

Studia i Materiały Informatyki Stosowanej

Studia i Materiały Informatyki Stosowanej

Czasopismo młodych pracowników
naukowych, doktorantów i studentów

Tom 14, Nr 3, 2022

Bydgoszcz 2022

Studia i Materiały Informatyki Stosowanej
Czasopismo młodych pracowników naukowych, doktorantów
i studentów

© Copyright 2022 by Uniwersytet Kazimierza Wielkiego

Patronat naukowy:

Instytut Informatyki
Uniwersytet Kazimierza Wielkiego
ul. Chodkiewicza 30
85-064 Bydgoszcz
tel. (052) 325 76 11
e-mail: simis@ukw.edu.pl

ISSN 1689-6300

Projekt okładki: Łukasz Zawadzki (StudioStrzelec.pl)
DTP: Dawid Ewald

Wydawca:

Instytut Informatyki
Uniwersytet Kazimierza Wielkiego
Dyrektor:
dr hab. inż. Izabela Rojek, prof. uczelni
ul. Chodkiewicza 30
85-064 Bydgoszcz
tel. +48 52 325 76 11
email: izarojek@ukw.edu.pl

Kontakt:

dr inż. Jacek Czerniak, prof. uczelni
dr hab. inż. Marek Macko, prof. uczelni
Uniwersytet Kazimierza Wielkiego
ul. Chodkiewicza 30
85-064 Bydgoszcz
e-mail: jczerniak@ukw.edu.pl
mackomar@ukw.edu.pl

Druk (ze środków sponsora):
Oficina Wydawnicza MW

Nakład 250 egz.

Bydgoszcz 2022

Studies and Materials in Applied Computer Science

Journal of young researchers,
PhD students and students

Vol. 14, No.3, 2022

Bydgoszcz 2022

Studies and Materials in Applied Computer Science
Journal of young researchