło: badania własne na podstawie tab. 18 (podrozdział 2.4.), załącznika (folder nr 2.4.1.; plik nr 25 i 26 oraz folder nr 2.4.2; plik 34) i badanych RUS

WT	Numery przyjętych przedziałów cechy RUiES (WWT)																	
	RUS																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
WT1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
WT2	7	8	7	10	7	7	10	8	10	8	7	8	8	8	7	7	10	10
WT3	11	14	13	11	12	12	20	12	13	12	12	12	11	14	12	11	13	15
WT4	17	20	19	19	17	20	22	17	19	18	17	20	17	19	20	20	20	16
WT5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21	-
WT6	26	27	27	26	26	30	26	26	26	26	26	29	26	26	27	30	27	26
WT7	32	32	31	32	32	33	31	31	32	31	31	31	32	32	31	33	35	33
WT8	38	38	38	37	38	39	38	38	37	39	40	38	37	38	38	38	37	40
WT9	43	45	42	45	44	42	42	43	44	43	44	41	43	45	44	41	42	45
WT10	46	48	49	48	46	50	49	47	48	47	46	49	46	47	49	50	50	46
WT11	51	51	52	51	51	55	51	51	51	51	51	54	51	51	53	55	52	51
WT12	57	59	59	57	57	58	58	57	56	57	57	57	57	59	57	58	60	58
WT13	62	63	63	65	63	63	63	64	65	63	63	62	62	63	62	62	61	61
WT14	67	68	68	68	67	69	68	68	68	67	67	69	67	68	68	68	66	66
WT15	72	72	74	75	72	74	74	74	75	73	73	74	72	72	74	74	71	71
WT16	78	76	78	78	77	78	79	77	78	78	77	78	78	78	78	78	78	78
WT17	83	83	83	83	83	83	84	83	83	83	83	82	83	83	83	83	83	83
WT18	87	88	86	90	88	86	88	88	90	86	88	86	87	88	88	88	86	86
WT19	92	92	91	93	92	91	93	93	94	91	92	91	92	92	92	92	91	91
WT20	97	97	96	99	97	96	99	97	99	96	98	96	97	97	97	97	96	96
WT21	103	103	103	103	102	103	104	102	103	103	102	103	103	103	102	102	103	103
WT22	108	108	108	108	108	108	-	108	108	108	108	108	108	108	106	106	108	108
WT23	111	111	111	111	114	115	113	111	111	114	115	111	111	111	115	115	113	111
WT24	116	116	116	116	118	118	118	116	116	118	118	116	116	116	118	118	118	116
WT25	121	121	121	121	122	122	123	121	121	122	122	121	121	121	122	122	123	121
WT26	128	128	128	128	128	128	128	128	128	128	128	128	128	128	128	128	128	128
WT27	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133
WT28	140	137	140	140	140	138	139	140	140	140	140	140	140	137	140	138	137	138
WT29	144	145	145	144	145	145	141	144	144	145	145	145	143	145	145	145	141	141
WT30	146	147	147	146	147	148	146	147	146	147	147	147	146	147	147	147	147	146

WT31	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151
WT32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WT33	162	161	163	163	162	161	163	163	163	162	161	162	163	161	163	163	162	163
WT34	166	166	166	166	166	166	170	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166
WT35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WT36	176	176	176	176	176	176	180	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176	176
WT37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WT38	186	186	186	186	186	186	190	186	186	186	186	186	186	186	186	186	186	186
WT39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WT40	196	200	198	200	197	198	202	197	200	197	198	198	196	200	198	198	198	-
WT41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	203
WT42	209	206	206	209	206	209	209	206	209	209	209	206	209	206	209	209	209	-
WT43	213	213	213	213	213	213	214	213	213	213	213	213	213	213	213	213	213	213
WT44	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	-
WT45	222	223	223	222	222	222	223	222	222	223	223	223	222	223	223	223	222	-
WT46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	228
WT47	233	235	235	235	233	234	235	233	235	233	232	235	233	235	234	234	235	231
WT48	236	237	236	236	236	236	237	237	236	237	236	237	236	237	236	236	236	239
WT49	241	241	241	241	241	241	243	241	241	242	241	242	241	241	242	242	241	241
WT50	246	247	249	246	247	247	246	247	246	247	246	246	246	247	247	247	246	248
WT51	251	251	251	251	251	251	251	251	251	252	252	251	251	251	251	251	251	251
WT52	256	256	256	256	256	256	256	256	256	256	256	256	257	256	256	256	256	259
WT53	264	265	264	265	264	265	265	264	265	264	265	264	264	265	264	264	264	264
WT54	266	268	270	268	267	270	268	268	268	270	268	269	266	268	268	268	267	268
WT55	271	271	275	273	275	272	271	272	273	274	272	274	271	271	273	273	271	273
WT56	278	278	278	278	278	278	278	278	278	278	278	278	278	278	278	278	278	277

Szczegółową specyfikację charakterystyk cech RUiES wykonano poprzez pomiary cech morfologicznych urządzeń w oparciu o podział cechy (WT) i przedziały charakterystyk cech (WWT) przedstawione w tabeli 18. W wyniku powyższych działań i zgodnie z numeracją WWT (załącznik; folder nr 2.4.1.; plik nr 26) oraz podziałem WT=WWT (załącznik; folder nr 2.4.2.; plik nr 34) przyporządkowano po 1 przedziale charakterystyk cech nadając odpowiedni numer WWT (tab. 33). W zależności od typu RUS określono od 47 cechy dla RUS7 i RUS18, poprzez 48 cechy dla RUS1-6 i RUS8-16 do 49 cechy dla RUS17 (tab. 33).

Charakterystykę spełnienia przez RUS zaleceń minimalizujących wpływ dolegliwości wykonano względem najważniejszego i najczęściej stosowanego elementu sterowniczego (tab. 34).

Tab. 34. Charakterystyka rozwiązań technicznych RUS minimalizujących wpływ dolegliwości
Źródło: badania własne

RUS	PCT1	PCT2	PCT3	PCT4	PCT5	PCT6	PCT7	PCT8	PCT9	PCT10	PCT11	PCT12	PCT13	PCT14	Σ
1	X	-	X	-	b.d.	-	-	-	X	-	-	X	-	-	4
2	X	X	-	-	b.d.	-	-	-	X	-	-	X	-	-	4
3	X	X	-	-	b.d.	-	-	X	-	-	-	X	-	-	4
4	X	-	X	-	b.d.	-	-	-	X	-	-	X	-	-	4
5	X	-	X	-	b.d.	-	-	-	X	-	-	X	-	X	5
6	X	X	X	-	b.d.	-	-	-	X	X	-	-	-	-	5
7	X	X	-	-	b.d.	-	-	-	X	X	-	-	-	-	4
8	X	-	-	-	b.d.	-	-	-	X	-	-	X	-	-	3
9	X	-	-	-	b.d.	-	-	-	X	-	-	X	-	-	3
10	X	-	-	-	b.d.	-	-	-	X	-	-	-	-	X	3
11	X	-	-	-	b.d.	-	-	-	X	-	-	-	-	-	2
12	X	X	-	-	b.d.	-	-	-	X	X	-	X	-	X	6
13	X	-	X	-	b.d.	-	-	-	X	-	-	X	-	-	4
14	X	-	-	-	b.d.	-	-	-	X	-	-	X	-	-	3
15	X	-	-	-	b.d.	-	-	-	X	-	-	-	-	X	3
16	X	X	-	-	b.d.	-	-	-	X	X	-	-	-	X	5
17	X	X	-	-	b.d.	-	-	-	X	X	-	-	-	-	4
18	X	-	-	-	b.d.	-	-	X	-	-	-	X	-	-	3
Legenda: X – spełnione przez RUS założenia techniczne; b.d. – brak danych															

Wszystkie dobrane do badań urządzenia spełniły zalecenie PCT1. Zalecenie PCT9 spełniły wszystkie urządzenia po za RUS 3 i 18. Innym zaleceniem spełnionym przez większość urządzeń było PCT 12. Natomiast takie zalecenia jak PCT4, 6, 7, 11 i 13 nie zostały spełnione przez żadne z RUS, a charakterystyka RUS dla PCT5 nie była możliwa do wykonania (tab. 34). Dla powyższej grupy zaleceń uzyskano niski poziom dopasowania.

Tab. 35. Charakterystyka zaleceń technicznych RUS dotyczących doboru i projektowania RUS
Źródło: badania własne

RUS	Wymagania ergonomii																																
	ZG1	ZG2	ZG3	ZG4	ZG61	ZG62															ZG63	ZG64	ZG65	ZG66	ZG67	ZG68	ZG69	ZG70	ZG71	ZG72	ZG73	ZG74	Σ (bez ZG62)
1	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-	X	X	X	ND	X	X	X	10
2	X	-	-	X	X	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	X	X	-	X	X	X	X	X	X	X	13
3	-	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-	X	X	X	X	ND	X	X	X	10
4	-	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-	X	X	X	ND	X	X	X	9
5	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	X	-	-	X	X	X	ND	X	X	X	11
6	-	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-	X	X	X	ND	X	-	X	8
7	X	-	-	X	X	X	-	X	-	-	-	X	-	-	-	X	-	X	-	X	X	X	X	-	X	X	-	X	X	X	-	X	12
8	-	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	X	X	X	X	X	ND	X	X	X	11
9	-	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-	X	X	X	ND	X	-	X	8
10	X	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	X	X	X	X	X	ND	X	X	X	11
11	X	-	X	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-	X	X	X	X	ND	X	X	X	10
12	X	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-	X	X	X	ND	X	-	X	8
13	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-	X	X	X	ND	X	X	X	10
14	X	-	-	X	X	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	X	X	-	X	X	X	X	X	X	X	13
15	-	X	-	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-	X	X	X	ND	X	-	X	7
16	-	X	-	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-	X	X	X	ND	X	-	X	7
17	-	X	-	-	X	X	X	X	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	X	-	-	X	X	X	ND	X	-	X	9
18	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	X	X	ND	X	X	X	14
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Legenda: ND – nie dotyczy; ZG – zalecenia techniczne												
						Badane osoby																												

Natomiast w szczegółowej charakterystyce cechy RUiES względem zaleceń technicznych uzyskano wysokie dopasowanie dla takich urządzeń jak RUS1-5, 7-8, 10-11, 13-14 i 17-18 (tab. 35). Lista symboli wraz z opisem zaleceń technicznych przedstawionych w tabeli 5 (podrozdział 1.2.1.) znajduje się w załączniku (załącznik: folder nr 2.2.1.; plik nr 28).

5.2. Procedura i rezultaty oceny ergonomiczności interakcji OS-RUiES

5.2.1. Procedura badań stanowiskowych

Badania stanowiskowe przeprowadzono z udziałem wszystkich badanych osób (tab. 30) i wszystkich urządzeń (tab. 32). Przebieg badań podzielono na 3 etapy. Etap pierwszy, w którym zastosowano wywiad poszerzony i pomiar cech antropometrycznych polegał na zebraniu danych dotyczących preferencji osób starszych. W etapie drugim zadaniem badanych było wykonanie pięciu prób użytkowania kolejno każdego z urządzeń, co wymagało wykonania 90 testów. Ocenę interakcji OS-RUiES przeprowadzono przy użyciu Testu 1 (podrozdział 5.6.3.) zgodnie ze wskazaniami HSE. Wykonanie 90 testów w zależności od osoby starszej trwało od ok. 50 do 90 minut. Etap trzeci również wymagający wywiadu poszerzonego dotyczył subiektywnej oceny ergonomiczności użytkowanych RUiES. W celu ograniczenia czynników zakłócających rezultaty badań tj. zmęczenie i zdolność uczenia się osób starszych dobrano kolejność pracy pod względem dwóch kryteriów. Pierwsze kryterium dotyczyło ustawienia kolejności testów w taki sposób by urządzenia o podobnej konstrukcji nie występowały jedno po drugim. Z kolei drugie kryterium dotyczyło takiego ustawienia, w którym pomiędzy urządzeniami powszechnie uznawanymi za ergonomiczne występowały te uznawane powszechnie za mniej ergonomiczne. W rezultacie uzyskano kolejność RUS, którą przedstawiają wszystkie tabele w rozdziale 6, poczynając od tabeli 31. Badania wykonywane były w tych samych warunkach oświetlenia oraz wygodnej dla użytkowników indywidualnej pozycji ciała. Przy czym była to zasadniczo pozycja siedząca pochylona lub wyprostowana. Badani w trakcie wykonywania testów w każdej chwili mieli możliwość odstąpienia lub wykonania przerwy w celu ograniczenia wpływu zmęczenia na uzyskiwane rezultaty. Niemniej żaden z użytkowników nie odstąpił, ani nie wykonał przerwy. Pomimo, że badacz zachęcał do skorzystania z przerwy. Natomiast kilku badanych przełożyło wykonanie testów z kilkoma urządzeniami na inny dzień z powodu braku czasu.

Dane dotyczące oceny interakcji OS-RUiES zamieszczono w załączniku (załącznik: folder nr 3.2.; plik nr 3.2.1.). W badaniach uzyskano 1225 obserwacji ocen interakcji OS-RUiES dla wyników cząstkowych i zagregowanych. Dla wyznaczenia zbioru charakterystyk cech RUS najlepiej dostosowanych do preferencji określonego użytkownika posłużono się metodą oceny ergonomiczności opisaną w podrozdziale 1.4.2.

5.2.2. Rezultaty ogólne oceny ergonomiczności interakcji OS-RUiES

Na podstawie zagregowanej oceny ergonomiczności interakcji OS-RUiES uszeregowano interakcje według rang. W tabeli 36 przedstawiono rangi ergonomiczności interakcji OS-RUiES dla wszystkich badanych osób starszych i urządzeń sterowniczych (na podstawie: załącznik: folder nr 3.2.; plik nr 3.2.1.). Rezultaty przedstawiono w kolejności wynikającej z procedury badawczej.

Tab. 36. Rezultaty rang i tendencji ergonomiczności interakcji OS-RUiES – kolejność według procedury badawczej
Źródło: Opracowanie własne

RUS	Badane osoby														Σ	Σ	Σ
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			
1	15	13	16	15	15	12	10	9	14	2	10	13	7	15	7	5	2
2	17	12	11	17	13	17	16	17	17	11	17	16	17	17	11	1	2
3	3	5	3	4	16	10	4	3	7	15	11	4	14	6	8	6	0
4	9	8	2	14	8	11	2	13	8	16	4	14	16	13	11	1	2
5	14	14	14	10	12	14	12	6	13	13	15	15	6	11	10	3	1
6	12	15	10	8	10	6	8	7	9	9	7	2	9	5	8	4	2
7	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	b.d.	b.d.	b.d.
8	16	9	13	6	3	9	11	14	11	7	16	8	13	14	4	7	3
9	7	6	9	13	4	15	15	12	12	10	5	9	10	3	7	3	4
10	8	17	15	5	11	3	9	8	10	12	3	5	15	9	7	1	6
11	5	10	4	7	6	8	5	2	1	4	13	6	3	8	8	4	2
12	11	2	6	1	7	13	6	10	5	8	2	11	5	7	10	2	2
13	10	3	12	12	14	16	13	15	15	17	9	12	12	12	2	6	6
14	13	11	17	16	17	7	17	16	16	14	12	17	11	16	11	2	1
15	2	7	5	3	1	1	3	4	3	3	6	7	2	10	8	5	1
16	4	1	1	2	2	4	1	1	2	5	8	10	8	1	3	5	6
17	6	4	7	11	5	5	7	5	4	6	14	3	4	2	9	3	2
18	1	16	8	9	9	2	14	11	6	1	1	1	1	4	9	1	4
	Ocena ergonomiczności interakcji OS-RUiES (Ranga ergonomiczności)																
Σ	6	11	9	9	11	10	8	12	9	11	11	7	12	10			
Σ	4	3	9	6	4	2	8	3	4	1	3	5	3	7			
Σ	8	4	0	2	3	5	1	2	4	6	4	5	3	0			

Legenda: wyróżnienie szare – obserwacja niezakończona (cząstkowe wykonanie obserwacji pozwoliło wyznaczyć rangę ergonomiczności interakcji OS-RUiES); b.d. – brak danych wynikający z dużej liczby niezakończonych obserwacji

Z uzyskanych wyników wyciągnięto następujące wnioski ogólne (tab. 36):

1. rezultaty zagregowane (ZOI) porównując ostatni do pierwszego dzielą interakcje OS-RUiES na te, w których zachodzi:

1.1. poprawa poziomu ergonomiczności interakcji (wyróżnienie zielone),

1.2. stały poziom ergonomiczności interakcji (wyróżnienie żółte),

1.3. spadek poziomu ergonomiczności interakcji (wyróżnienie czerwone),

2. zróżnicowanie urządzeń pod względem typu i ustawienia uchwytu względem płaszczyzny roboczej w perspektywie kilku prób pracy z urządzeniem ma znaczenie na różnice w poprawie ergonomiczności interakcji,
3. zróżnicowanie cechy urządzeń tej samej kategorii pod względem typu i ustawienia uchwytu ma znaczące oddziaływanie na ergonomiczność interakcji dla grup składających się z RUS1, 3, 5, 8, 10, 11, 13 i 15 oraz RUS6, 12 i 16,
4. zróżnicowanie cechy urządzeń tej samej kategorii pod względem typu i ustawienia uchwytu nie ma znaczącego oddziaływania na ergonomiczność interakcji dla grup składających się z RUS2 i 14 oraz RUS4 i 9,
5. zaobserwowano znaczne różnice w zdolności uczenia się badanych osób (przykładowo badany 1 miał 6 ocen wskazujących na poprawę ergonomiczności interakcji, a badany 8 aż 12 – analogicznie różnice występują dla wyników liczby pogorszenia ergonomiczności interakcji),

6. nie wystąpiło znaczne oddziaływanie zdolności uczenia się badanych osób na kolejne rezultaty interakcji wynikające z procedury badawczej (pogorszenie ergonomiczności interakcji występowało na ogół w połowie lub na końcu cyklu badań),
7. nie zaobserwowano znaczącego oddziaływania liczby spełnionych zaleceń technicznych (tab. 34 i 35) RUiES na poziom ergonomiczności interakcji OS-RUiES (tab. 36).

W tabeli 37 przedstawiono interakcje OS-RUS uporządkowane według rang ergonomiczności.

Tab. 37. Rezultaty ergonomiczności interakcji OS-RUiES – kolejność według rang
Źródło: Opracowanie własne

Ranga ergo.	Badane osoby														Σ	Σ	Σ
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			
1	18	16	16	12	15	15	16	16	11	18	18	18	18	16	8	4	2
2	15	12	4	16	16	18	4	11	16	1	12	6	15	17	8	4	2
3	3	13	3	15	8	10	15	3	15	15	10	17	11	9	6	4	4
4	16	17	11	3	9	16	3	15	17	11	4	3	17	18	6	5	3
5	11	3	15	10	17	17	11	17	12	16	9	10	12	6	11	0	3
6	17	9	12	8	11	6	12	5	18	17	15	11	5	3	10	2	2
7	9	15	17	11	12	14	17	6	3	8	6	15	1	12	6	6	2
8	10	4	18	6	4	11	6	10	4	12	16	8	16	11	6	4	4
9	4	8	9	18	18	8	10	1	6	6	13	9	6	10	8	3	3
10	13	11	6	5	6	3	1	12	10	9	1	16	9	15	9	4	1
11	12	14	2	17	10	4	8	18	8	2	3	12	14	5	9	2	3
12	6	2	13	13	5	1	5	9	9	10	14	13	13	13	8	3	3
13	14	1	8	9	2	12	13	4	5	5	11	1	8	4	11	3	0
14	5	5	5	4	13	5	18	8	1	14	17	4	3	8	7	5	2
15	1	6	10	1	1	9	9	13	13	3	5	5	10	1	7	4	3
16	8	18	1	14	3	13	2	14	14	4	8	2	2	14	5	5	4
17	2	10	14	2	14	2	14	2	2	13	2	14	4	2	10	0	4
18	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	b.d.	b.d.	b.d.
	RUS																

Analiza wyników wskazuje również na brak znaczących różnic w częstotliwości notowanych popraw, stałych i spadków ergonomiczności według rangi ergonomiczności interakcji OS-RUiES (tab. 37). Ogólnie uzyskane rezultaty wskazują na znaczne zróżnicowanie badanych systemów C-M-O, co potwierdza i uzasadnia podejście spersonalizowane, a utrudnia budowę modeli wnioskowania systemu ekspertowego.

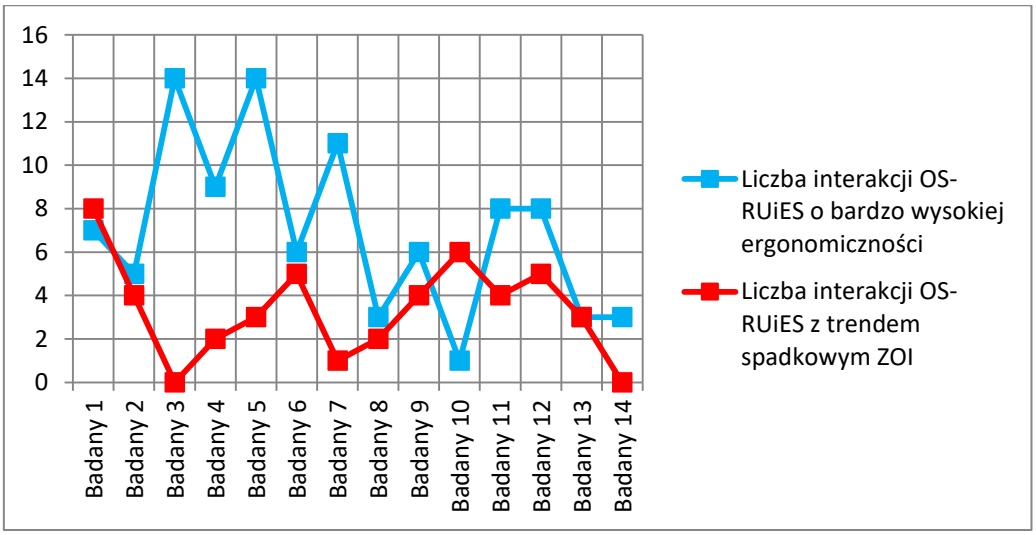
Tab. 38. Podział oceny interakcji OS-RUiES według poziomów ergonomiczności
Źródło: Opracowanie własne

Ranga ergo.	Badane osoby													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	18	16	16	12	15	15	16	16	11	18	18	18	18	16
2	15	12	4	16	16	18	4	11	16	1	12	6	15	17
3	3	13	3	15	8	10	15	3	15	15	10	17	11	9
4	16	17	11	3	9	16	3	15	17	11	4	3	17	18
5	11	3	15	10	17	17	11	17	12	16	9	10	12	6
6	17	9	12	8	11	6	12	5	18	17	15	11	5	3
7	9	15	17	11	12	14	17	6	3	8	6	15	1	12
8	10	4	18	6	4	11	6	10	4	12	16	8	16	11
9	4	8	9	18	18	8	10	1	6	6	13	9	6	10
10	13	11	6	5	6	3	1	12	10	9	1	16	9	15
11	12	14	2	17	10	4	8	18	8	2	3	12	14	5
12	6	2	13	13	5	1	5	9	9	10	14	13	13	13

13	14	1	8	9	2	12	13	4	5	5	11	1	8	4
14	5	5	5	4	13	5	18	8	1	14	17	4	3	8
15	1	6	10	1	1	9	9	13	13	3	5	5	10	1
16	8	18	1	14	3	13	2	14	14	4	8	2	2	14
17	2	10	14	2	14	2	14	2	2	13	2	14	4	2
18	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	RUS													

Legenda: niebieskie wyróżnienie – bardzo wysoki poziom ergonomiczności; zielone wyróżnienie – wysoki poziom ergonomiczności; żółte wyróżnienie – średni poziom ergonomiczności; pomarańczowe wyróżnienie – niski poziom ergonomiczności; Poziomy ergonomiczności wyznaczono na podstawie ZOI (załącznik: folder nr 3.2.; plik nr 3.2.1.)

Natomiast zaobserwowano w badanej grupie zależność pomiędzy liczbą interakcji OS-RUiES o bardzo wysokiej ergonomiczności (tab. 38), a liczbą integracji OS-RUiES z trendem spadkowym (tab. 36). Przy czym wystąpiła korelacja ujemna (r-Pearsona = -0,43; siła korelacji – umiarkowana). Badani o dużej liczbie interakcji o wysokiej ergonomiczności notowali mniejszą liczbę interakcji z trendem spadkowym (rys. 37).



Rys. 37. Rezultaty analizy oddziaływania zdolności uczenia się badanych osób na poziom ergonomiczności interakcji

Źródło: Opracowanie własne

Analogicznie badani o niższej interakcji o wysokiej ergonomiczności notowali większą liczbę interakcji z trendem spadkowym. Uzyskanie wyników o wyższej ergonomiczności wiązało się, więc w stopniu umiarkowanym z umiejętnością uczenia się (rys. 37). Wyciągnięte wnioski wskazują dalszy kierunek badań zmierzający do określenia stopnia oddziaływania rodzajów zdolności kognitywnych na ergonomiczność interakcji OS-RUiES.

5.2.3. Rezultaty przewidywania typu i cech RUiES w aspekcie preferencji i poziomów ergonomiczności interakcji OS-RUiES

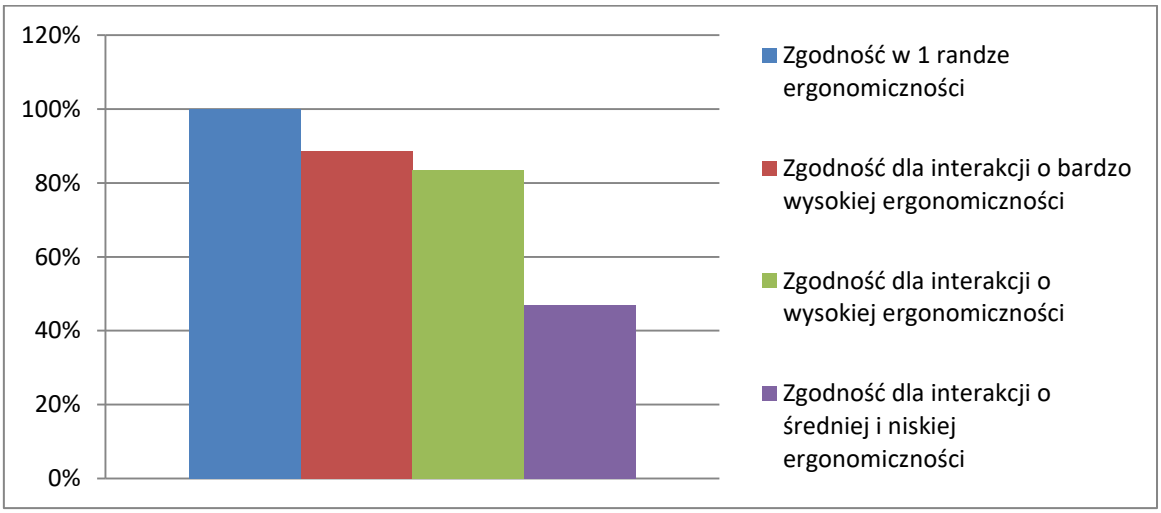
Analiza preferencji badanej grupy osób starszych (tab. 30), rang i poziomów ergonomiczności interakcji OS-RUiES (tab. 38) (załącznik: folder nr 3.2.; plik nr 3.2.1.) wskazuje na bardzo wysokie zgodności deklarowanych przez osoby starsze typów RUiES, względem których posiadano doświadczenie użytkowe (tab. 39).

Tab. 39. Rezultaty przewidywania typu RUS na podstawie doświadczenia użytkowego
Źródło: Opracowanie własne

Ranga ergo.	Badane osoby													
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.
1	18	16	16	12	15	15	16	16	11	18	18	18	18	16
2	15	12	4	16	16	18	4	11	16	1	12	6	15	17
3	3	13	3	15	8	10	15	3	15	15	10	17	11	9
4	16	17	11	3	9	16	3	15	17	11	4	3	17	18
5	11	3	15	10	17	17	11	17	12	16	9	10	12	6
6	17	9	12	8	11	6	12	5	18	17	15	11	5	3
7	9	15	17	11	12	14	17	6	3	8	6	15	1	12
8	10	4	18	6	4	11	6	10	4	12	16	8	16	11
9	4	8	9	18	18	8	10	1	6	6	13	9	6	10
10	13	11	6	5	6	3	1	12	10	9	1	16	9	15
11	12	14	2	17	10	4	8	18	8	2	3	12	14	5
12	6	2	13	13	5	1	5	9	9	10	14	13	13	13
13	14	1	8	9	2	12	13	4	5	5	11	1	8	4
14	5	5	5	4	13	5	18	8	1	14	17	4	3	8
15	1	6	10	1	1	9	9	13	13	3	5	5	10	1
16	8	18	1	14	3	13	2	14	14	4	8	2	2	14
17	2	10	14	2	14	2	14	2	2	13	2	14	4	2
18	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	RUS													

Legenda: wyróżnienie zielone – zgodność preferencji; wyróżnienie czerwone – niezgodność preferencji

Uzyskano 100% zgodność pomiędzy preferencjami doświadczenia użytkowego a wynikami interakcji OS-RUiES w 1 randze ergonomiczności. Również bardzo dużą zgodność uzyskano pomiędzy doświadczeniem, a wynikami interakcji OS-RUiES o bardzo wysokim poziomie ergonomiczności (88,78%). Tylko o około 5% niższa była zgodność względem interakcji OS-RUiES o wysokiej ergonomiczności (83,61%). Natomiast dla interakcji o średniej i niskiej ergonomiczności zgodność z preferencjami była najniższa i wyniosła 46,88% (rys. 38).



Rys. 38. Rezultaty przewidywania typu RUS na podstawie doświadczenia użytkowego – zgodność według poziomu ergonomiczności interakcji OS-RUiES
Źródło: Opracowanie własne

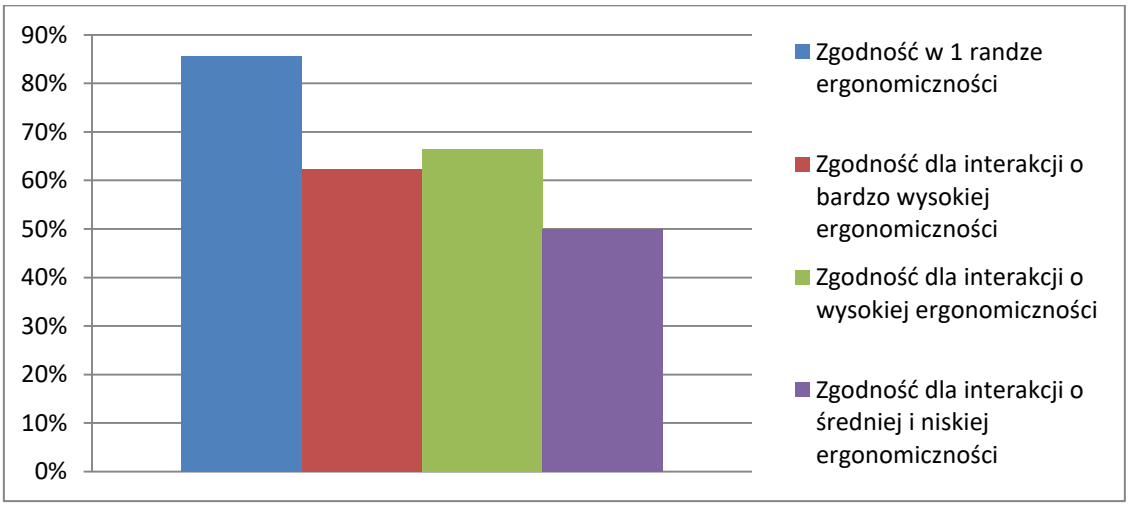
Zaobserwowano również znaczne zgodności pomiędzy deklarowanymi rodzajami technologii a odpowiadającymi im typami RUiES (tab. 40). Przy czym zauważono silne oddziały-

wanie na zróżnicowanie zgodności pomiędzy badanymi osobami wynikające z preferowania przez niektóre osoby interfejsu gestykularnego (tab. 40).

Tab. 40. Rezultaty przewidywania typu RUS na podstawie rodzaju technologii
Źródło: Opracowanie własne

Ranga ergo.	Badane osoby													
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.
1	18	16	16	12	15	15	16	16	11	18	18	18	18	16
2	15	12	4	16	16	18	4	11	16	1	12	6	15	17
3	3	13	3	15	8	10	15	3	15	15	10	17	11	9
4	16	17	11	3	9	16	3	15	17	11	4	3	17	18
5	11	3	15	10	17	17	11	17	12	16	9	10	12	6
6	17	9	12	8	11	6	12	5	18	17	15	11	5	3
7	9	15	17	11	12	14	17	6	3	8	6	15	1	12
8	10	4	18	6	4	11	6	10	4	12	16	8	16	11
9	4	8	9	18	18	8	10	1	6	6	13	9	6	10
10	13	11	6	5	6	3	1	12	10	9	1	16	9	15
11	12	14	2	17	10	4	8	18	8	2	3	12	14	5
12	6	2	13	13	5	1	5	9	9	10	14	13	13	13
13	14	1	8	9	2	12	13	4	5	5	11	1	8	4
14	5	5	5	4	13	5	18	8	1	14	17	4	3	8
15	1	6	10	1	1	9	9	13	13	3	5	5	10	1
16	8	18	1	14	3	13	2	14	14	4	8	2	2	14
17	2	10	14	2	14	2	14	2	2	13	2	14	4	2
18	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	RUS													
Legenda: wyróżnienie zielone – zgodność preferencji; wyróżnienie czerwone – niezgodność preferencji														

Rezultaty wskazują na 85,71% zgodność pomiędzy preferencjami dotyczącymi rodzaju technologii a wynikami interakcji OS-RUiES w 1 randze ergonomiczności. Dużą zgodność uzyskano pomiędzy preferencjami technologii, a wynikami interakcji OS-RUiES o bardzo wysokim poziomie ergonomiczności (62,25%). O około 4% wyższą zgodność uzyskano względem interakcji OS-RUiES o wysokiej ergonomiczności (66,39%). Natomiast dla interakcji o średniej i niskiej ergonomiczności zgodność z preferencjami była najniższa i wyniosła 50% (rys. 39).



Rys. 39. Rezultaty przewidywania typu RUS na podstawie rodzaju technologii – zgodność według poziomu ergonomiczności interakcji OS-RUiES
Źródło: Opracowanie własne

Wnioski z rezultatów badań dotyczących przewidywania typu RUiES zaimplementowano w wnioskowanie regułowe HSE (załącznik: folder nr 3.1.; plik nr 3.1.1.). Przewidywanie typu RUiES przez HSE poddano walidacji względem preferencji badanej grupy osób starszych. Uzyskano 78,57% skuteczność systemu. Rezultaty walidacji przedstawiono w tabeli 41.

Tab. 41. Walidacja wnioskowania typu RUS przez HSE
Źródło: Opracowanie własne

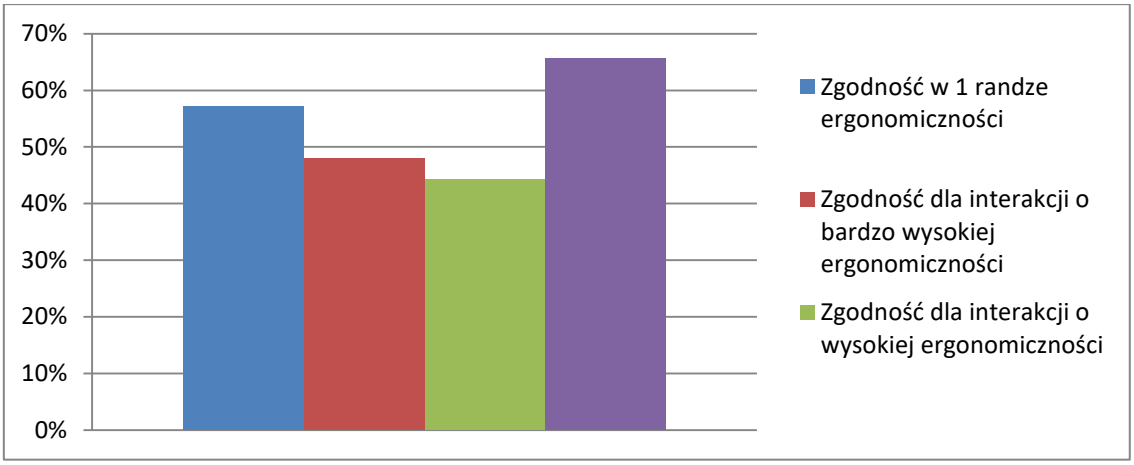
Badani	Typ RUS z badań empirycznych	Typ RUS przewidziany przez HSE	Ocena zgodności	
			Wnioskowanie poprawne	Wnioskowanie niepoprawne
1	Ekran dotykowy	Ekran dotykowy	X	-
2	Mysz komputerowa	Mysz komputerowa	X	-
3	Mysz komputerowa	Ekran dotykowy	-	X
4	Mysz komputerowa	Mysz komputerowa	X	-
5	Mysz komputerowa	Mysz komputerowa	X	-
6	Mysz komputerowa	Mysz komputerowa	X	-
7	Mysz komputerowa	Mysz komputerowa	X	-
8	Mysz komputerowa	Mysz komputerowa	X	-
9	Mysz komputerowa	Mysz komputerowa	X	-
10	Ekran dotykowy	Ekran dotykowy	X	-
11	Ekran dotykowy	Ekran dotykowy	X	-
12	Ekran dotykowy	Panel dotykowy	-	X
13	Ekran dotykowy	Mysz komputerowa	-	X
14	Mysz komputerowa	Mysz komputerowa	X	-
		∑	11	3
		Wynik procentowy [%]	78,57	21,43

W przypadku zgodności pomiędzy preferencją rozmiaru urządzenia a cechą *Długość urządzenia pod dłonią* nie uzyskano znaczących wyników (tab. 42).

Tab. 42. Rezultaty przewidywania charakterystyk cech *Długość urządzenia pod dłonią* na podstawie preferencji rozmiaru urządzenia
Źródło: Opracowanie własne

Ranga ergo.	Badane osoby													
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.
1	18	16	16	12	15	15	16	16	11	18	18	18	18	16
2	15	12	4	16	16	18	4	11	16	1	12	6	15	17
3	3	13	3	15	8	10	15	3	15	15	10	17	11	9
4	16	17	11	3	9	16	3	15	17	11	4	3	17	18
5	11	3	15	10	17	17	11	17	12	16	9	10	12	6
6	17	9	12	8	11	6	12	5	18	17	15	11	5	3
7	9	15	17	11	12	14	17	6	3	8	6	15	1	12
8	10	4	18	6	4	11	6	10	4	12	16	8	16	11
9	4	8	9	18	18	8	10	1	6	6	13	9	6	10
10	13	11	6	5	6	3	1	12	10	9	1	16	9	15
11	12	14	2	17	10	4	8	18	8	2	3	12	14	5
12	6	2	13	13	5	1	5	9	9	10	14	13	13	13
13	14	1	8	9	2	12	13	4	5	5	11	1	8	4
14	5	5	5	4	13	5	18	8	1	14	17	4	3	8
15	1	6	10	1	1	9	9	13	13	3	5	5	10	1
16	8	18	1	14	3	13	2	14	14	4	8	2	2	14
17	2	10	14	2	14	2	14	2	2	13	2	14	4	2
18	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	RUS													
Legenda: wyróżnienie zielone – zgodność preferencji; wyróżnienie czerwone – niezgodność preferencji														

Uzyskano jedynie 57,14% zgodność pomiędzy opcjami preferencji rozmiaru urządzenia a wynikami interakcji OS-RUiES w 1 randze ergonomiczności. Jeszcze słabszy wynik zgodności uzyskano względem wyników interakcji OS-RUiES o bardzo wysokim poziomie ergonomiczności (47,96%). Podobny wynik uzyskano dla interakcji OS-RUiES o wysokiej ergonomiczności (44,26%). Natomiast dla interakcji o średniej i niskiej ergonomiczności zgodność z preferencjami była najwyższa i wyniosła 65,63% (rys. 40).



Rys. 40. Rezultaty przewidywania charakterystyk cech *Długość urządzenia pod dłonią* na podstawie preferencji rozmiaru urządzenia – zgodność według poziomu ergonomiczności interakcji OS-RUiES
Źródło: Opracowanie własne

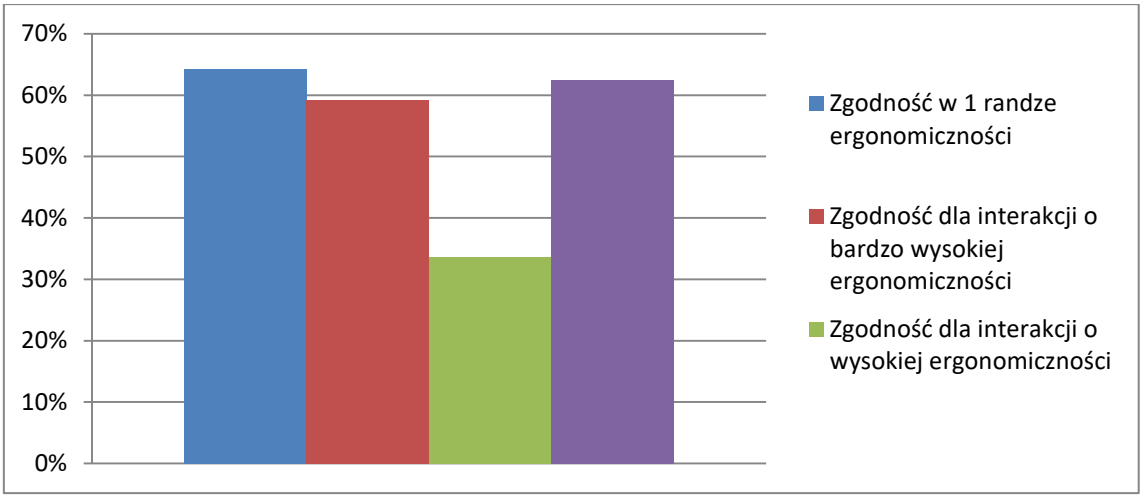
W przypadku zgodności pomiędzy preferencją rozmiaru urządzenia a cechą *Długość urządzenia pod palcami* uzyskano nieco lepsze rezultaty, niż w przypadku przewidywania cechy *Długość urządzenia pod dłonią* (tab. 43).

Tab. 43. Rezultaty przewidywania charakterystyk cech *Długość pod palcami* na podstawie preferencji rozmiaru urządzenia
Źródło: Opracowanie własne

Ranga ergo.	Badane osoby													
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.
1	18	16	16	12	15	15	16	16	11	18	18	18	18	16
2	15	12	4	16	16	18	4	11	16	1	12	6	15	17
3	3	13	3	15	8	10	15	3	15	15	10	17	11	9
4	16	17	11	3	9	16	3	15	17	11	4	3	17	18
5	11	3	15	10	17	17	11	17	12	16	9	10	12	6
6	17	9	12	8	11	6	12	5	18	17	15	11	5	3
7	9	15	17	11	12	14	17	6	3	8	6	15	1	12
8	10	4	18	6	4	11	6	10	4	12	16	8	16	11
9	4	8	9	18	18	8	10	1	6	6	13	9	6	10
10	13	11	6	5	6	3	1	12	10	9	1	16	9	15
11	12	14	2	17	10	4	8	18	8	2	3	12	14	5
12	6	2	13	13	5	1	5	9	9	10	14	13	13	13
13	14	1	8	9	2	12	13	4	5	5	11	1	8	4
14	5	5	5	4	13	5	18	8	1	14	17	4	3	8
15	1	6	10	1	1	9	9	13	13	3	5	5	10	1
16	8	18	1	14	3	13	2	14	14	4	8	2	2	14
17	2	10	14	2	14	2	14	2	2	13	2	14	4	2
18	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	RUS													

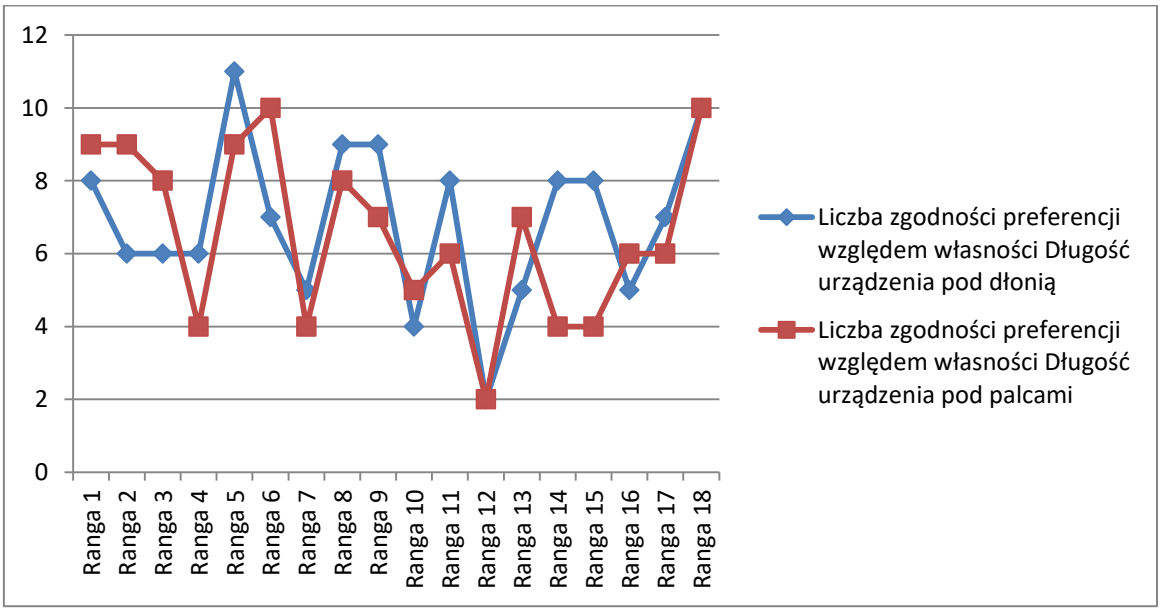
Legenda: wyróżnienie zielone – zgodność preferencji; wyróżnienie czerwone – niezgodność preferencji

Uzyskano 64,29% zgodność pomiędzy opcjami preferencji rozmiaru urządzenia a wynikami interakcji OS-RUiES w 1 randze ergonomiczności. Zgodność względem wyników interakcji OS-RUiES o bardzo wysokim poziomie ergonomiczności wyniosła 59,18%. Zgodność dla interakcji OS-RUiES o wysokiej ergonomiczności wyniosła jedynie 33,61%. Natomiast dla interakcji o średniej i niskiej ergonomiczności zgodność z preferencjami wyniosła 62,5% (rys. 41).



Rys. 41. Rezultaty przewidywania charakterystyk cech *Długość pod palcami* na podstawie preferencji rozmiaru urządzenia – zgodność według poziomu ergonomiczności interakcji OS-RUiES
Źródło: Opracowanie własne

Analiza korelacji pomiędzy liczbą zgodności preferencji rozmiaru urządzenia względem cechy *Długość urządzenia pod dłonią* i cechy *Długość urządzenia pod palcami* wskazuje na niską korelację. Przy czym wystąpiła korelacja ujemna (współczynnik korelacji r-pearsona wyniósł -0,38 – rys. 42).



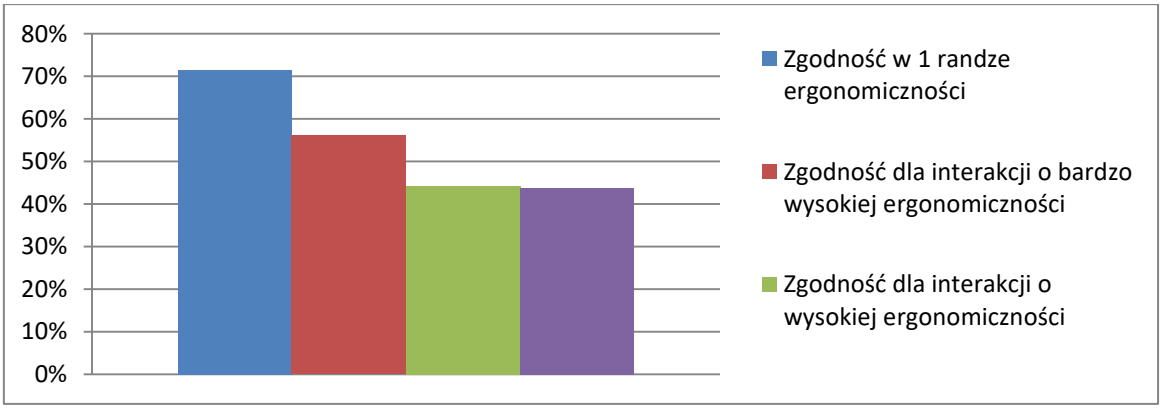
Rys. 42. Rezultaty korelacji zgodności liczby preferencji rozmiaru urządzenia względem cechy *Długość urządzenia pod dłonią* i cechy *Długość urządzenia pod palcami*
Źródło: Opracowanie własne

W przypadku zgodności pomiędzy preferencją rozmiaru urządzenia a cechą *Szerokość urządzenia pod palcami* uzyskano zasadniczo umiarkowane rezultaty (tab. 44).

Tab. . 44. Rezultaty przewidywania charakterystyk cech *Szerokość urządzenia pod palcami* na podstawie preferencji rozmiaru urządzenia
Źródło: Opracowanie własne

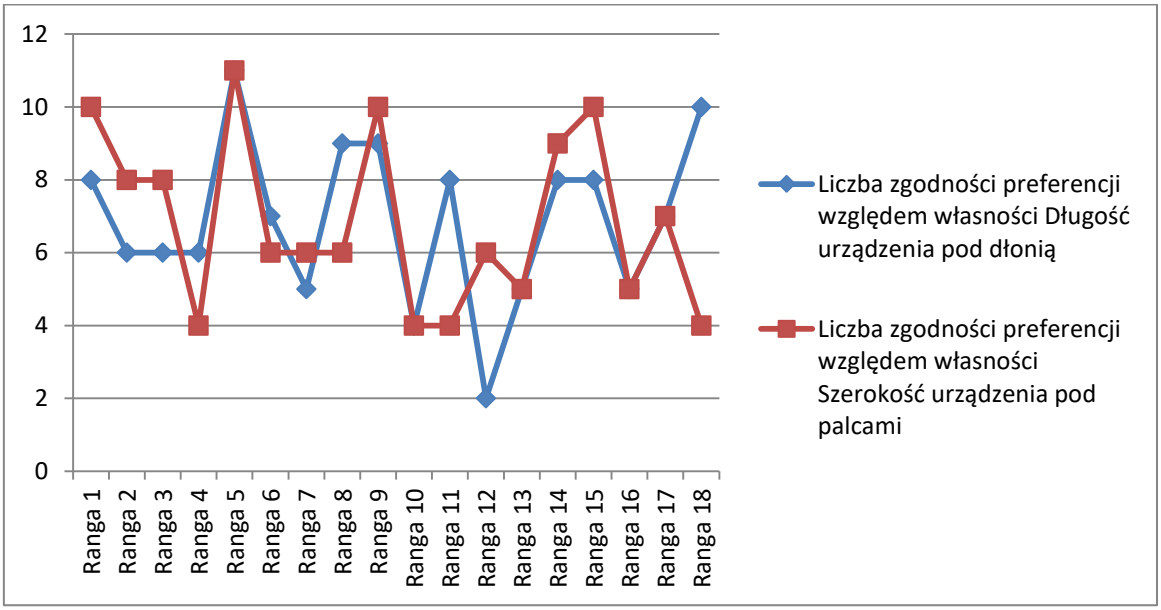
Ranga ergo.	Badane osoby													
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.
1	18	16	16	12	15	15	16	16	11	18	18	18	18	16
2	15	12	4	16	16	18	4	11	16	1	12	6	15	17
3	3	13	3	15	8	10	15	3	15	15	10	17	11	9
4	16	17	11	3	9	16	3	15	17	11	4	3	17	18
5	11	3	15	10	17	17	11	17	12	16	9	10	12	6
6	17	9	12	8	11	6	12	5	18	17	15	11	5	3
7	9	15	17	11	12	14	17	6	3	8	6	15	1	12
8	10	4	18	6	4	11	6	10	4	12	16	8	16	11
9	4	8	9	18	18	8	10	1	6	6	13	9	6	10
10	13	11	6	5	6	3	1	12	10	9	1	16	9	15
11	12	14	2	17	10	4	8	18	8	2	3	12	14	5
12	6	2	13	13	5	1	5	9	9	10	14	13	13	13
13	14	1	8	9	2	12	13	4	5	5	11	1	8	4
14	5	5	5	4	13	5	18	8	1	14	17	4	3	8
15	1	6	10	1	1	9	9	13	13	3	5	5	10	1
16	8	18	1	14	3	13	2	14	14	4	8	2	2	14
17	2	10	14	2	14	2	14	2	2	13	2	14	4	2
18	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	RUS													
Legenda: wyróżnienie zielone – zgodność preferencji; wyróżnienie czerwone – niezgodność preferencji														

Największą i wyróżniającą się na tle innych poziomów ergonomiczności zgodność uzyskano pomiędzy preferencjami rozmiaru urządzenia a wynikami interakcji OS-RUiES w 1 randze ergonomiczności (71,43%). Zgodność pomiędzy preferencjami, a wynikami interakcji OS-RUiES o bardzo wysokim poziomie ergonomiczności w badanej grupie osób wyniosła 56,12%. Zgodność względem interakcji OS-RUiES o wysokiej ergonomiczności wyniosła 44,26%. Natomiast dla interakcji o średniej i niskiej ergonomiczności zgodność z preferencjami wyniosła 43,75% (rys. 43).



Rys. 43. Rezultaty przewidywania charakterystyk cech *Szerokość urządzenia pod palcami* na podstawie preferencji rozmiaru urządzenia – zgodność według poziomu ergonomiczności interakcji OS-RUiES
Źródło: Opracowanie własne

Analiza korelacji pomiędzy liczbą zgodności preferencji rozmiaru urządzenia względem cechy *Długość urządzenia pod dłonią* i cechy *Szerokość urządzenia pod palcami* wskazuje na umiarkowaną korelację. Przy czym wystąpiła korelacja dodatnia (współczynnik korelacji r-pearsona wyniósł 0,48 – rys. 44).



Rys. 44. Rezultaty korelacji zgodności liczby preferencji rozmiaru urządzenia względem cechy *Długość urządzenia pod dłonią* i cechy *Szerokość urządzenia pod palcami*
Źródło: Opracowanie własne

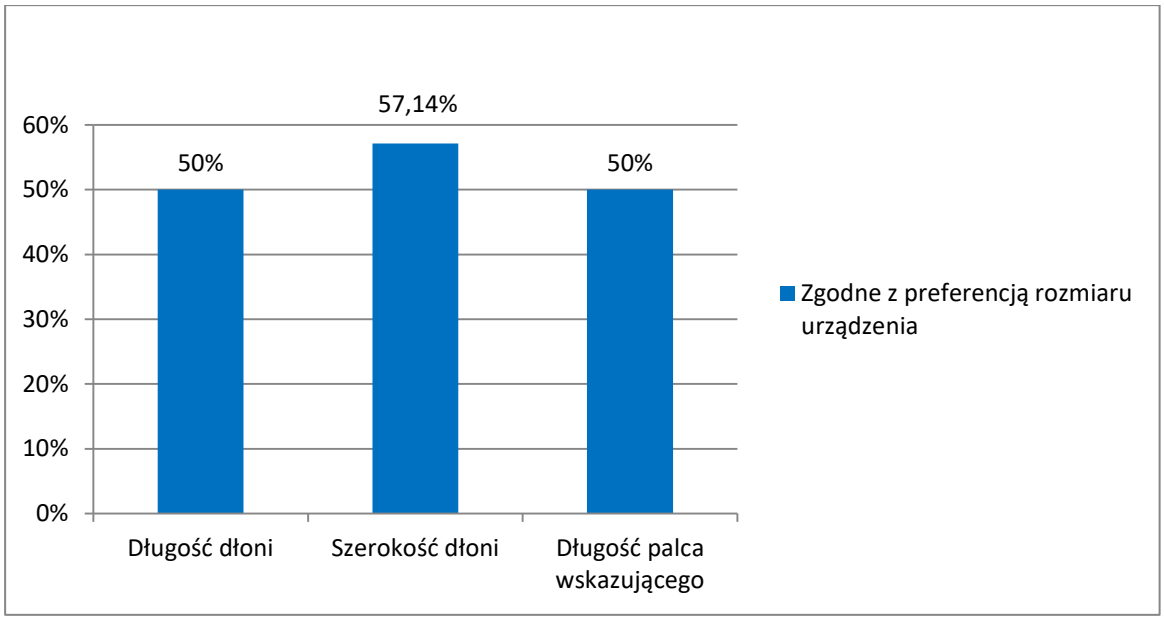
Wzrost i spadek liczby zgodności pomiędzy preferencją rozmiaru urządzenia a cechą *Długość urządzenia pod dłonią* tłumaczy kolejno wzrost i spadek liczby zgodności względem cechy *Szerokość urządzenia pod dłonią* w stopniu umiarkowanym (rys. 44).

W badanej populacji osób starszych zaobserwowano w 35,71% zgodność pomiędzy preferencjom rozmiaru urządzenia, a wszystkimi preferencjami wynikającymi z porównywanych cech antropometrycznych (tab. 45).

Tab. 45. Zestawienie zgodności pomiędzy preferencjom rozmiaru urządzenia, a preferencjami wynikającymi z porównywanych cech antropometrycznych
Źródło: Opracowanie własne

Preferencja/ Cecha antrop.	Badane osoby													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
długość dłoni	X	X	-	-	X	-	-	X	X	X	-	-	-	X
Szerokość dłoni	-	X	X	-	X	-	-	-	X	X	X	-	X	X
Długość palca wskazującego	-	X	X	-	X	-	-	X	X	X	-	-	-	X
Legenda: X – zgodność pomiędzy preferencjami														

Przy czym zgodności te wystąpiły dla badanego 2, 5, 9, 10 i 14. Ponadto w badanej zbiorowości uzyskano 28,58% niezgodności pomiędzy obiema grupami preferencji. Niezgodności pomiędzy preferencją rozmiaru urządzenia, a opcjami preferencji cech antropometrycznych zauważono dla badanego 4, 6, 7 i 12. Natomiast pozostałe 35,71% stanowiła częściowa zgodność pomiędzy porównywanymi preferencjami np. wystąpiła zgodność względem długości i szerokości dłoni, a nie wystąpiła dla długości palca wskazującego (tab. 44).



Rys. 45. Rezultaty zgodności pomiędzy preferencjom rozmiaru urządzenia, a preferencjami wynikającymi z porównywanych cech antropometrycznych
Źródło: Opracowanie własne

Natomiast analiza zgodności pomiędzy poszczególnymi opcjami preferencji dotyczącymi cech antropometrycznych a preferencjom rozmiaru urządzenia wskazuje na 50% zgodność względem długości dłoni i palca wskazującego oraz 57,14% zgodność w przypadku szerokości dłoni (rys. 45).

5.3. Relacje preferencji osób starszych i ogólnej charakterystyki cech RUiES

5.3.1. Relacje wieku i płci i charakterystyk cech RUiES

Rezultaty badania wykazały, że preferencja wieku najsilniej oddziałują na takie cechy RUiES jak *Wielkość przełożenia układu sterowania* (gdzie wartość odchylenia względnego wyniosła nawet 48%), *Głębokość wyprofilowań obudowy pod palcami*, *Długość urządzenia pod dłonią* i *Siła niezbędna do aktywacji RES* (tab. 46; załącznik: folder nr 3.2.; plik nr 3.2.2.). Natomiast preferencja wieku w znaczącym stopniu nie oddziałuje tylko na cecha *Tarcie obudowy*, gdzie uzyskano najniższy wskaźnik odchylenia względnego (0,2%). Przy czym na podstawie uzyskanych wyników przyjęto, że znaczne oddziaływanie pomiędzy zmiennymi charakteryzuje się co najmniej 10% odchyleniem względnym i 5% odchyleniem bezwzględnym.

Tab. 46. Rezultaty zależności preferencji wieku na cechy RUiES
Źródło: Opracowanie własne (załącznik: folder nr 3.2.; plik nr 3.2.2.)

Zmienne			Rezultaty			Ocena	
Zmienna 2	Zmienna 1		Zmienna 2 Charakterystyka cechy 1	Zmienna 2 Charakterystyka cechy 2	Średnia	Odchylenie względne [%]	Wartość bezwzględna odchylenia od wyniku dla zmiennej 2 [%]
Długość urządzenia pod dłonią	Wiek	50-54	1,77	2,01	1,89	12,9	1,0
		55-59	1,75	2,00	1,87	13,4	0,4
		60-64	2,04	2,37	2,21	15,1	1,3
		65-69	1,99	2,28	2,13	13,8	0,0
		70-74	1,74	2,03	1,89	15,7	1,8
		75-79	2,09	2,30	2,19	9,7	4,1
Długość urządzenia pod palcami	Wiek	50-54	1,85	1,93	1,89	4,2	0,7
		55-59	1,79	1,94	1,87	7,8	2,9
		60-64	2,19	2,22	2,21	1,2	3,7
		65-69	2,10	2,17	2,13	3,2	1,7
		70-74	1,82	1,94	1,89	6,1	1,2
		75-79	2,04	2,32	2,19	12,8	7,9
Szerokość urządzenia pod palcami	Wiek	50-54	2,01	1,77	1,89	-12,8	7,4
		55-59	1,94	1,81	1,87	-7,3	1,9
		60-64	2,24	2,17	2,21	-3,0	2,4
		65-69	2,18	2,09	2,13	-4,0	1,4
		70-74	1,94	1,83	1,89	-5,8	0,4
		75-79	2,18	2,21	2,19	1,4	6,8
Masa urządzenia	Wiek	50-54	1,85	1,93	1,89	4,3	3,1
		55-59	1,75	1,97	1,87	11,9	4,5
		60-64	2,09	2,30	2,21	9,8	2,3
		65-69	2,04	2,21	2,13	7,8	0,3
		70-74	1,82	1,94	1,89	6,0	1,4
		75-79	2,24	2,15	2,19	-4,0	11,5
Kat pochylenia uchwytu	Wiek	50-54	1,81	2,10	1,89	15,3	8,0
		55-59	1,81	2,04	1,87	12,5	5,2
		60-64	2,18	2,28	2,21	4,7	2,6
		65-69	2,12	2,19	2,13	3,3	4,0
		70-74	1,85	1,97	1,89	6,1	1,2
		75-79	2,18	2,22	2,19	1,7	5,6
Siła niezbędna do aktywacji RES	Wiek	50-54	1,79	2,05	1,89	13,9	2,9
		55-59	1,77	2,03	1,87	13,6	2,5
		60-64	2,10	2,38	2,21	12,6	1,5
		65-69	2,05	2,27	2,13	10,6	0,4
		70-74	1,81	2,01	1,89	10,9	0,1
		75-79	2,23	2,14	2,19	-3,8	14,8
Występowanie programowalnych RES	Wiek	50-54	1,84	1,92	1,89	4,4	0,7
		55-59	1,74	1,96	1,87	11,9	6,8
		60-64	2,13	2,25	2,21	5,6	0,5
		65-69	2,09	2,16	2,13	3,5	1,6
		70-74	1,84	1,91	1,89	4,0	1,1
		75-79	2,27	2,14	2,19	-5,8	10,9

Chropowatość uchwytu	Wiek	50-54	1,83	2,05	1,89	11,5	1,7
		55-59	1,79	2,10	1,87	17,0	7,1
		60-64	2,17	2,30	2,21	5,8	4,0
		65-69	2,10	2,22	2,13	5,8	4,0
		70-74	1,84	2,01	1,89	9,4	0,4
		75-79	2,11	2,40	2,19	13,0	3,2
Głębokość wyprofilowań obudowy pod palcami	Wiek	50-54	2,05	1,69	1,89	-18,7	1,2
		55-59	2,02	1,69	1,87	-17,8	0,3
		60-64	2,34	2,04	2,21	-13,7	3,8
		65-69	2,29	1,95	2,13	-15,9	1,7
		70-74	2,09	1,63	1,89	-24,8	7,2
		75-79	2,37	1,97	2,19	-18,5	1,0
Wielkość przełożenia układu sterowania	Wiek	50-54	1,79	2,69	1,89	47,3	5,9
		55-59	1,78	2,66	1,87	47,2	5,8
		60-64	2,12	2,90	2,21	35,4	6,0
		65-69	2,05	2,79	2,13	34,7	6,7
		70-74	1,79	2,64	1,89	45,0	3,6
		75-79	2,08	3,13	2,19	48,0	6,6
Forma urządzenia	Wiek	50-54	1,92	1,84	1,89	-4,4	0,7
		55-59	1,96	1,74	1,87	-11,9	6,8
		60-64	2,25	2,13	2,21	-5,6	0,5
		65-69	2,16	2,09	2,13	-3,5	1,6
		70-74	1,91	1,84	1,89	-4,0	1,1
		75-79	2,14	2,27	2,19	5,8	10,9
Tarcie obudowy	Wiek	50-54	1,89	1,89	1,89	0,2	2,2
		55-59	1,86	1,89	1,87	1,7	0,6
		60-64	2,17	2,27	2,21	4,7	2,3
		65-69	2,12	2,16	2,13	2,3	0,1
		70-74	1,87	1,92	1,89	2,6	0,2
		75-79	2,19	2,20	2,19	0,7	1,7
Tarcie RES	Wiek	50-54	1,94	1,71	1,89	-12,4	4,0
		55-59	1,91	1,73	1,87	-9,8	1,4
		60-64	2,23	2,11	2,21	-5,8	2,7
		65-69	2,19	1,96	2,13	-10,8	2,4
		70-74	1,92	1,76	1,89	-8,7	0,3
		75-79	2,19	2,22	2,19	1,3	9,7

Dalsza analiza wskaźników odchyleń (tab. 46) wykazała, że znaczące wartości bezwzględne odchylenia od wyniku uzyskanego przez wszystkie grupy wiekowe notowano najczęściej w najstarszej grupie wiekowej (75-79). W przypadku zmiennej *Długość urządzenia pod palcami* wartość bezwzględna odchylenia od średniego odchylenia dla całej grupy badanej wyniosła 7,9% – najstarsza grupa wiekowa uzyskała znacząco lepsze rezultaty w przypadku urządzeń o mniejszej długości. W przypadku zmiennej *Szerokość urządzenia pod palcami* wartość bezwzględna odchylenia od średniego odchylenia dla całej grupy badanej wyniosła 6,8% – najstarsza grupa wiekowa w przeciwieństwie do pozostałych grup wiekowych uzyskała lepsze rezultaty w przypadku urządzeń o mniejszej szerokości. Analogicznie w przypadku masy urządzenia najstarsza grupa wiekowa wyróżniała się lepszymi wynikami przy większej masie urządzenia – odwrotnie, niż w przypadku pozostałych grup wiekowych (wartość bezwzględna odchylenia od średniego odchylenia wyniosła aż 11,5%). Największe odchylenie w najstarszej grupie wiekowej (wartość bezwzględna 14,8%) zanotowano w przypadku zmiennej *Siła niezbędna do aktywacji RES* – osoby najstarsze w przeciwieństwie do pozostałych grup uzyskały lepszy wynik na urządzeniach charakteryzujących się większą siłą

do aktywacji. Specyfika najstarszej grupy wiekowej zaobserwowana została także w przypadku zmiennych *Występowanie programowalnych RES* (wartość bezwzględna odchylenia 10,9%), *Forma urządzenia* (wartość bezwzględna odchylenia 10,9%) oraz *Tarcie RES* (wartość bezwzględna odchylenia 9,7%). Zaobserwować można prawidłowość, że w przypadku tej grupy decyduje ogólny poziom sprawności powodujący, że grupa ta osiąga lepsze rezultaty przy innych charakterystykach urządzeń, aniżeli pozostałe grupy, które generalnie można traktować jako podobne. Znaczące rezultaty zaobserwowano przede wszystkim w przypadku zmiennej *Wielkość przełożenia układu sterowania,* gdzie wprawdzie we wszystkich grupach wiekowych zanotowano lepszy wynik w przypadku parametru 2, ale już wielkość tego odchylenia była różna – największa w przypadku młodszych i starszych grup wiekowych, mniejsza w przypadku osób w wieku 60-69.

Rezultaty z tabeli 47 wskazują natomiast, że płeć najsilniej oddziałuje na takie cechy RUiES jak *Wielkość przełożenia układu sterowania* (gdzie wartość odchylenia względnego wyniosła 42%), *Forma urządzenia, Głębokość wyprofilowań obudowy pod palcami*, *Długość urządzenia pod dłonią* i *Siła niezbędna do aktywacji RES* (załącznik: folder nr 3.2.; plik nr 3.2.2.). Wnioski te bardzo pokrywają się z wnioskami dotyczącymi oddziaływania preferencji wieku. Natomiast preferencja płci w znaczącym stopniu nie oddziałuje na takie cechy RUiES jak np. *Tarcie obudowy*, *Długość urządzenia pod palcami*, *Występowanie programowalnych RES*. Najniższy wskaźnik odchylenia bezwzględnego uzyskano dla cechy *Tarcie obudowy* (1,4%).

Tab. 47. Rezultaty zależności preferencji płci na cechy RUiES
Źródło: Opracowanie własne (załącznik: folder nr 3.2.; plik nr 3.2.2.)

Zmienna 2	Zmienna 1		Zmienna 2 Charakterystyka cechy 1	Zmienna 2 Charakterystyka cechy 2	Średnia	Odchylenie względne [%]	Wartość bezwzględna odchylenia od wyniku dla zmiennej 2 [%]
Długość urządzenia pod dłonią	Płeć	Kobiety	1,93	2,22	2,08	13,9	0,1
		Mężczyźni	1,83	2,10	1,96	13,7	0,1
Długość urządzenia pod palcami	Płeć	Kobiety	2,02	2,12	2,08	4,6	0,3
		Mężczyźni	1,90	2,01	1,96	5,3	0,4
Szerokość urządzenia pod palcami	Płeć	Kobiety	2,13	2,03	2,08	-5,0	0,4
		Mężczyźni	2,02	1,90	1,96	-5,9	0,6
Masa urządzenia	Płeć	Kobiety	1,99	2,15	2,08	7,9	0,4
		Mężczyźni	1,89	2,02	1,96	6,8	0,6
Kat pochylenia uchwytu	Płeć	Kobiety	2,04	2,19	2,08	7,4	0,1
		Mężczyźni	1,92	2,06	1,96	7,1	0,2
Siła niezbędna do aktywacji RES	Płeć	Kobiety	1,99	2,21	2,08	10,7	0,3
		Mężczyźni	1,87	2,10	1,96	11,5	0,5
Występowanie programowalnych RES	Płeć	Kobiety	2,03	2,11	2,08	3,5	1,6
		Mężczyźni	1,87	2,02	1,96	7,3	2,2
Chropowatość	Płeć	Kobiety	2,02	2,22	2,08	9,3	0,5

uchwytu		Mężczyźni	1,90	2,11	1,96	10,5	0,7
Głębokość wyprofilowań obudowy pod palcami	Płeć	Kobiety	2,23	1,88	2,08	-16,8	0,7
		Mężczyźni	2,12	1,76	1,96	-18,5	0,9
Wielkość przełożenia układu sterowania	Płeć	Kobiety	1,98	2,84	2,08	41,0	0,4
		Mężczyźni	1,87	2,69	1,96	42,0	0,6
Forma urządzenia	Płeć	Kobiety	2,12	1,76	2,08	-17,3	0,8
		Mężczyźni	2,00	1,63	1,96	-19,3	1,1
Tarcie obudowy	Płeć	Kobiety	2,07	2,10	2,08	1,4	1,0
		Mężczyźni	1,93	2,01	1,96	3,8	1,4
Tarcie RES	Płeć	Kobiety	2,12	1,94	2,08	-8,3	0,1
		Mężczyźni	2,00	1,83	1,96	-8,6	0,2

Analiza wskaźników odchyleń (tab. 47) wykazała, że nie istnieje znacząca różnica w wartości bezwzględnej odchylenia od wyników uzyskanych przez kobiety i mężczyzn. Obie grupy preferują te same wielkości parametrów – nie występuje zróżnicowanie ergonomicznie pożądanych wielkości parametrów. Zarówno kobiety, jak i mężczyźni częściej preferują mniejsze, niż większe parametry. Przy czym dla mniejszych parametrów grupy te uzyskują lepszą ergonomiczność dla takich cechy jak np. *Długość urządzenia pod dłonią*, *Masa urządzenia, Kąt pochylenia uchwytu*, *Siła niezbędna do aktywacji*, *Chropowatość uchwytu* i *Wielkość przełożenia uchwytu*. Mężczyźni zawsze uzyskali nieco lepsze rezultaty ergonomiczności w przypadku urządzeń o większych charakterystykach. Analogicznie dla cechy *Długość urządzenia pod dłonią*, *Masa urządzenia* i *Kąt pochylenia uchwytu* to kobiety uzyskują lepsze rezultaty ergonomiczności, niż mężczyźni.

5.3.2. Relacje doświadczenia użytkowego i charakterystyk cech RUiES

Rezultaty badania wykazały, że preferencja doświadczenia najsilniej oddziałują na takie cechy RUiES jak *Wielkość przełożenia układu sterowania* (gdzie wartość odchylenia względnego wyniosła nawet 44,4%), *Głębokość wyprofilowań obudowy pod palcami*, *Forma urządzenia, Długość urządzenia pod dłonią*, *Tarcie RES* i *Siła niezbędna do aktywacji RES* (tab. 48; załącznik: folder nr 3.2.; plik nr 3.2.2.). Natomiast preferencja wieku w znaczącym stopniu nie oddziałuje na cecha *Długość urządzenia pod palcami*, *Tarcie obudowy*, *Masa urządzenia*, *Występowanie programowalnych RES*. Najniższy wskaźnik odchylenia względnego uzyskano dla cechy *Tarcie obudowy* (1,6%).

Tab. 48. Rezultaty zależności preferencji klasy doświadczenia użytkowego na cechy RUiES
Źródło: Opracowanie własne (załącznik: folder nr 3.2.; plik nr 3.2.2.)

Zmienna 2	Zmienna 1		Zmienna 2 Charakterystyka cechy 1	Zmienna 2 Charakterystyka cechy 2	Średnia	Odchylenie względne [%]	Wartość bezwzględna odchylenia od wyniku dla zmiennej 2 [%]
Długość urządzenia pod dłonią	Klasa doświad.	Małe	1,94	2,35	2,14	19,1	5,2
		Średnie	1,90	2,17	2,04	13,2	0,7
		Duże	1,81	2,04	1,92	12,1	1,8

Długość urządzenia pod palcami	Klasa doświad.	Małe	2,09	2,19	2,14	5,0	0,1
		Średnie	1,98	2,08	2,04	4,8	0,1
		Duże	1,87	1,97	1,92	5,2	0,2
Szerokość urządzenia pod palcami	Klasa doświad.	Małe	2,17	2,12	2,14	-2,2	3,2
		Średnie	2,08	1,99	2,04	-4,4	1,0
		Duże	2,03	1,82	1,92	-11,0	5,6
Masa urządzenia	Klasa doświad.	Małe	2,06	2,21	2,14	7,1	0,4
		Średnie	1,95	2,11	2,04	7,7	0,2
		Duże	1,85	1,99	1,92	7,1	0,3
Kat pochylenia uchwytu	Klasa doświad.	Małe	2,13	2,19	2,14	2,9	4,4
		Średnie	2,00	2,13	2,04	6,1	1,2
		Duże	1,85	2,12	1,92	14,4	7,1
Siła niezbędna do aktywacji RES	Klasa doświad.	Małe	2,06	2,27	2,14	9,9	1,1
		Średnie	1,96	2,16	2,04	10,1	0,9
		Duże	1,81	2,10	1,92	14,7	3,7
Występowanie programowalnych RES	Klasa doświad.	Małe	2,11	2,16	2,14	2,3	2,8
		Średnie	1,98	2,07	2,04	4,9	0,2
		Duże	1,83	1,98	1,92	7,9	2,8
Chropowatość uchwytu	Klasa doświad.	Małe	2,10	2,25	2,14	6,8	3,0
		Średnie	1,98	2,18	2,04	9,8	0,0
		Duże	1,86	2,09	1,92	12,0	2,1
Głębokość wyprofilowań obudowy pod palcami	Klasa doświad.	Małe	2,34	1,90	2,14	-20,7	3,2
		Średnie	2,18	1,86	2,04	-15,9	1,6
		Duże	2,10	1,71	1,92	-20,4	2,9
Wielkość przełożenia układu sterowania	Klasa doświad.	Małe	2,05	2,92	2,14	40,4	1,0
		Średnie	1,94	2,77	2,04	40,7	0,7
		Duże	1,83	2,68	1,92	44,4	2,9
Forma urządzenia	Klasa doświad.	Małe	2,19	1,77	2,14	-19,6	1,5
		Średnie	2,08	1,72	2,04	-17,7	0,4
		Duże	1,96	1,61	1,92	-18,4	0,2
Tarcie obudowy	Klasa doświad.	Małe	2,12	2,18	2,14	2,5	0,1
		Średnie	2,02	2,07	2,04	2,6	0,2
		Duże	1,91	1,94	1,92	1,6	0,7
Tarcie RES	Klasa doświad.	Małe	2,22	1,90	2,14	-15,0	6,5
		Średnie	2,06	1,94	2,04	-5,9	2,6
		Duże	1,98	1,75	1,92	-11,9	3,4

Dalsza analiza wskaźników odchyleń (tab. 48) wykazała, że znaczące wartości bezwzględne odchylenia od wyniku uzyskanego przez wszystkie grupy badanych notowano dla osób o najniższej i najwyższej klasie doświadczenia użytkowego. W przypadku zmiennej *Długość urządzenia pod dłonią* i *Tarcie obudowy* wartość bezwzględna odchylenia od średniego odchylenia dla całej grupy badanej wyniosła kolejno 5,2% i 6,5% – grupa o najmniejszym doświadczeniu uzyskała znacząco lepsze rezultaty w przypadku urządzeń o mniejszej długości i mniejszym tarciu. W przypadku zmiennej *Szerokość urządzenia pod palcami* wartość bezwzględna odchylenia od średniego odchylenia dla całej grupy badanej wyniosła 5,6% – grupa o największym doświadczeniu w przeciwieństwie do pozostałych grup uzyskała lepsze rezultaty w przypadku urządzeń o większej szerokości. Przeciwnie w przypadku kąta pochylenia uchwytu grupa z największym doświadczeniem wyróżniała się lepszymi wynikami przy mniejszym kącie pochylenia (wartość bezwzględna odchylenia od średniego odchylenia wyniosła 7,1%). Dla analizowanych zależności nie uzyskano zróżnicowania preferowanych wartości parametrów względem grup doświadczenia. Natomiast zaobserwować można prawidłowość, że w przypadku cechy długość urządzenia pod dłonią o ergonomiczności decyduje

ogólny poziom doświadczenia powodujący, że grupa o najniższym doświadczeniu osiąga lepsze rezultaty, niż osoby o średnim i dużym doświadczeniu (wskaźnik odchylenia względnego kolejno dla grup wynoszący 19,1%, 13,2% i 12,1%) Przy czym wskaźnik odchylenia bezwzględnego pozwala generalnie potraktować grupy o średnim i wysokim doświadczeniu jako podobne. Analogiczne rezultaty występują dla cechy *Szerokość urządzenia pod palcami*, *Kąt pochylenia uchwytu, Siła niezbędna do aktywacji*, *Występowanie programowalnych RES, Chropowatość uchwytu* i *Wielkość przełożenia układu sterowania*. Przy czym dla wymienionych cechy lepsze rezultaty ergonomiczności zaobserwowano dla osób o większym doświadczeniu, niż w przypadku pozostałych grup. Uzyskane rezultaty miały charakter liniowy.

5.3.3. Relacje cech antropometrycznych i charakterystyk cech RUiES

Rezultaty badania wykazały, że opcje preferencji (OP67-91) dotyczące cech antropometrycznych kończyn górnych najsilniej oddziałują na takie cechy RUiES jak (tab. 49; załącznik: folder nr 3.2.; plik nr 3.2.3.):

1. *Wielkość przełożenia układu sterowania* (wartość odchylenia względnego dla OP70 i OP85 wyniosła nawet -55,8%),
2. *Forma urządzenia* (maksymalna wartość odchylenia względnego dla OP71, OP75 i OP88 wyniosła 29,1%),
3. *Głębokość wyprofilowań obudowy pod palcami* (maksymalna wartość odchylenia względnego dla OP74 i OP86 wyniosła 24,8%),
4. *Długość urządzenia pod dłonią* (maksymalna wartość odchylenia względnego dla OP91 wyniosła nawet -20,5%),
5. *Siła niezbędna do aktywacji RES* (maksymalna wartość odchylenia względnego dla OP71, OP75 i OP88 wyniosła nawet 15,8%).

Natomiast opcje preferencji OP67-91 w znaczącym stopniu nie oddziałują na cecha *Długość urządzenia pod palcami, Szerokość urządzenia pod palcami, Kąt pochylenia uchwytu, Tarcie obudowy*, *Masa urządzenia*, *Występowanie programowalnych RES*. Najniższy wskaźnik odchylenia względnego uzyskano przykładowo dla cechy *Występowanie programowalnych RES* i *Tarcie obudowy* (-0,1% w przypadku OP68).

Zgodnie z AKU w ankietowaniu 1 HSE badane osoby mogły wybrać daną opcję preferencji lub ją pominąć – co uwzględniono w podziale opcji preferencji OP67-91 (tab. 49). Opcje preferencji dotyczące cech antropometrycznych scharakteryzowano ze względu na ich znaczenie (siłę) w oddziaływaniu względem cechy RUiES i zróżnicowanie parametrów. Podział wyznaczono na podstawie wartości odchylenia względnego (załącznik: folder nr 3.2.; plik nr 3.2.3.). Podział opcji preferencji we względu na brak danych nie obejmował OP76, OP79 i OP84.

Tab. 49. Rezultaty zależności preferencji cech antropometrycznych na cechy RUiES
Źródło: Opracowanie własne (załącznik: folder nr 3.2.; plik nr 3.2.3.)

Zmienna 2	Wybór/ Pominięcie zmiennej 1	Ocena znaczenia oddziaływania		Ocena kierunku oddziaływania (zróżnicowania)	
		Zmienna 1 (OP67-91)			
		Znacząca	Nieznacząca	Zmienna 2 Charakterystyka cechy 1	Zmienna 2 Charakterystyka cechy 2
Długość urządzenia pod dłonią	Wybór	67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 80, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 90, 91	78, 81, 89,	67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91	
	Pominięcie	67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91		67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91	
Długość urządzenia pod palcami	Wybór	78, 89,	67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 90, 91	68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91	67,
	Pominięcie		67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91	67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91	
Szerokość urządzenia pod palcami	Wybór	67, 71, 75, 88,	68, 69, 70, 72, 73, 74, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 89, 90, 91	78, 89, 91	67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 90,
	Pominięcie		67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91		67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91
Masa urządzenia	Wybór	87,	67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 88, 89, 90, 91	67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 90, 91	78, 89,
	Pominięcie		67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91	67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91	
Kat pochylenia uchwytu	Wybór	70, 71, 75, 85, 88,	67, 68, 69, 72, 73, 74, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 86, 87, 89, 90, 91	67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91	
	Pominięcie		67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91	67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91	

Siła niezbędna do aktywacji RES	Wybór	67, 69, 70, 71, 73, 74, 75, 77, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 90,	68, 72, 78, 89, 91	67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 90, 91	78, 89,
	Pominięcie	67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 78, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91	77,	67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91	
Występowanie programowalnych RES	Wybór	73, 81,	67, 68, 69, 70, 71, 72, 74, 75, 77, 78, 80, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91	68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 90, 91	67, 78, 89,
	Pominięcie		67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91	67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91	
Chropowatość uchwytu	Wybór	68, 70, 78, 81, 82, 85, 89, 90,	67, 69, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 80, 83, 86, 87, 88, 91	67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91	
	Pominięcie	67, 69, 71, 72, 73, 75, 77, 80, 83, 87, 88, 91	68, 70, 74, 78, 81, 82, 85, 86, 89, 90,	67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91	
Głębokość wyprofilowań obudowy pod palcami	Wybór	67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91			67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91
	Pominięcie	67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91			67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91
Wielkość przełożenia układu sterowania	Wybór	67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91		67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91	
	Pominięcie	67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91		67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91	
Forma urządzenia	Wybór	67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 90, 91	78, 89,	78, 89,	67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 90, 91
	Pominięcie	67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91			67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91

Tarcie obudowy	Wybór		67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91	68, 69, 71, 72, 74, 75, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 86, 87, 88, 89, 90, 91	67, 70, 73, 85,
	Pominięcie		67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91	67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91	
Tarcie RES	Wybór	68, 71, 75, 80, 83, 88, 91	67, 69, 70, 72, 73, 74, 77, 78, 81, 82, 85, 86, 87, 89, 90,	78, 89,	67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 90, 91
	Pominięcie	82,	67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 80, 81, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91		67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91

Zestawienie wskaźników odchyleń (tab. 49) wykazało, że znaczące wartości bezwzględne odchylenia od wyniku uzyskanego przez obie grupy użytkowników notowano jedynie dla osób wybierających określoną opcję preferencji. Najwyższy wskaźnik odchylenia bezwzględnego zaobserwowano dla oddziaływania OP78-*Forma urządzenia* i OP78-*Forma urządzenia*, gdzie wyniósł 23,6%. Bardzo duże odchylenie bezwzględne wyników zmiennej 2 dla badanych grup zanotowano również dla zależności takich jak np. OP78-*Siła niezbędna do aktywacji RES* (14,8%), OP70-*Wielkość przełożenia układu sterowania* (14,4%), OP89-*Masa urządzenia* (11,5%), czy OP89-*Występowanie programowalnych RES* (10,9%). Analogicznie dla zależności takich jak np. OP87-*Występowanie programowalnych RES* (0,0%), OP80-*Tarcie obudowy* (0,1%), OP86-*Siła niezbędna do aktywacji RES* (0,1%), czy OP91-*Masa urządzenia* (0,1%) nie zaobserwowano istotnego zróżnicowania wpływu parametrów na ergonomiczność interakcji OS-RUiES.

5.3.4. Relacje dolegliwości kończyn górnych i charakterystyk cech RUiES

Rezultaty badania wykazały, że opcje preferencji (OP35-53) dotyczące dolegliwości kończyn górnych najsilniej oddziałują na takie cechy RUiES jak (tab. 50; załącznik: folder nr 3.2.; plik nr 3.2.4.):

1. *Wielkość przełożenia układu sterowania* (wartość odchylenia względnego dla OP40 wyniosła nawet 43,4%),
2. *Forma urządzenia* (maksymalna wartość odchylenia względnego dla OP42 wyniosła 31,4%),
3. *Głębokość wyprofilowań obudowy pod palcami* (maksymalna wartość odchylenia względnego dla OP39 wyniosła 21,1%),
4. *Długość urządzenia pod dłonią* (maksymalna wartość odchylenia względnego dla OP46 wyniosła nawet 16,2%),
5. *Siła niezbędna do aktywacji RES* (maksymalna wartość odchylenia względnego dla OP46 wyniosła nawet 15,8%).

Natomiast opcje preferencji OP35-53 w znaczącym stopniu nie oddziałują na cecha *Długość urządzenia pod palcami*, *Szerokość urządzenia pod palcami*, *Kąt pochylenia uchwytu*,

Tarcie obudowy, *Masa urządzenia*, *Występowanie programowalnych RES*. Najniższy wskaźnik odchylenia względnego uzyskano przykładowo dla cechy *Występowanie programowalnych RES* i *Tarcie obudowy* (0,0% w przypadku OP38).

W tabeli 50 przedstawiono ogólny podział opcji preferencji (OP35-53) ze względu na ich znaczenie w oddziaływaniu względem cechy RUiES i zróżnicowania parametrów. Podział wyznaczono na podstawie wartości odchylenia względnego.

Tab. 50. Rezultaty zależności preferencji kończyn górnych na cechy RUiES
Źródło: Opracowanie własne (załącznik: folder nr 3.2.; plik nr 3.2.4.)

Zmienna 2	Wybór/ Pominięcie zmiennej 1	Znaczenie oddziaływania zmiennej 1 (OP35-53)		Kierunek oddziaływania zmiennej 1 (OP35-53) (zróżnicowanie)	
		Znacząca	Nieznacząca	Zmienna 2 Charakterystyka cechy 1	Zmienna 2 Charakterystyka cechy 2
Długość urządzenia pod dłonią	Wybór	35, 36, 37, 38, 39, 40, 42, 44, 45, 46, 47	41		35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47
	Pominięcie	35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47			35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47
Długość urządzenia pod palcami	Wybór		35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47	40, 42, 45, 46, 47	35, 36, 37, 38, 39, 41, 44
	Pominięcie		35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47		35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47
Szerokość urządzenia pod palcami	Wybór	45, 47	35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 46,	35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47	
	Pominięcie		35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47	35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47	
Masa urządzenia	Wybór		35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47		35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47
	Pominięcie		35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47		35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47
Kat pochylenia uchwytu	Wybór		35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47		35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47
	Pominięcie		35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47		35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47
Siła niezbędna do aktywacji RES	Wybór	35, 36, 37, 40, 45, 46, 47	38, 39, 41, 42, 44,		35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47
	Pominięcie	35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47			35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47
Występowanie programowalnych	Wybór		35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42,	41, 45, 47	35, 36, 37, 38, 39, 40, 42, 44, 46,

RES			44, 45, 46, 47		
	Pominięcie		35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47		35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47
Chropowatość uchwytu	Wybór	39,	35, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47		35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47
	Pominięcie	35, 36, 37, 40, 41, 45, 46, 47	38, 39, 42, 44,		35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47
Głębokość wyprofilowań obudowy pod palcami	Wybór	35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 44, 45, 46, 47	42,	35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47	
	Pominięcie	35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47		35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47	
Wielkość przełożenia układu sterowania	Wybór	35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47			35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47
	Pominięcie	35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47			35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47
Forma urządzenia	Wybór	35, 36, 37, 38, 39, 40, 42, 44, 45, 46, 47	41,	35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47	
	Pominięcie	35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47		35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47	
Tarcie obudowy	Wybór		35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47	38, 41, 44, 45, 46, 47	35, 36, 37, 39, 40, 42,
	Pominięcie		35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47		35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44,45, 46, 47
Tarcie RES	Wybór	46,	35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 47	35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 44, 45, 46, 47	42,
	Pominięcie	37, 38, 39, 44,	35, 36, 40, 41, 42, 45, 46, 47	35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47	

Dalsza analiza wskaźników odchyleń (tab. 50) wykazała, że znaczące wartości bezwzględne odchylenia od wyniku uzyskanego przez wszystkie grupy użytkowników notowano najczęściej dla osób wybierających określoną opcję preferencji. Najwyższy wskaźnik odchylenia bezwzględnego zaobserwowano dla oddziaływania OP42-*Forma urządzenia*, gdzie wyniósł 13,3%.

W przypadku OP38 i zmiennej *Występowanie programowalnych RES* wartość bezwzględna odchylenia od średniego odchylenia dla całej grupy badanej wyniosła jedynie 5,1%. Natomiast w przypadku wyboru opcji preferencji OP38 nie zauważono żadnej różnicy w uzyskanych wynikach ergonomiczności pomiędzy parametrem 1 i 2. Natomiast nie wybranie

OP38 skutkowało znacząco lepszymi wynikami i preferowało parametr 1. Podobną sytuację zauważono dla zależności OP38-*Tarcie obudowy*. Innym wnioskiem z obserwacji jest brak jakiegokolwiek znaczenia wyboru/pominięcia OP39 względem cechy *Masa urządzenia*. W tym przypadku zauważono, że bez względu na wybór użytkownicy wykonywali czynności sterowania lepiej w przypadku parametru 2 (wartość odchylenia względnego dla wyboru i pominięcia zmiennej 1 wynosiła -7,5%). Pomimo części zależności o małym znaczeniu (poniżej 10% wartości względnej) i przy zróżnicowaniu parametrów, to zauważono znaczne wartości odchylenia bezwzględnego dla takich zależności jak np. OP47-*Długość urządzenia pod palcami* –.Odchylenie bezwzględne równe 9,2% (tab. 50).

5.3.5. Relacje preferencji rozmiaru urządzenia i charakterystyk cech RUiES

Rezultaty badania wykazały, że preferencja dotycząca rozmiaru urządzenia najsilniej oddziałują na takie cechy RUiES jak *Wielkość przełożenia układu sterowania* (gdzie wartość odchylenia względnego wyniosła nawet 39%), *Forma urządzenia*, G*łębokość wyprofilowań obudowy pod palcami*, i *Długość urządzenia pod dłonią* (tab. 51; załącznik: folder nr 3.2.; plik nr 3.2.4.). Natomiast preferencja dotycząca rozmiaru urządzenia w znaczącym stopniu nie oddziałuje na cecha *Tarcie obudowy*, *Szerokość urządzenia pod palcami*, *Długość urządzenia pod palcami*, *Występowanie programowalnych RES, Kąt pochylenia uchwytu i Masa urządzenia*. Najniższy wskaźnik odchylenia względnego uzyskano dla cechy *Szerokość urządzenia pod palcami* (-1,7%). Obie grupy badanych preferują te same wielkości parametrów – nie występuje zróżnicowanie ergonomicznie pożądanych wielkości parametrów.

Analiza wskaźników odchyleń wykazała, że w przypadku preferowanego rozmiaru urządzenia znaczące odchylenie bezwzględne (5,1%) zanotowano jedynie w przypadku zmiennej *Siła niezbędna do aktywacji RES* – osoby preferujące mały rozmiar urządzenia nie notowały tak dużej różnicy w uzyskanych wynikach na urządzeniach charakteryzujących się mniejszą siłą niezbędną do aktywacji RES, jak osoby preferujące duże urządzenia (tab. 51). W przypadku osób preferujących większe urządzenia znacznie lepsze rezultaty notowano na urządzeniach charakteryzujących się dużą siła niezbędną do aktywacji RES.

Tab. 51. Rezultaty zależności preferencji rozmiaru urządzenia na cechy RUiES
Źródło: Opracowanie własne (załącznik: folder nr 3.2.; plik nr 3.2.4.)

Zmienna 2	Zmienna 1		Zmienna 2 Charakterystyka cechy 1	Zmienna 2 Charakterystyka cechy 2	Średnia	Odchylenie względne [%]	Wartość bezwzględna odchylenia od wyniku dla zmiennej 2 [%]
Długość urządzenia pod dłonią	Rozmiar (OP29/OP30)	Duże urządzenie	1,79	2,07	1,93	14,4	0,5
		Małe urządzenie	2,12	2,41	2,27	12,7	1,1
Długość urządzenia pod palcami	Rozmiar (OP29/OP30)	Duże urządzenie	1,88	1,97	1,93	4,6	0,4
		Małe urządzenie	2,20	2,33	2,27	5,7	0,8
Szerokość urządzenia pod palcami	Rozmiar (OP29/OP30)	Duże urządzenie	2,00	1,86	1,93	-7,1	1,7
		Małe urządzenie	2,29	2,25	2,27	-1,7	3,6

Masa urządzenia	Rozmiar (OP29/OP30)	Duże urządzenie	1,84	2,01	1,93	8,6	1,1
		Małe urządzenie	2,20	2,32	2,27	5,1	2,4
Kat pochylenia uchwytu	Rozmiar (OP29/OP30)	Duże urządzenie	1,88	2,06	1,93	9,2	1,9
		Małe urządzenie	2,25	2,32	2,27	3,2	4,1
Siła niezbędna do aktywacji RES	Rozmiar (OP29/OP30)	Duże urządzenie	1,83	2,09	1,93	13,4	2,4
		Małe urządzenie	2,22	2,35	2,27	5,9	5,1
Występowanie programowalnych RES	Rozmiar (OP29/OP30)	Duże urządzenie	1,85	1,98	1,93	6,6	1,5
		Małe urządzenie	2,24	2,29	2,27	1,9	3,2
Chropowatość uchwytu	Rozmiar (OP29/OP30)	Duże urządzenie	1,88	2,07	1,93	10,1	0,3
		Małe urządzenie	2,21	2,42	2,27	9,3	0,5
Głębokość wyprofilowań obudowy pod palcami	Rozmiar (OP29/OP30)	Duże urządzenie	2,09	1,73	1,93	-18,8	1,3
		Małe urządzenie	2,42	2,08	2,27	-14,8	2,7
Wielkość przełożenia układu sterowania	Rozmiar (OP29/OP30)	Duże urządzenie	1,84	2,66	1,93	42,5	1,1
		Małe urządzenie	2,17	3,06	2,27	39,0	2,4
Forma urządzenia	Rozmiar (OP29/OP30)	Duże urządzenie	1,59	1,97	1,93	20,0	1,9
		Małe urządzenie	1,98	2,30	2,27	14,2	4,0
Tarcie obudowy	Rozmiar (OP29/OP30)	Duże urządzenie	1,92	1,96	1,93	2,0	0,4
		Małe urządzenie	2,24	2,31	2,27	3,2	0,8
Tarcie RES	Rozmiar (OP29/OP30)	Duże urządzenie	1,97	1,78	1,93	-10,1	1,6
		Małe urządzenie	2,29	2,18	2,27	-5,0	3,5

Bliski znaczącego wynik (4,1%) uzyskano w przypadku zmiennej *Kąt pochylenia uchwytu* – osoby preferujące małe urządzenia nie notowały tak dużej różnicy w uzyskanych wynikach na urządzeniach charakteryzujących się większym kątem pochylenia uchwytu, jak osoby preferujące duże urządzenia (tab. 51). W przypadku osób preferujących większe urządzenia znacznie lepsze rezultaty notowano na urządzeniach charakteryzujących się większym kątem pochylenia uchwytu.

5.3.6. Relacje preferencji typu technologii interfejsu i charakterystyk cech RUiES

Rezultaty badania wykazały, że preferencja dotyczące typu technologii interfejsu najsilniej oddziałują na takie cechy RUiES jak *Wielkość przełożenia układu sterowania* (gdzie wartość odchylenia względnego wyniosła 41,7%), *Forma urządzenia*, *Głębokość wyprofilowań obudowy pod palcami* i *Długość urządzenia pod dłonią* (tab. 52; załącznik: folder nr 3.2.; plik nr 3.2.4.). Natomiast preferencja dotycząca technologii interfejsu w znaczącym stopniu nie oddziałuje na cecha *Tarcie obudowy*, *Długość urządzenia pod palcami*, *Występowanie programowalnych RES*, *Szerokość urządzenia pod palcami* i *Masa urządzenia*. Najniższy wskaźnik odchylenia względnego uzyskano dla cechy *Tarcie obudowy* (1,3%). Bez względu na preferowaną technologię badane grupy osób starszych preferują te same wielkości parametrów, co oznacza, że albo obie grupy preferują parametr 1 albo 2 określonej cechy RUiES – według kryterium ergonomiczności.

Tab. 52. Zestawienie relacji pomiędzy preferencjami typu technologii interfejsu a charakterystykami cech RUiES
Źródło: Opracowanie własne (załącznik: folder nr 3.2.; plik nr 3.2.4.)

Zmienna 2	Zmienna 1		Zmienna 2 Charakterystyka cechy 1	Zmienna 2 Charakterystyka cechy 2	Średnia	Odchylenie względne [%]	Wartość bezwzględna odchylenia od wyniku dla zmiennej 2 [%]
Długość urządzenia pod dłonią	Typ RUS	Gestykularne	1,93	2,16	2,05	11,1	2,7
		Klasyczne	1,85	2,17	2,01	15,9	2,1
Długość urządzenia pod palcami	Typ RUS	Gestykularne	2,01	2,08	2,05	3,4	1,5
		Klasyczne	1,94	2,07	2,01	6,1	1,1
Szerokość urządzenia pod palcami	Typ RUS	Gestykularne	2,13	1,96	2,05	-8,4	3,0
		Klasyczne	2,04	1,98	2,01	-3,1	2,3
Masa urządzenia	Typ RUS	Gestykularne	1,94	2,13	2,05	9,4	1,9
		Klasyczne	1,95	2,07	2,01	6,0	1,4
Kat pochylenia uchwytu	Typ RUS	Gestykularne	1,99	2,21	2,05	11,0	3,7
		Klasyczne	1,99	2,08	2,01	4,5	2,8
Siła niezbędna do aktywacji RES	Typ RUS	Gestykularne	1,95	2,21	2,05	12,6	1,6
		Klasyczne	1,94	2,13	2,01	9,8	1,2
Występowanie programowalnych RES	Typ RUS	Gestykularne	1,93	2,12	2,05	9,1	4,0
		Klasyczne	1,99	2,03	2,01	2,1	3,0
Chropowatość uchwytu	Typ RUS	Gestykularne	1,98	2,23	2,05	12,5	2,7
		Klasyczne	1,97	2,13	2,01	7,8	2,1
Głębokość wyprofilowań obudowy pod palcami	Typ RUS	Gestykularne	2,17	1,90	2,05	-13,4	4,1
		Klasyczne	2,20	1,78	2,01	-20,6	3,1
Wielkość przełożenia układu sterowania	Typ RUS	Gestykularne	1,95	2,80	2,05	41,1	0,3
		Klasyczne	1,92	2,76	2,01	41,7	0,2
Forma urządzenia	Typ RUS	Gestykularne	1,58	2,11	2,05	25,8	7,7
		Klasyczne	1,79	2,04	2,01	12,3	5,9
Tarcie obudowy	Typ RUS	Gestykularne	2,02	2,10	2,05	3,8	1,4
		Klasyczne	2,00	2,03	2,01	1,3	1,1
Tarcie RES	Typ RUS	Gestykularne	2,08	1,95	2,05	-6,3	2,1
		Klasyczne	2,06	1,85	2,01	-10,1	1,6

Analiza wskaźników odchyleń wykazała, że w przypadku preferowanego rodzaju technologii interfejsu znaczące odchylenie bezwzględne (7,7%) zanotowano jedynie w przypadku zmiennej *Forma urządzenia* – przy czym różnica pomiędzy deklarowanym typem urządzenia nie była znacząca i wynosiła 1,8%. Niemniej osoby, które wskazały interfejs gestykularny osiągały lepsze rezultaty ergonomiczności, niż osoby wskazujące interfejsy klasyczne. Dla cechy *Forma urządzenia* obie grupy preferują mniejsze parametry. Zresztą tylko dla cechy *Szerokość urządzenia pod palcami*, *Głębokość wyprofilowań obudowy pod palcami* i *Tarcie RES* badani preferują większe parametry.

Bliski znaczącego wynik (4,1% i 4,0% odchylenia bezwzględnego) uzyskano kolejno w przypadku zmiennej *Głębokość wyprofilowań pod palcami* i *Występowanie programowalnych RES* (tab. 52).

5.3.7. Relacje preferencji rodzaju komputera i charakterystyk cech RUiES

Rezultaty badania wykazały, że preferencja dotycząca rodzaju komputera najsilniej oddziałuje na takie cechy RUiES jak *Wielkość przełożenia układu sterowania* (gdzie wartość odchylenia względnego wyniosła 44,4%), *Forma urządzenia* i *Głębokość wyprofilowań obudowy pod palcami* (tab. 53; załącznik: folder nr 3.2.; plik nr 3.2.5.). Natomiast preferencja wieku w znaczącym stopniu nie oddziałuje na cecha *Tarcie obudowy*, *Długość urządzenia pod palcami* i *Występowanie programowalnych RES*. Najniższy wskaźnik odchylenia względnego uzyskano dla cechy *Tarcie obudowy* (2,1%). Bez względu na preferowany rodzaj komputera badane grupy osób starszych preferują te same wielkości parametrów. Przy czym tylko dla cechy *Szerokość urządzenia pod palcami*, *Głębokość wyprofilowań obudowy pod palcami* i *Tarcie RES* badani preferują większe parametry.

Tab. 53. Rezultaty zależności preferencji rodzaju komputera na cechy RUiES
Źródło: Opracowanie własne (załącznik: folder nr 3.2.; plik nr 3.2.5.)

Zmienna 2	Zmienna 1		Zmienna 2 Charakterystyka cechy 1	Zmienna 2 Charakterystyka cechy 2	Średnia	Odchylenie względne [%]	Wartość bezwzględna odchylenia od wyniku dla zmiennej 2 [%]
Długość urządzenia pod dłonią	Rodzaj komputera	Mobilny	1,92	2,04	1,98	6,4	7,4
		Przenośny	1,90	2,23	2,07	16,3	2,5
		Stacjonarny	1,87	2,14	2,01	13,7	0,1
Długość urządzenia pod palcami	Rodzaj komputera	Mobilny	1,95	2,00	1,98	2,4	2,5
		Przenośny	2,01	2,11	2,07	5,0	0,1
		Stacjonarny	1,94	2,06	2,01	5,6	0,7
Szerokość urządzenia pod palcami	Rodzaj komputera	Mobilny	2,12	1,84	1,98	-14,1	8,8
		Przenośny	2,10	2,03	2,07	-3,5	1,8
		Stacjonarny	2,05	1,96	2,01	-4,4	1,0
Masa urządzenia	Rodzaj komputera	Mobilny	1,90	2,04	1,98	7,2	0,3
		Przenośny	1,95	2,16	2,07	10,1	2,6
		Stacjonarny	1,95	2,05	2,01	4,9	2,6
Kat pochylenia uchwytu	Rodzaj komputera	Mobilny	1,89	2,20	1,98	15,6	8,3
		Przenośny	2,03	2,16	2,07	6,1	1,2
		Stacjonarny	1,97	2,09	2,01	5,8	1,5
Siła niezbędna do aktywacji RES	Rodzaj komputera	Mobilny	1,86	2,17	1,98	15,6	4,5
		Przenośny	1,97	2,22	2,07	12,0	1,0
		Stacjonarny	1,94	2,11	2,01	8,5	2,5
Występowanie programowalnych RES	Rodzaj komputera	Mobilny	1,86	2,06	1,98	9,9	4,8
		Przenośny	2,00	2,11	2,07	5,3	0,2
		Stacjonarny	1,97	2,03	2,01	3,3	1,8
Chropowatość uchwytu	Rodzaj komputera	Mobilny	1,92	2,14	1,98	11,1	1,3
		Przenośny	2,01	2,21	2,07	10,0	0,2
		Stacjonarny	1,96	2,14	2,01	9,2	0,7
Głębokość	Rodzaj	Mobilny	2,14	1,78	1,98	-17,9	0,3

wyprofilowań obudowy pod palcami	komputera	Przenośny	2,23	1,86	2,07	-18,3	0,8
		Stacjonarny	2,16	1,82	2,01	-16,6	0,9
Wielkość przełożenia układu sterowania	Rodzaj komputera	Mobilny	1,90	2,65	1,98	38,2	3,3
		Przenośny	1,97	2,85	2,07	42,6	1,2
		Stacjonarny	1,91	2,74	2,01	41,3	0,1
Forma urządzenia	Rodzaj komputera	Mobilny	1,56	2,03	1,98	23,8	5,7
		Przenośny	1,69	2,11	2,07	20,6	2,5
		Stacjonarny	1,76	2,04	2,01	13,7	4,4
Tarcie obudowy	Rodzaj komputera	Mobilny	1,95	2,03	1,98	3,9	1,5
		Przenośny	2,05	2,09	2,07	2,2	0,2
		Stacjonarny	1,99	2,03	2,01	2,1	0,3
Tarcie RES	Rodzaj komputera	Mobilny	2,02	1,83	1,98	-10,0	1,5
		Przenośny	2,11	1,91	2,07	-9,9	1,4
		Stacjonarny	2,04	1,91	2,01	-6,5	1,9

Dalsza analiza wskaźników odchyleń (tab. 53) wykazała, że znaczące wartości bezwzględne odchylenia od wyniku uzyskanego przez wszystkie grupy badanych notowano dla badanych preferujących urządzenia mobilne. Przy czym największe odchylenia dla bezwzględne dla użytkowników wskazujących urządzenia mobilne uzyskano kolejno dla cechy *Szerokość urządzenia pod palcami* (8,8%), *Kąt pochylenia uchwytu* (8,3%), *Długość urządzenia pod dłonią* (7,4%) i *Forma urządzenia* (5,7%). Niemniej dla cechy *Forma urządzenia* uzyskano również znaczący wskaźnik odchylenia bezwzględnego dla preferencji dotyczącej urządzeń stacjonarnych, co rozmywa w tym przypadku jednoznaczność wniosków. Również bliski znaczącego wynik (4,8% i 4,1% odchylenia bezwzględnego) uzyskano kolejno w przypadku zmiennej *Występowanie programowalnych RES* i *Siły niezbędnej do aktywacji RES* (tab. 53). Natomiast odmienne rezultaty uzyskano jedynie dla cechy *Masa urządzenia* i *Głębokość wyprofilowań obudowy pod palcami*, gdzie zaobserwowano większe odchylenie bezwzględne dla użytkowników preferujących urządzenia stacjonarne.

Podsumowanie i kierunki dalszych badań

Cel pracy został osiągnięty. Metoda kształtowania ergonomiczności interakcji OS-RUiES przyjęła postać hybrydowego systemu ekspertowego. Osiągnięcie celu głównego potwierdza realizacja celów szczegółowych rozprawy (tab. 1) i uzyskanie odpowiedzi na pytania badawcze (PB1-PB4). W realizacji celu głównego wybrano i przeanalizowano wybrane źródła danych, które przedstawiono w rozdziałach rozprawy. Zaproponowana metoda stanowi rezultat aktualnego stanu wiedzy w zakresie doboru i projektowania RUiES, preferencji osób starszych, charakterystyk cech RUiES oraz budowy hybrydowych systemów ekspertowych.

Opracowana metoda umożliwia zastosowanie w:

1. poprawie ergonomiczności interakcji OS-RUiES poprzez dobór typów RUiES i kształtowanie ich charakterystyk cech,
2. ustawicznym pozyskiwania danych projektowych,
3. rozwijaniu metod ekspertowych do doboru charakterystyk cech RUiES i kształtowaniu ergonomiczności interakcji OS-RUiES,
4. wspomaganiu procesów projektowania i zarządzania jakością wyrobów oraz budowania przewag konkurencyjnych przedsiębiorstw,
5. aktywizacji osób starszych w życiu społecznym i zawodowym.

Dalsze kierunki badań w zakresie kształtowania ergonomiczności interakcji OS-RUiES przy zastosowaniu metod i technik sztucznej inteligencji obejmują.

1. określenie siły relacji pomiędzy zmiennymi preferencyjnymi i charakterystykami cech RUiES, których nie sprawdzono w pracy (w tym nieuwzględnionych tj. preferencje wynikające z zdolności kognitywno-motorycznych), a które należy uwzględnić w dalszym tworzeniu powiązań FCM,
2. rozwijanie skuteczności wnioskowania z zastosowaniem podejścia DD-NHL, PSO i aktywatorów FCM,
3. badania skuteczności wnioskowania przy innych danych wejściowych tj. preferencje osób starszych, charakterystyka cech RUiES, czy poziom oceny ergonomiczności interakcji OS-RUiES,
4. badania porównawcze oceniające skuteczność wnioskowania innych podejść uczenia nadzorowanego i nienadzorowanego, jak np. Nonlinear Hebbian learning (Brito i Gerstner 2016), Divide and Conquer for genetic learning (Stach, Kurgan i Pedrycz 2010),Tabu serach (Alizadeh, Ghazanfari i Fathian 2008), Game-based learing model (Luo, Wei i Zhang 2009), czy Extended Great Deluge Algorithm (Baykasoglu, Durmusoglu i Kaplanoglu 2011), czy NHL-RCGAs (Zhu, Zhang 2008),
5. badania porównawcze różnych grup użytkowników tj. osoby młode, czy niepełnosprawne – badania skupiające się na ocenie skuteczności wnioskowania dla szerszej grupy odbiorców,
6. przeprowadzenie badań z zakresu wprowadzania danych tekstowych i numerycznych przy zastosowaniu Testu 2 HSE.

. Zwieńczeniem dalszych badań będzie opracowanie inteligentnego systemu ekspertowego automatycznie określającego węzły i wyniki wnioskowania na podstawie dowolnych rzeczywistych danych wejściowych uwzględniając preferencje OS i charakterystyki cech RUiES.

Bibliografia

Agrawal, R., Imieliński, T., & Swami, A. (1993, June). Mining association rules between sets of items in large databases. In Acm sigmod record (Vol. 22, No. 2, pp. 207-216). ACM.

Aguilar, J. (2005). A survey about fuzzy cognitive maps papers. International journal of computational cogni-tion, 3(2), 27-33.

Alizadeh, S., Ghazanfari, M., & Fathian, M. (2008). Using data mining for learning and clustering FCM. International journal of computational intelligence, 4(2), 118-125.

Alizadeh, S., Ghazanfari, M., Jafari, M., & Hooshmand, S. (2007). Learning FCM by tabu search. International Journal of Computer Science, 2(2), 142-149.

Andrzejewska, S., Kamyszek, K., & Merkisz-Guranowska, A. (2014). Wielokryterialne wspomaganie wyboru środka transportu. Logistyka, (3), 68-77.

Armbrüster, C., Sutter, C., & Ziefle, M. (2007). Notebook input devices put to the age test: the usability of trackpoint and touchpad for middle-aged adults. Ergonomics, 50(3), 426-445.

Asano, Y., Saito, H., Sato, H., Wang, L., Gao, Q., & Rau, P. L. P. (2007, July). Tips for designing mobile phone web pages for the elderly. In International Conference on Human-Computer Interaction (pp. 675-680). Springer, Berlin, Heidelberg.

Aziz, A., & Nassar, L. (2011). Enhancement of information retrieval ranking using fuzzy logic (Doctoral dissertation, The British University in Dubai (BUiD)).

Baltes, P. B., & Baltes, M. M. (1990). Psychological perspectives on successful aging: The model of selective optimization with compensation. In P. B. Baltes & M. M. Baltes (Eds.), Successful Aging: Perspectives from the Behavioral Sciences (pp. 1-34).

Barczak, S. (2013). Zastosowanie teorii szarych systemów do przewidywania przyszłych ofert składanych na aukcjach pierwszej ceny poprzez pryzmat modelu szarego GM (1, 1). Studia Ekonomiczne, 146, 7-18.

Baykasoglu, A., Durmusoglu, Z. D., & Kaplanoglu, V. (2011). Training fuzzy cognitive maps via extended great deluge algorithm with applications. Computers in Industry, 62(2), 187-195.

Behance.net: https://www.behance.net/gallery/62192013/Touch-Gesture-Reference-Guide-for-Adobe-XD, 13.09.2018.

Berkley G.C., Chilton E.G. (1974). Design: serving the needs of man. Macmillan.

Białko M. (2000). Podstawowe właściwości sieci neuronowych i hybrydowych systemow ekspertowych, Wy-dawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin, s. 255.

Bishop, C. M. (1995). Neural networks for pattern recognition. Oxford university press.

Blackler, A. L., & Hurtienne, J. (2007). Towards a unified view of intuitive interaction: definitions, models and tools across the world. MMI-interaktiv, 13(2007), 36-54.

Blackler, A., Popovic, V., & Mahar, D. (2002). Intuitive use of products. In D. Durling & J. Shackleton (Eds.), Proceedings of the Design Research Society International Conference 2002 (pp. 120-134). London: Trentham Books.

Blackler, A., Popovic, V., & Mahar, D. (2005). Intuitive interaction applied to interface design. In Proceedings of the International Design Congress - IASDR '05, Douliou, Taiwan.

Borisow, W. W., Krugłow, W. W., & Fiedułow, A. C. (2007). Rozmyte modele i sieci, Moskwa, Wyd.

Bożek, A. (2006). Prognozowanie kondycji ekonomiczno-finansowej przedsiębiorstw z wykorzystaniem drzew decyzyjnych. Barometr Regionalny, (2 (6)), 76-81.

Branowski B., Zabłocki M. (2006). Kreacja i kontaminacja zasad projektowania i zasad konstrukcji w projek-towaniu dla osób niepełnosprawnych, [w]: Ergonomia produktu. Ergonomiczne zasady projektowania produk-tów, (red.) Jan Jabłoński, Poznań.

Brito, C. S., & Gerstner, W. (2016). Nonlinear Hebbian learning as a unifying principle in receptive field formation. PLoS computational biology, 12(9), e1005070.

Budziński, R., & Krakowiak, M. (1732). Modelowanie zapytań i bazy reguł w regułowym języku zapytań z wykorzystaniem logiki rozmytej. W: Studia i Materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą, (13), 5-15.

Burkhard, M., & Koch, M. (2012). Evaluating touchscreen interfaces of tablet computers for elderly people. Mensch & Computer 2012–Workshopband: interaktiv informiert–allgegenwärtig und allumfassend!?.

Butlewski M. (2018). Projektowanie ergonomiczne wobec dynamiki deficytu zasobów ludzkich, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2018, s. 119..

Butlewski M. Tytyk E., Miedziarek S., Wróbel K. (2014). Heuristics in Ergonomic design of portale control devices for The elderly, Stephanidis C., Antona M. (Eds.), UAHCI/HCII 2014, Part III. LNCS 8515. Pp. 24-33, Springer International Publishing.

Butlewski M., Tytyk E. (2008). The method of matching ergonomic non-powered hand tools to maintenance tasks for the handicapped. 2-nd International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics, Las Vegas, Nevada, USA.

Butlewski M., Wróbel K. (2014), Zastosowanie metod Virtual Plant do projektowania dla osób z niepełno-sprawnościami i starszych, Francik A., Lis M., Marcova V. (red.), Innowacje i przedsiębiorczość. Teoria i prak-tyka, Wyższa Szkoła Biznesu w Dąbrowie Gór.

Card S., Moran T., Newell A. (1983). The Psychology of Human-Computer Interaction, Lawrence Erlbaum Associates Inc., Hillsdale.

Carey, A. C., Friedman, M. G., & Bryen, D. N. (2005). Use of electronic technologies by people with intellectual disabilities. Mental retardation, 43(5), 322-333.

Chaparro, A., Bohan, M., Fernandez, J., Kattel, B., & Choi, S. D. (1999). Is the trackball a better input device for the older computer user?. Journal of Occupational Rehabilitation, 9(1), 33-43.

Charfi, S., & Ezzedine, H. (2011, March). Proposal of an automatic tool for Guidelines validation to aid for interactive systems ergonomic quality assessment. In Communications, Computing and Control Applications (CCCA), 2011 International Conference on (.

Cichosz P. (2000): Systemy uczące się. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa.

Clerc, M., & Kennedy, J. (2002). The particle swarm-explosion, stability, and convergence in a multidimensional complex space. IEEE transactions on Evolutionary Computation, 6(1), 58-73.

Comaish. S. & Botoms, E. (1971). The skin and friction: Deviations from Amonton's laws and the effects of hydration and lubrication. British Journal of Dermatology, 8, 37-43.

Czaja, S. J., & Lee, C. C. (2007 A). The potential influence of the internet on the transition to older adulthood. New dynamics in old age, 239-252.

Czaja, S. J., & Lee, C. C. (2007 B). The impact of aging on access to technology. Universal Access in the Infor-mation Society, 5(4), 341-349.

Czaja, S. J., & Sharit, J. (1998). Age differences in attitudes toward computers. The Journals of Gerontology, 53B (5), 329–340.

Czaja, S. J., Guerrier, J. H., Nair, S. N., & Landauer, T. (1993). Computer communication as an aid to inde-pendence for older adults. Behavior and Information Technology, 12, 197–207.

Czapczuk, A., Dawidowicz, J., & Piekarski, J. (2015). Metody sztucznej inteligencji w projektowaniu i eks-ploatacji systemów zaopatrzenia w wodę. Rocznik Ochrona Środowiska, 17(2), 1527-1544.

Czapiński, J., & Panek, T. (2009). Diagnoza społeczna 2009. Warunki i jakość życia Polaków, 2.

Dickerson, J. A., & Kosko, B. (1994). Virtual worlds as fuzzy cognitive maps. Presence: Teleoperators & Virtual Environments, 3(2), 173-189.

Dictionary.com: http://dictionary.reference.com/browse/actuator, (dostęp: 01.09.2014).

Dictionary.org: https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english-polish/hardware, 17.10.2018.

Dix A., Finlay J., Abowd G.D., Beale R. (2004), Human-Computer Interaction, 3rd edition, Harlow: Pearson Education.

Dominik, K. T. (2017). G-Pack application supporting courier service (Doctoral dissertation, Instytut Tele-komunikacji).

Donigiewicz, A. M. (2014). Wielokierunkowy test wskazywania: norma ISO 9241-9: przegląd badań. Przegląd Teleinformatyczny, 2, 33-65.

Donigiewicz, A. M. (2017). Badanie czasu wskazywania obiektu przez użytkownika testem wielokierunkowym. Cz. 2, Wyniki z lat 2015-2016. Przegląd Teleinformatyczny, 5.

Dorigo, M. (2004). & Stutzle,. T., 2004. Ant Colony Optimization. Bradford Company, Scituate, MA, USA.

Duch W., Fascynujący świat komputerów, Wydawnictwo Nakom, Poznań 1997.

Duch, W. (2005). Dokąd zmierza inteligencja obliczeniowa.

Duda K. (2013). Budowa i skład ciała człowieka w aspekcie starzenia, [w] Marchewka A., dąbrowski Z., Żołądź J.A. (2013). Fizjologia starzenia się: profilaktyka i rehabilitacja. Wydawnictwo PWN, Warszawa.

Dudziak, A., Zając, G., Słowik, T., & Szyszlak-Bargłowicz, J. (2014). Masowa kastomizacja–odpowiedź na potrzeby rynku. Logistyka, (6).

Dźwiarek M. (2004), An analysis of Accident Caused by Improper Functioning of Machine Control Systems, International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, no. 2.

Dźwiarek M. (2012), Bezpieczeństwo funkcjonalne systemów sterowania maszynami, Centralny Instytut Ochrony Pracy.

Eberhard, R. C., Kennedy, J., & Shi, Y. (2001). Swarm intelligence.

Eberhart, R. C., Shi, Y., & Kennedy, J. (2001). Swarm Intelligence (Morgan Kaufmann series in evolutionary computation). Morgan Kaufmann Publishers.

EIZO.pl: https://www.eizo.pl/baza-wiedzy/jak-ekrany-rozpoznaja-dotyk/, 25.09.2018.

Epps, B.W. (1986). Comparison of six cursor control devices based on Fitts' law models. In: Proceedings of the 30th annual meeting of the human factors society, Dayton, Ohio. Santa Monica, CA: Human Factors & Er-gonomics Society, 327–313.

Fayyad, U., Piatetsky-Shapiro, G., & Smyth, P. (1996). From data mining to knowledge discovery in databases. AI magazine, 17(3), 37.

Fisk, A. D., Czaja, S. J., Rogers, W. A., Charness, N., & Sharit, J. (2018). Designing for older adults: Principles and creative human factors approaches. CRC press.

Flick U. (2010): Projektowanie badania jakościowego, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

Froelich, W., & Juszczuk, P. (2009). Predictive capabilities of adaptive and evolutionary fuzzy cognitive maps-a comparative study. In Intelligent systems for knowledge management (pp. 153-174). Springer, Berlin, Heidelberg.

Froelich, W., & Juszczuk, P. (2009). Predictive capabilities of adaptive and evolutionary fuzzy cognitive maps-a comparative study. In Intelligent systems for knowledge management (pp. 153-174). Springer, Berlin, Heidelberg.

Fu, L., & Schmidt, K. (2001). Usability Evaluation [w:] W. Karwowski (red.). International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors, 1187-1190.

Gałuszka, D. (2017). Unifikacja człowieka z maszyną: omówienie rozwoju wybranych interfejsów użytkowni-ka. Kultura i Historia, (31).

Gasparski, W., & Naukowo-Techniczne, W. (Eds.). (1988). Projektoznawstwo: Elementy wiedzy o projekto-waniu. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.

Gatnar, E. (2001). Nieparametryczna metoda dyskryminacji i regresji, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa.

Gąbka, M., & Pełechaty, M. (2006). Zagadnienia klasyfikacji taksonomicznej i syntaksonomii ramienic (Cha-raceae) i ich zbiorowisk. Ekologia i Technika, 14(3), 87-92.

Github.com: https://github.com/anvesh2502/Fuzzy-Cognitive-Maps-Package, 27.05.2019.

GitHub.com: https://github.com/kharyam/SensorVisualizer, 15.05.2019.

Github.com: https://github.com/megadix/jfcm, 02.04.2019.

Glover, F. (1997). Tabu search and adaptive memory programming—advances, applications and challenges. In Interfaces in computer science and operations research (pp. 1-75). Springer, Boston, MA.

Głowacz, W. (2010). Automatyczny system dialogowy oparty na klasyfikatorze rozmytym i automacie skoń-czonym w bezpieczeństwie pracy. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, 48(1), 42-45.

Goldberg, D. E. (1998). Algorytmy genetyczne i ich zastosowania. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.

Goldsmith S. (2000). Universal design - A Manual of Practical Guidance for Architects, Architectural Press, Oxford-Auckland-Boston, ISBN 0 7506 4785X.

Grobelny J., Karwowski W., Drury C. (2005) Usability of Graphical Icons in the Design of Human-Computer Interfaces, International Journal of Human-Computer Interaction, 18:2, 167-182, DOI: 10.1207/s15327590ijhc1802_3.

Guccione A. A., Wong R. A., Avers D. (2014). Fizjoterapia kliniczna w geriatrii, wyd. 1, Elsevier Mosby, Wrocław.

Hand, D. J., Mannila, H., & Smyth, P. (2005). Eksploracja danych. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.

Harvey C., Stanton N. , Pickering C., McDonald M., Zheng P. (2011) To twist or poke? A method for identifying usability issues with the rotary controller and touch screen for control of in-vehicle information systems, Ergonomics, 54:7, 609-625.

Heroku.com: https://www.heroku.com/, 15.05.2019.

Hertzum, M., & Hornbæk, K. (2013). The effect of target precuing on pointing with mouse and touchpad. International Journal of Human-Computer Interaction, 29(5), 338-350.

Hom, J. (1998). The usability methods toolbox.

Home.agh.edu.pl: http://home.agh.edu.pl/~pautom/pliki/wyklady/przykladowe/09.pdf, 28.05.2019.

Horst W., Horst N. (2011), Ergonomia z elementami bezpieczeństwa i ochrony zdrowia w pracy. Wprowadzenie, Wyd. PP, Poznań.

http://jfcm.megadix.it/documentation/1-gettingstarted/, 31.06.2019.

http://jfcm.megadix.it/documentation/activation-functions/, 24.05.2019.

https://prezi.com/p/lnj3kcb5ei45/klasa-i-f-urzadzenia-wejscia-wyjscia/, 31.01.2019.

Huerga, A. V. (2002, June). A balanced differential learning algorithm in fuzzy cognitive maps. In Proceedings of the 16th International Workshop on Qualitative Reasoning (Vol. 2002).

Hurtienne, J., & Blessing, L. (2007). Design for intuitive use - Testing image schema theory for user interface design. In J.-C. Bocquet (Ed.), Proceedings of ICED '07 [CD-ROM] (pp. 1-12). Paris: Ecole Centrale.

Ignac-Nowicka J., Gembalska-Kwiecień A. (2014). Niezawodność człowieka i niezawodność techniczna w procesie pracy układu człowiek-maszyna. Inżynieria systemów technicznych, s. 65.

Inżynieria Wiedzy.pl: http://www.inzynieriawiedzy.pl/reprezentacja-wiedzy/sieci-semantyczne, 21.02.2019.

ISO 9241-210:2010, Ergonomics of human-system interaction – Part 210: Human-centred design for interac-tive systems.

Jarosz, E. (2003). Dane antropometryczne populacji osób dorosłych wybranych krajów Unii Europejskiej i Polski dla potrzeb projektowania. Instytut Wzornictwa Przemysłowego.

Jasiak A. Swereda D. (2009). Ergonomia osób niepełnosprawnych, ISBN: 978-83-7143-827-1.

Jastriebow, A., Gad, S., & Słoń, G. (2011). Mapy kognitywne w monitorowaniu decyzyjnym systemów. Studia i Materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą, 47, 64-77.

Jastrzębska, W., & Jastrzębska, A. (2010). Metody sztucznej inteligencji w rozwiązywaniu problemów mikro-i makroekonomicznych. Nierówności Społeczne a Wzrost Gospodarczy, (17), 172-183.

Javacodegeeks.com: https://examples.javacodegeeks.com/core-java/java-swing-mvc-example/, 15.05.2019.

JFCM.com: http://jfcm.megadix.it/documentation/activation-functions/, 27.05.2019.

Jia Zhou, Pei-Luen Patrick Rau & Gavriel Salvendy (2012) Use and Design of Handheld Computers for Older Adults: A Review and Appraisal, International Journal of Human-Computer Interaction.

Jourabloo, A. (2011). Genetic-PSO Fuzzy Data Mining With Divide and Conquer Strategy. In Proceedings on the International Conference on Artificial Intelligence (ICAI) (p. 1). The Steering Committee of The World Congress in Computer Science.

JoyToKey.com: https://joytokey.net/en/, 16.05.2019.

Juliszewski, T. (2011). Ekspertyza. Kierunki prac badawczych i najnowsze trendy w ergonomii w odniesieniu do techniki rolniczej. Uniwersytet rolniczy w Krakowie, Kraków.

Juliszewski, T., Kiełbasa, P., & Trzyniec, K. (2012). Procedury obsługi urządzeń sygnalizacyjnych i sterowniczych wybranych maszyn rolniczych. Inżynieria Rolnicza, 16, 109-122.

Kang, N. E., & Yoon, W. C. (2008). Age- and experience-related user behav-ior differences in the use of complicated electronic devices. International Journal of Human–Computer Studies,66, 425–437.

Kania, M., & Ferdynus, M. (2011). Wirtualny projekt przekładni głównej śmigłowca z wykorzystaniem modeli autogenerujacych. Postępy Nauki i Techniki, 141-148.

Kim J. W., Park J., Jung W. (2005), A systematic approach to analyzing errors of commission from diagnosis failure in accident progression. Reliability Engineering & System Safety, 89(2).

Kim, H., Heo, J., Shim, J., Kim, M., Park, S., & Park, S. (2007, July). Contextual research on elderly users' needs for developing universal design mobile phone. In International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction (pp. 950-959).

Kisielewicz, A. (2011). Sztuczna inteligencja i logika. Podsumowanie przedsięwzięcia naukowego, WNT, Warszawa.

Klavaro.pl: http://klavaro.sourceforge.net/pl/index.html, 16.10.2018.

Kolman, R. (2009). Kwalitologia: wiedza o różnych dziedzinach jakości. Wydawnictwo Placet.

Koło Naukowe HCIa – Human-Computer Interaction; Polsko-Japońska Wyższa Szkoła Technik KOmputero-wych: http://hci.pjwstk.edu.pl/index.php?page=uzytecznosc-w-firmie, 16.10.2018.

Koło Naukowe HCIb – Human-Computer Interaction; Polsko-Japońska Wyższa Szkoła Technik KOmputero-wych: http://hci.pjwstk.edu.pl/index.php?page=analiza-kontekstu-uzytkowania, 07.01.2017.

Komputer świat.pl: https://www.komputerswiat.pl/artykuly/redakcyjne/poznaj-najlepsze-programy-do-nauki-szybkiego-pisania/9pznld4, 15.05.2019.

Konar, A., & Chakraborty, U. K. (2005). Reasoning and unsupervised learning in a fuzzy cognitive map. Information Sciences, 170(2-4), 419-441.

Konopczyńska A., Tytyk E. (2011). Ergonomia I jakość urządzeń sygnalizacyjnych i sterowniczych a zdrowie ich użytkowników, Tytyk E. (red.), Inżynieria ergonomiczna. Praktyka, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań.

Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. International journal of man-machine studies, 24(1), 65-75.

Koulouriotis, D. E., Diakoulakis, I. E., & Emiris, D. M. (2001). Learning fuzzy cognitive maps using evolution strategies: a novel schema for modeling and simulating high-level behavior. In Proceedings of the 2001 Congress on Evolutionary Computation.

Kurniawan, S. (2008). Older people and mobile phones: A multi-method investigation. International Journal of Human-Computer Studies, 66(12), 889-901.

Kusz, A., & Marciniak, A. W. (2006). Dynamiczne sieci probabilistyczne jako system reprezentacji wiedzy. Inżynieria Rolnicza, 10, 285-294.

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.

Langdon, P., Lewis, T., & Clarkson, J. (2007). The effects of prior experience on the use of consumer products. Universal Access in the Information Society, 6(2), 179-191.

Leszek, R. (2012). Metody i techniki sztucznej inteligencji. Warszawa. Polskie Wydawnictwo Naukowe.

Lewandowski, J. (1995). Ergonomia-materiały do ćwiczeń i projektowanie. Wydawnictwo naukowe „Marcus" sc, Łódź.

Lin, C. J., Hsieh, T. L., & Shiang, W. J. (2009, July). Exploring the interface design of mobile phone for the elderly. In International Conference on Human Centered Design (pp. 476-481). Springer, Berlin, Heidelberg.

Lin, C., Chen, K., & He, Y. (2007). Learning fuzzy cognitive map based on immune algorithm. WSEAS Tran-sactions on Systems, 6(3), 582-588.

Lin, M. Y., Young, J. G., & Dennerlein, J. T. (2015). Evaluating the effect of four different pointing device designs on upper extremity posture and muscle activity during mousing tasks. Applied ergonomics, 47, 259-264.

Luo, X., Wei, X., & Zhang, J. (2009, October). Game-based learning model using fuzzy cognitive map. In Proceedings of the first ACM international workshop on Multimedia technologies for distance learning (pp. 67-76). ACM.

Łapczyński, M. (2003). Drzewa klasyfikacyjne w badaniach satysfakcji i lojalności klientów. StatSoft Polska, 93-102.

Łuczak, M., Małys, Ł., Jedlińska, M., Senkus, P., Skrzypek, A., Przybylski, R., ... & Mroczek-Dąbrowska, K. (2016). Współczesne koncepcje i trendy w branży motoryzacyjnej. Advertiva.

Magiera, M. (2007). Modele i metody statystyki matematycznej, część II, wnioskowanie statystyczne.

Maguire, M. (2001a). Context of use within usability activities.

Maguire, M. (2001b). Methods to support human-centred design. International journal of human-computer studies, 55(4), 587-634.

Maguire, M. (2001c). Context of use within usability activities. International Journal of Human Computer Studies, 55, pp. 453-483.

mail.pk.edu.pl: https://mail.pk.edu.pl/~bmrozek/dydaktyka/LabFL2_ModelMamdani.pdf, 09.05.2019.

Malina, W., & Szwoch, M. (2017). Podstawy projektowania interfejsów użytkownika (pp. 1-144). Helion.

Marchewka A. (2013), Dąbrowski Z., Żołądź J.A., Fizjologia starzenia się : profilaktyka i rehabilitacja / red. nauk.. Wydawnictwo PWN, Warszawa. .

Marquié, J. C., Jourdan-Boddaert, L., & Huet, N. (2002). Do older adults underestimate their actual computer knowledge? Behaviour & Information Technology, 21 (4), 273–280.

Martin, J. A., Ramsay, J., Hughes, C., Peters, D. M., & Edwards, M. G. (2015). Age and grip strength predict hand dexterity in adults. PloS one, 10(2), e0117598.

Martine A. Gilles & Alan M. Wing (2003) Age-Related Changes in Grip Force and Dynamics of Hand Movement, Journal of Motor Behavior, 35:1, 79-85.

Matsunaga, V. T. I. V. K., & Nagano, V. Y. (2005). Universal design activities for mobile phone: Raku Raku phone. Fujitsu Sci. Tech. J, 41(1), 78-85.

Mblachnik.pl:
http://mblachnik.pl/lib/exe/fetch.php/dydaktyka/zajecia/wyklady/systemy_ekspertowe.pdf,
06.05.2019.

McCormick E. (1964). Antropotechnika. Przystosowanie konstrukcji maszyn i urządzeń do człowieka, WNT Warszawa.

McCormick E.J. (1976). Human Factors in Engineering and Design, McGraw-Hill, New York.

McKinsey Company, Cyfrowi Polacy – konsumenci w czasach e-rewolucji, 2015: www.mckinsey.pl/wp-content/uploads/2016/09/Raport-Cyfrowi-Polacy.pdf.

Melenhorst, A. S., Rogers, W. A., & Bouwhuis, D. G. (2006). Older adults' motivated choice for technological innovation: Evidence for benefit-driven selectivity. Psychology and Aging, 21 (1), 190–195.

Merkisz-Guranowska, A. (2013). MULTICRITERIA OPTIMIZATION MODEL FOR END-OF-LIFE VEHICLES'RECYCLING NETWORK. International Journal of Sustainable Development and Planning, 8(1), 88-99.

Merriam-Webster Online; https://www.merriam-webster.com/dictionary/task, 13.09.2018.

Meyna A. (1982). Einführung in die sicherheitstheorie, Sicherheit stechnische annalyseverfahren, Carl Hanser Verlag, München, Vien.

Michalewicz, Z. (2003). Genetic algorithms+ data structure= evolutionary algorithms (Polish: Algorytmy Genetyczne+ struktury danych= programy ewolucyjne). Wydanie III. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne. War-szawa.

Michalski, R. (1997). Pokładowe systemy nadzoru maszyn ze sztuczną inteligencją. Wydawnictwo ART.

Michalski, R. (2008). Jakość użytkowa w procesie wytwarzania oprogramowania: przegląd metod i technik projektowych. Badania Operacyjne i Decyzje, (4), 71-88.

Michalski, R., & Rychlik, A. (2001). Budowa hybrydowego systemu eksperymentowego. Problemy Eksploata-cji, (3), 149-155.

Michalski, R., Rychlik, A., & Wierzbicki, S. (2005). Hybrid decision-making system. Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa, 5.

Mirończuk, M. (2010). Przegląd i klasyfikacja zastosowań, metod oraz technik eksploracji danych.

Moczulski, W. O. J. C. I. E. C. H. (1997). Metody pozyskiwania wiedzy dla potrzeb diagnostyki maszyn. Monografia. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.

Mohs, C., Hurtienne, J., Israel, J. H., Naumann, A., Kindsmüller, M. C., Meyer, H. A., et al. (2006). IUUI - Intuitive use of user interfaces. In T. Bosnick, M. Hassenzahl, M. Müller-Prove & M. Peissner (Eds.), Usability professionals 2006 (pp. 130-133). .

Mościchowska, I., & Rogoś-Turek, B. (2018). Badania jako podstawa projektowania user experience. Wydawnictwo Naukowe PWN SA.

N. H. Mateou, M. Moiseos, and A. S. Andreou (2005). "Multi-objective evolutionary fuzzy cognitive maps for decision support," in Proc. IEEE Congr. Evol. Comput., vol. 1, Edinburgh, U.K., pp. 824–830.

Naumann, A., Hurtienne, J., Israel, J. H., Mohs, C., Kindsmüller, M. C., Meyer, H. A., et al. (2007). Intuitive use of user interfaces: Defining a vague concept. In D. Harris (Ed.), Engineering psychology and cognitive ergo-nomics (pp. 128-136). Berlin.

Nichols, T. A., Rogers, W. A., & Fisk, A. D. (2006). Design for aging. In G. Salvendy (Ed.), Handbook of human factors and ergonomics (pp. 1418-1445): John Wiley and Sons, Inc.

Niederliński A. (2000). Regułowe systemy ekspertowe. Wydawnictwo Pracowni Komputerowej Jacka Skalmierskiego, Gliwice.

Niederliński, A. (2002, June). Rodzina skorupowych hybrydowych systemów ekspertowych RMSE. In W: Materiały XIV Krajowej Konferencji Automatyki, ICKA XIV, Zielona Góra (pp. 24-27).

Niederliński, A. (2006). Regułowo-modelowe systemy ekspertowe rmse. Wydawnictwo Pracowni Komputerowej Jacka Skalmierskiego.

Nielsen, J. (1994). Heuristic evaluation. In Nielsen, J., and Mack, R.L. (Eds.), Usability Inspection Methods, John Wiley & Sons, New York, NY.

Niziński, S., & Rychlik, A. (2005). Systemy rozpoznawania stanu maszyn. Diagnostyka, 33, 135-140.

Oehl, M., Dahlmanns, L., & Sutter, C. (2013, July). Small Input Devices Used by the Elderly–How Sensorimotor Transformation and Task Complexity Affect Interaction. In International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction (pp. 181-190).

Oja, E. (1989). Neural networks, principal components, and subspaces. International journal of neural systems, 1(01), 61-68.

Oja, E. (1991). Learning in non-linear constrained Hebbian networks. Proceedings of the ICANN'91, 1991, 385-390.

Olson, K. E., O'Brien, M. A., Rogers, W. A., & Charness, N. (2011). Diffusion of technology: frequency of use for younger and older adults. Ageing international, 36(1), 123-145.

Osman, Z., Maguire, M., & Tarkiainen, M. (2003). Older users' requirements for location based services and mobile phones. In L. Chittaro (Ed.), Humancomputer interaction with mobile devices and services (pp. 352-357). Berlin, Germany: Springer.

Papageorgiou, E. I. (2012). Learning algorithms for fuzzy cognitive maps—a review study. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews), 42(2), 150-163.

Papageorgiou, E. I., & Froelich, W. (2012). Application of evolutionary fuzzy cognitive maps for prediction of pulmonary infections. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, 16(1), 143-149.

Papageorgiou, E. I., & Groumpos, P. P. (2005). A weight adaptation method for fuzzy cognitive map learning. Soft Computing, 9(11), 846-857.

Papageorgiou, E. I., & Groumpos, P. P. (2005a). A new hybrid method using evolutionary algorithms to train fuzzy cognitive maps. Applied Soft Computing, 5(4), 409-431.

Papageorgiou, E. I., & Stylios, C. D. (2008). Fuzzy cognitive maps. Handbook of granular computing, 755-774.

Papageorgiou, E. I., Parsopoulos, K. E., Groumpos, P. P., & Vrahatis, M. N. (2004). Fuzzy cognitive maps learning through swarm intelligence. In International Conference on Artificial Intelligence and Soft Computing (pp. 344-349). Springer, Berlin.

Papageorgiou, E. I., Parsopoulos, K. E., Stylios, C. S., Groumpos, P. P., & Vrahatis, M. N. (2005). Fuzzy cognitive maps learning using particle swarm optimization. Journal of Intelligent Information Systems, 25(1), 95-121.

Papageorgiou, E. I., Stylios, C. D., & Groumpos, P. P. (2004). Active Hebbian learning algorithm to train fuzzy cognitive maps. International journal of approximate reasoning, 37(3), 219-249.

Papageorgiou, E. I., Stylios, C., & Groumpos, P. P. (2006). Unsupervised learning techniques for fine-tuning fuzzy cognitive map causal links. International Journal of Human-Computer Studies, 64(8), 727-743.

Papageorgiou, E., Stylios, C., & Groumpos, P. (2003, December). Fuzzy cognitive map learning based on nonlinear Hebbian rule. In Australasian Joint Conference on Artificial Intelligence (pp. 256-268). Springer, Berlin, Heidelberg.

Parsopoulos, K. E., & Vrahatis, M. N. (2002). Recent approaches to global optimization problems through particle swarm optimization. Natural computing, 1(2-3), 235-306.

Pattison, M., & Stedmon, A. W. (2006). Inclusive design and human factors: Designing mobile phones for older users. PsychNology Journal, 4(3), 267-284.

Pawlak, Z. (2004). Zbiory przybliżone nowa matematyczna metoda analizy danych. Miesięcznik Politechniki Warszawskiej, (5), 2.

PClab.pl: https://pclab.pl/pr67111.html, 09.10.2018.

Petalas, Y. G., Papageorgiou, E. I., Parsopoulos, K. E., Groumpos, P. P., & Vrahatis, M. N. (2005). Fuzzy cognitive maps learning using memetic algorithms.

Peters O. H., Meyna A. (1985). Handbuch der sicherheitstechnik, Band 1: Sicherheit technischer anlagen, kom-ponenten und systeme, Sicherheitsanalyseverfahren, Carl Hanser Verlag, München, Vien.

Phillips, B., & Zhao, H. (1993). Predictors of assistive technology abandonment. Assistive technology, 5(1), 36-45.

Pihowicz, W. (2008). Inżynieria bezpieczeństwa technicznego: problematyka podstawowa. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.

Piotrowska, K. (2012). Inteligentny system ekspertowy oparty na mapach kognitywnych. Studia Informatica, 33(2A), 605-616.

PN-77/N-04005 Wskaźniki niezawodności, nazwy, określenia, symbole.

PN-EN 547-3+A1:2010 Bezpieczeństwo maszyn -- Wymiary ciała ludzkiego -- Część 3: Dane antropome-tryczne.

PN-EN 614-1+A1:2009 Bezpieczeństwo maszyn. Ergonomiczne zasady projektowania. Część 1. Terminologia i zasady ogólne.

PN-EN 614-2+A1: 2010 Bezpieczeństwo maszyn. Ergonomiczne zasady projektowania. Część 2: Interakcje między projektowaniem maszyn a zadaniami roboczymi.

PN-EN 894-1+A1: 2010 Bezpieczeństwo maszyn. Wymagania ergonomiczne dotyczące projektowania wskaźników i elementów sterowniczych. Część 1: ogólne zasady interakcji między człowiekiem a wskaźnikami i elementami sterowniczymi.

PN-EN 894-3+A1: 2010 Bezpieczeństwo maszyn. Wymagania ergonomiczne dotyczące projektowania wskaźników i elementów sterowniczych. Część 3: Elementy sterownicze.

PN-EN ISO 6385:2016-12 – Zasady ergonomii w projektowaniu systemów pracy.

Pociecha, J. (2013). Wybrane metody klasyfikacyjne oraz ich efektywność w prognozowaniu upadłości firm. Studia Ekonomiczne, 152, 119-139.

Pohlmeyer, A. E., Blessing, L., Wandke, H., & Maue, J. (2009, July). The value of answers without question [s]: A qualitative approach to user experience and aging. In International Conference on Human Centered Design (pp. 894-903). Springer, Berlin, Heid.

Pohlmeyer, A., Machens, F., & Blessing, L. (2010). Attractive or not - what's the difference? Inter- and intra-group comparisons in the Kano model. Proceedings of the 11th International Design Conference - DESIGN 2010, 413-422.

Prac.pl: http://prac.us.edu.pl/~boryczka/WDI/logika/logika.htm, 07.05.2019.

Pradipta Biswas & Patrick Langdon (2012) Developing Multimodal Adaptation Algorithm for Mobility Impa-ired Users by Evaluating Their Hand Strength, International Journal of Human-Computer Interaction, 28:9, 576-596.

Prussak W. (2006). Ergonomiczne zasady projektowania oprogramowania komputerowego [In] Jabłoński J., Szczegółowe ergonomiczne zasady projektowania, w: J. Jabłoński (red.), Ergonomia produktu. Ergonomiczne zasady projektowania produktów, Poznań.

PWN-Doroszewski.pl: https://sjp.pwn.pl/doroszewski/podzespol;5475389.html, 25.03.2019.

Ratajczak Z., 1988, Niezawodność człowieka w pracy, PWN, Warszawa. .

Rauterberg, G. W. M. (1998). Introduction into human-computer interaction.

Riviere, C. N., & Thakor, N. V. (1996). Effects of age and disability on tracking tasks with a computer mouse: Accuracy and linearity. Journal of Rehabilitation Research and Development, 33, 6-15.

Rogers, W. A., Fisk, A. D., McLaughlin, A. C., & Pak, R. (2005). Touch a screen or turn a knob: Choosing the best device for the job. Human Factors, 47(2), 271-288.

Rogers, W. A., Fisk, A. D., Mead, S. E., Walker, N., & Cabrera, E. F. (1996). Training older adults to use au-tomatic teller machines. Human Factors, 38, 425–433.

Rogers, Y., Sharp, H., & Preece, J. (2002). Interaction Design: Beyond Human-Computer Interaction, Jon Wiley & Sons.

Rosner J. (1985). Ergonomia, PWE, Warszawa, s. 11.

Sala, D. (2007). Wspomaganie decyzji w procesach przygotowania produkcji z wykorzystaniem systemu ekspertowego. Praca doktorska, AGH, Kraków.

Sandfeld, J., & Jensen, B. R. (2005). Effect of computer mouse gain and visual demand on mouse clicking performance and muscle activation in a young and elderly group of experienced computer users. Applied Ergo-nomics, 36(5), 547-555.

Scapin, D. L., & Bastien, J. C. (1997). Ergonomic criteria for evaluating the ergonomic quality of interactive systems. Behaviour & information technology, 16(4-5), 220-231.

Schaie, K.W (2004). Cognitive aging. In R. Pew and S. van Hemmel (Eds). Technology for Adaptive Aging: Report and Papers. National Research Council, The National Academies Press, Washington.

Schieber, F. (2003). Human factors and aging: Identifying and compensating for age-related deficits in sensory and cognitive function. In K.W. Schaie and N. Charness (Eds.) Influences of technological change on individual aging. Springer Publishing.

Sikorski, M. (2000). Zarządzanie jakością użytkową w przedsięwzięciach informatycznych. Wydaw. PG.

Sikorski, M. (2006). Interfejs użytkownika: od pracy, przez emocje, do relacje.

Silov, V. B. (1995). Przyjęcie rozwiązań strategicznych w rozmytym otoczeniu. INPRORES, Moskwa.

Silverman D. (2010): Prowadzenie badań jakościowych, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

Simonwallner.at: http://simonwallner.at/ext/fitts/, 28.05.2019.

Skarka, W. (2009). Dobrać właœciwe ustawienia systemu CATIA, J.. CATIA V5. Podstawy budowy modeli autogenerujących. Helion Gliwice.

Skarka, W. O. J. C. I. E. C. H. (2007). Modelowanie bazy wiedzy dla budowy modeli autogenerujących w systemie CATIA z zastosowaniem języka UML. Modelowanie inżynierskie, Gliwice, 145.

Sławińska M. (2008), Ergonomia systemów zautomatyzowanych, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań.

Sławińska M. (2011). Reengineering ergonomiczny procesów eksploatacji zautomatyzowanych urządzeń tech-nologicznych (ZUT), Rozprawy, nr 462, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań.

Sławińska M. (2012). Niezawodność człowieka w interakcji z procesem przemysłowym, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań.

Słowikowski J. (2000a). Metodologiczne problemy projektowania ergonomicznego w budowie maszyn: praca na stopień doktora habilitowanego. CIOP.

Słowikowski J. (2000b). Metodologiczne problemy projektowania ergonomicznego w budowie maszyn, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa.

Słowikowski J.(2001). Przesłanki ergonomiczne “wyczuwania” maszyny przez człowieka, Bezpieczeństwo Pracy, 7-8/2001.

Słowiński B. (2011). Inżynieria eksploatacji maszyn, Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2014. .

Smith, M. W., Sharit, J., & Czaja, S. J. (1999). Aging, motor control, and the performance of computer mouse tasks. Human factors, 41(3), 389-396.

Sobczak, A. (2007). ZASTOSOWANIE ROZMYTYCH MAP KOGNITYWNYCI-I W PLANOWANIU ROZWOJU ZORIENTOWANEJ NA USLUGI ARCHITEKTURY SYSTEMGW INFORMATYCZNYCH'.

Sphweb.edu: http://sphweb.bumc.bu.edu/otlt/MPH-Modules/PH/Aging/mobile_pages/Aging5.html, 16.10.2018.

Srikant, R., & Agrawal, R. (1995). Mining generalized association rules.

Stach, W., Kurgan, L., & Pedrycz, W. (2007, August). Parallel learning of large fuzzy cognitive maps. In 2007 International Joint Conference on Neural Networks (pp. 1584-1589). IEEE.

Stach, W., Kurgan, L., & Pedrycz, W. (2008, June). Data-driven nonlinear Hebbian learning method for fuzzy cognitive maps. In 2008 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (IEEE World Congress on Computa-tional Intelligence) (pp. 1975-1981). IEEE.

Stach, W., Kurgan, L., & Pedrycz, W. (2010). A divide and conquer method for learning large fuzzy cognitive maps. Fuzzy Sets and Systems, 161(19), 2515-2532.

Stach, W., Kurgan, L., Pedrycz, W., & Reformat, M. (2005). Genetic learning of fuzzy cognitive maps. Fuzzy sets and systems, 153(3), 371-401.

Stanton, N. A., Hedge, A., Brookhuis, K., Salas, E., & Hendrick, H. W. (Eds.). (2004). Handbook of human factors and ergonomics methods. CRC press.

Static.net: https://pl-static.z-dn.net/files/dd2/4c9d4620621072c07e8e5da636505af5.pdf, 31.07.2019.

Stefanowski, J. (2001). Algorytmy indukcji reguł decyzyjnych w odkrywaniu wiedzy. Wydawnictwo Poli-techniki Poznańskiej, Poznań.

Stones, R., Matthew, N., & Meryk, R. (2002). Bazy danych i PostgreSQL: od podstaw. Wydaw. Helion.

Stößel Ch. (2012). Gestural interfaces for elderly users - help or hindrance? genehmigte Dissertation, PhD-FSTC-2012-19; Berlin 2012; D 83, Berlin.

Swain A. D., Gutman H. E. (1980). Handbook of human reliability, Analysis with emphasis on nuclear plant applications, Sandia Laboratories, Albuquerque.

Szkolnikowski W., Algorytmy regulacji, a właściwości obiektu i jakość sterowania, praca magisterska, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa 2008.

Szkoła Podstawowa nr 1 w Wolsztynie.pl: http://www.sp1.wolczyn.net/informatyka/index.php?option=com_ content&view=article&id=4, 06.01.2017.

Szmigielska B., Bąk A., Jaszczak A. (2012). Komputer i Internet w życiu e-seniorów – doniesienia z badań jakościo-wych, Studia Edukacyjne Nr 23/2012, Uniwersytet Jagielloński w Krakowie, Kraków.

Tarkowski, A., Mierzecka, A., Jasiewicz, J., Filiciak, M., Kisilowska, M., Klimczuk, A., & Bojanowska, E. (2015). Taksonomia funkcjonalnych kompetencji cyfrowych oraz metodologia pomiaru poziomu funkcjonalnych kompetencji cyfrowych osób z pokolenia 50+.

Tavanaei, A., Masquelier, T., & Maida, A. (2018). Representation learning using event-based STDP. Neural Networks.

Thalmeier, S., & Koller, F. (2009). Multi-Touch-Produkte: Welche kulturellen Unterschiede und Gemeinsam-keiten gibt es bei der Nutzung von Gesten? Usability Professionals Special Issue, 79-83.

Thumser, Z. C., Slifkin, A. B., Beckler, D. T., & Marasco, P. D. (2018). Fitts' law in the control of isometric grip force with naturalistic targets. Frontiers in psychology, 9.

Tiihonen, J., Soininen, T., Niemelä, I., & Sulonen, R. (2003). A practical tool for mass-customising configurable products. In DS 31: Proceedings of ICED 03, the 14th International Conference on Engineering Design, Stockholm.

Tomé, J. P. C. J. A. (1999). Rule Based Fuzzy Cognitive Maps and Fuzzy Cognitive Maps–A Comparative Study. In Proceedings of 18th Conference of the North America.

Tytyk, E. (2011). Metodologiczne podstawy inżynierii ergonomicznej, Tytyk, E.(red.), Inżynieria ergonomiczna. Teoria, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań.

Tytyk, E. (2013). Dillemmas of ergological and engineering sciences in forestry. Forestry Letters, 104(2).

Veas, E., & Kruijff, E. (2008, September). Vesp'R: design and evaluation of a handheld AR device. In Mixed and Augmented Reality, 2008. ISMAR 2008. 7th IEEE/ACM International Symposium on (pp. 43-52). IEEE.

Venkatesh, V. (2000). Determinants of perceived ease of use: Integrating perceived behavioral control, compu-ter anxiety and enjoyment into the technology acceptance model.Information Systems Research, 11(4), 342–365.

Villamor C., Willis D. i Wromblewski L., Touch Gesture REFERENCE GUIDE, Last updated April 15, 2010; https://www.lukew.com/ff/entry.asp?1071, 13.09.2018.

Voelcker-Rehage, C. (2008). Motor-skill learning in older adults—a review of studies on age-related differences. European Review of Aging and Physical Activity, 5(1), 5.

Wagner, N., Hassanein, K., & Head, M. (2010). Computer use by older adults: A multi-disciplinary review. Computers in human behavior, 26(5), 870-882.

Ważyńska-Fiok K., Jadźwiński J.1990, Niezawodność systemów technicznych, PWN, Warszawa.

Wegner M. i in. (2017). Społeczeństwo informacyjne w Polsce, Wyniki badań statystycznych z lat 2013-2017, Analizy statystyczne, Warszawa.

Wickens, C. D., Hollands, J. G., Banbury, S., & Parasuraman, R. (2015). Engineering psychology & human performance. Psychology Press.

Wieleba, R. (2011). Inżynieria wiedzy w systemach ekspertowych. Zeszyty Naukowe Warszawskiej Wyższej Szkoły Informatyki.

Wikipedia.pla: https://pl.wikipedia.org/wiki/Kryterium_sterowania, 25.08.2018.

Wikipedia.plb: https://pl.wikipedia.org/wiki/Uk%C5%82ad_regulacji_(automatyka), 27.08.2018.

Wikipedia.plc: https://pl.wikipedia.org/wiki/Uczenie_maszynowe, 02.04.2019.

Wikipedia.pld: https://pl.wikipedia.org/wiki/System_ekspertowy, 06.05.2019.

Wisniewski Z., Polak-Sopinska A. (2009). HCI Standards for handicapped. International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction. Springer, Berlin, Heidelberg. p. 672-676.

Wisniewski Z., Polak-Sopinska A., Wisniewska M., Jedraszek-Wisniewska M. (2019). Dynamics of Interactions. nternational Conference on Applied Human Factors and Ergonomics. Springer, Cham. p. 246-258.

Wiśniewski, Z. (2009). Determinanty aktywności zawodowej ludzi starszych. TNOiK, Dom Organizatora, Toruń.

Wobbrock, J. O., Morris, M. R., & Wilson, A. D. (2009). User-defined gestures for surface computing. In S. Greenberg, S. E. Hudson, K. Hinkley, M. Ringel Morris & D. R. Olsen (Eds.), CHI '09.

Wojarnik, G. (2008). Metody sztucznej inteligencji w systemach ekspertowych. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego. Studia Informatica, (22 Aplikacje systemów informatycznych), 143-150.

Wolny, W., & Zadora, P. (2008). Redefinicja idei inteligentnych systemów wspomagania decyzji. Prace Naukowe/Akademia Ekonomiczna w Katowicach, 271-276.

Wordnik.com: https://www.wordnik.com/words/actuator, (dostęp: 01.09.2014).

Wrobel-Lachowska M., Polak-Sopinska A., Wisniewski Z. (2018). Challenges for logistics education in Industry 4.0. International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics. Springer, Cham. p. 329-336.

Wróbel K., Hoffmann T. (2019). Zastosowanie metody rozmytych map kognitywistycznych w doborze urzą-dzeń sterowniczych dla osób starszych – ujęcie teoretyczne, Jach K. (red.) monografia naukowa pt.: Sprawni dzięki technice i dostępnym przestrzeniom. Oficyn.

Wróbel K., Sławińska M. (2019). Walidacja kryteriów oceny ergonomiczności urządzeń wykorzystywanych przez osoby starsze w pracy z komputerem. Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej, Poznań. OCZEKIWANIE NA PUBLIKACJĘ PRACY.

Wróbel, K. (2018). Identification of the Perceptive and Motor Skills in Elderly People when Designing a Human-Computer Interaction. In Ergonomics For People With Disabilities (pp. 163-174). Sciendo.

Wróbel, K., & Stasiuk-Piekarska, A. (2015). IMPLEMENTATION OF ERGONOMICS ASSESSMENT METHODS IN DESIGNING THE HAND STEERING COMPONENTS ORIENTED ON THE ELDERLY. ERGONOMICS FOR PEOPLE WITH DISABILITIES, 115.

Zawadzki P. (2016). Metodyka budowy zautomatyzowanego systemu projektowania wyrobów wariantowych z zastosowaniem narzędzi inżynierii wiedzy. Rozprawa doktorska. Poznań 2016.

Zgapa.pl: http://www.zgapa.pl/zgapedia/Historia_informatyki.html, 16.10.2018.

Zhang, P., & Eseryel, U. Y. (2005). Task in HCI research in the management information systems (MIS) lite-rature: A critical survey. In Proceedings of the 11th International Conference on Human-Computer Interaction.

Zhou, J., Rau, P. L. P., & Salvendy, G. (2012). Use and design of handheld computers for older adults: a review and appraisal. International Journal of Human-Computer Interaction, 28(12), 799-826.

Zhu, Y., & Zhang, W. (2008, October). An integrated framework for learning fuzzy cognitive map using RCGA and NHL algorithm. In 2008 4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (pp. 1-5). IEEE.

Zickuhr, K. (2010). Generations and their gadgets. Pew Internet & American Life Project.

Ziefle, M., & Bay, S. (2004, September). Mental models of a cellular phone menu. Comparing older and younger novice users. In International Conference on Mobile Human-Computer Interaction (pp. 25-37). Spring-er, Berlin, Heidelberg.

Spis rysunków

Rysunek 1. Zakres problematyki rozprawy …….. 9
Rysunek 2. Zakres badań …….. 14
Rysunek 3. Model układu regulacji występujący w interakcji OS-RUiES …….. 30
Rysunek 4. Metody i zagadnienia wchodzące w zakres sztucznej inteligencji …… 62
Rysunek 5. klasyfikacja metod i technik wnioskowania w kontekście zagadnień eksploatacji danych, inżynierii wiedzy i sztucznej inteligencji ……. 64
Rysunek 6. Wnioskowanie w hybrydowym sekwencyjnym systemie ekspertowym …….. 72
Rysunek 7. Ogólna budowa klasycznego systemu ekspertowego …… 73
Rysunek 8. Uproszczony fragment drzewa klasyfikacyjnego niebinarnego 2-rzędu …….. 74
Rysunek 9. Schemat blokowy powiązań modułów ISEMK ……. 76
Rysunek 10. Elementy systemu wnioskowania w logice rozmytej …… 77
Rysunek 11. Graf przedstawiający przykładową rozmytą mapę kognitywną …… 78
Rysunek 12. Przykładowy algorytm wnioskowania ISEMK ……. 79
Rysunek 13. Schemat budowy środowiska aplikacji HSE ……. 85
Rysunek 14. Etapy użytkowania oraz podział HSE na bloki ……. 86
Rysunek 15. Okno dialogowe logowania do HSE …….. 91
Rysunek 16. Przykładowe okno dialogowe pierwszego ankietowania ……. 92
Rysunek 17. Mapa elementów aplikacji administratora i powiązań bloków wnioskowania HSE …… 96
Rysunek 18. Okno dialogowe aplikacji administratora; widok nazw i numerów wszystkich użytkowników …… 97
Rysunek 19. Okno dialogowe aplikacji administratora; podgląd odpowiedzi i wyników dla określonego użytkownika …….. 98
Rysunek 20. Procesowe ujęcie algorytmu bloku 1 HSE …… 99
Rysunek 21. Schemat blokowy powiązań modeli i reguł bloku 1 HSE ……. 101
Rysunek 22. Procesowe ujęcie algorytmu bloku 2 HSE …… 102
Rysunek 23. Schemat blokowy powiązań modeli i reguł bloku 2 HSE ……. 103
Rysunek 24. Okno dialogowe wprowadzające do etapu testowania ……. 105
Rysunek 25. Okno dialogowe wprowadzające do Testu 1 ……. 106
Rysunek 26. Interfejs Testu 1 HSE ……. 106
Rysunek 27. Okno dialogowe wyników Testu 1 …… 107
Rysunek 28. Okno dialogowe wprowadzające do Testu 2 ……. 108
Rysunek 29. Interfejs Testu 2. Aplikacja Klaviro-2.00c; test nr 31 ……... 108
Rysunek 30. Przykładowe okno dialogowe etapu oceny interakcji – widok GUI ……. 109
Rysunek 31. Okno dialogowe etapu oceny interakcji – widok GUI; podlista oceny intuicyjności interakcji ……... 109
Rysunek 32. Procesowe ujęcie algorytmu bloku 3 HSE …… 110
Rysunek 33. Schemat blokowy powiązań modeli i reguł bloku 3 HSE ……. 111
Rysunek 34. Budowa FCM w HSE …… 113
Rysunek 35. Metody i podejścia modyfikacji mapy FCM …… 114
Rysunek 36. Okno dialogowe modułu FCM …….. 115
Rysunek 37. Rezultaty analizy oddziaływania zdolności uczenia się badanych osób na poziom ergonomiczności interakcji ……... 130
Rysunek 38. Rezultaty przewidywania typu RUS na podstawie doświadczenia użytkowego – zgodność według poziomu ergonomiczności interakcji OS-RUiES ……. 131

Rysunek 39. Rezultaty przewidywania typu RUS na podstawie rodzaju technologii – zgodność według poziomu ergonomiczności interakcji OS-RUiES ……. 132
Rysunek 40. Rezultaty przewidywania charakterystyk cech *Długość urządzenia pod dłonią* na podstawie preferencji rozmiaru urządzenia – zgodność według poziomu ergonomiczności interakcji OS-RUiES …… 134
Rysunek 41. Rezultaty przewidywania charakterystyk cech *Długość pod palcami* na podstawie preferencji rozmiaru urządzenia – zgodność według poziomu ergonomiczności interakcji OS-RUiES …… 135
Rysunek 42. Rezultaty korelacji zgodności liczby preferencji rozmiaru urządzenia względem cechy *Długość urządzenia pod dłonią* i cechy *Długość urządzenia pod palcami* . 135
Rysunek 43. Rezultaty przewidywania charakterystyk cech *Szerokość urządzenia pod palcami* na podstawie preferencji rozmiaru urządzenia – zgodność według poziomu ergonomiczności interakcji OS-RUiES ……. 136
Rysunek 44. Rezultaty korelacji zgodności liczby preferencji rozmiaru urządzenia względem cechy *Długość urządzenia pod dłonią* i cechy *Szerokość urządzenia pod palcami* …….. 137
Rysunek 45. Rezultaty zgodności pomiędzy preferencjom rozmiaru urządzenia, a preferencjami wynikającymi z porównywanych cech antropometrycznych …….. 138

Spis tabel

Tabela 1. Struktura rozprawy …….. 12
Tabela 2. Zastosowane metody i narzędzia badawcze …….. 15
Tabela 3. Przyjęte definicje …… 15
Tabela 4. Wymagania ergonomii do doboru i projektowania RUiES dla osób starszych …. 21
Tabela 5. Poziomy zaleceń technicznych do doboru i projektowania RUiES …….. 23
Tabela 6. Klasyfikacja błędów interakcji OS-RUiES ……. 27
Tabela 7. Przykładowe mierniki uchybu regulacji ……. 31
Tabela 8. Zakres wielokryterialnej oceny ergonomiczności interakcji OS-RUiES …… 33
Tabela 9. Wyznaczanie cząstkowej oceny poziomu ergonomiczności interakcji OS-RUiES dla wskaźnika liczby błędów w interakcji …….. 37
Tabela 10. Wyznaczanie cząstkowej oceny poziomu ergonomiczności interakcji OS-RUiES dla wskaźników czasu wykonania zadania i jakości regulacji ……. 37
Tabela 11. Skala zagregowanej oceny poziomu ergonomiczności interakcji OS-RUiES …… 38
Tabela 12. Zalety i wady rodzajów metod i testów oceny …… 39
Tabela 13. Zalety i wady metod i testów oceny ergonomicznej …….. 40
Tabela 14. Zastosowanie metod i testów oceny ergonomiczności ……... 41
Tabela 15. Synteza stanu wiedzy dotyczącej preferencji OS istotnych w interakcji OS-RUiES ……... 43
Tabela 16. Opcje preferencji OS w interakcji OS-RUiES …… 50
Tabela 17. Zakres oddziaływania cech podzespołów RUiES na kształtowanie ergonomiczności interakcji OS-RUiES ……... 55
Tabela 18. Charakterystyki cech podzespołów RUiES …… 58
Tabela 19. Lista rozwiązań technicznych ograniczających wpływ dolegliwości ……. 61
Tabela 20. Porównanie zasad działania i zastosowania wybranych technik sztucznej inteligencji ……. 67
Tabela 21. Kategorie i podejścia algorytmów uczenia nienadzorowanego FCM …… 80
Tabela 22. Szczegółowa relacja pomiędzy działaniami użytkownika i HSE ……. 87
Tabela 23. Zastosowanie pytań etapów ankietowania HSE …… 92
Tabela 24. Powiązania pytań i odpowiedzi HSE…….. 94
Tabela 25. Funkcje reguł modelu bloku 1 HSE …… 102
Tabela 26. Funkcje reguł modelu bloku 2 HSE …… 104
Tabela 27. Podział rodzajów zadań i testów w HSE …… 105
Tabela 28. Skala przedziałów wartości oceny interakcji ZZOE …….. 112
Tabela 29. Funkcje reguł modelu bloku 3 HSE …… 112
Tabela 30. Zróżnicowanie badanych preferencji osób starszych …… 116
Tabela 31. Ogólna charakterystyka cech RUiES …….. 119
Tabela 32. Ręczne urządzenia sterownicze dobrane do badań ……. 120
Tabela 33. Szczegółowa specyfikacja charakterystyk cech RUiES ……. 123
Tabela 34. Charakterystyka rozwiązań technicznych RUS minimalizujących wpływ dolegliwości ……... 125
Tabela 35. Charakterystyka zaleceń technicznych RUS dotyczących doboru i projektowania RUS ……. 126
Tabela 36. Rezultaty rang i tendencji ergonomiczności interakcji OS-RUiES – kolejność według procedury badawczej …….. 128
Tabela 37. Rezultaty ergonomiczności interakcji OS-RUiES – kolejność według rang …….. 129

Tabela 38. Podział oceny interakcji OS-RUiES według poziomów ergonomiczności …… 129
Tabela 39. Rezultaty przewidywania typu RUS na podstawie doświadczenia użytkowego .. 131
Tabela 40. Rezultaty przewidywania typu RUS na podstawie rodzaju technologii …… 132
Tabela 41. Walidacja wnioskowania typu RUS przez HSE ……. 133
Tabela 42. Rezultaty przewidywania charakterystyk cech *Długość urządzenia pod dłonią* na podstawie preferencji rozmiaru urządzenia …… 133
Tabela 43. Rezultaty przewidywania charakterystyk cech *Długość pod palcami* na podstawie preferencji rozmiaru urządzenia ……. 134
Tabela 44. Rezultaty przewidywania charakterystyk cech *Szerokość urządzenia pod palcami* na podstawie preferencji rozmiaru urządzenia …… 136
Tabela 45. Zestawienie zgodności pomiędzy preferencjom rozmiaru urządzenia, a preferencjami wynikającymi z porównywanych cech antropometrycznych ……. 137
Tabela 46. Rezultaty zależności preferencji wieku na cechy RUiES …….. 139
Tabela 47. Rezultaty zależności preferencji płci na cechy RUiES …….. 141
Tabela 48. Rezultaty zależności preferencji klasy doświadczenia użytkowego na cechy RUiES …… 142
Tabela 49. Rezultaty zależności preferencji cech antropometrycznych na cechy RUiES ……. 145
Tabela 50. Rezultaty zależności preferencji kończyn górnych na cechy RUiES …… 148
Tabela 51. Rezultaty zależności preferencji rozmiaru urządzenia na cechy RUiES …….. 150
Tabela 52. Zestawienie relacji pomiędzy preferencjami typu technologii interfejsu a charakterystykami cech RUiES …… 152
Tabela 53. Rezultaty zależności preferencji rodzaju komputera na cechy RUiES ……. 153

Załącznik elektroniczny

1. HSE - Aplikacja
2. Bloki wnioskowania HSE
3. Wyniki badań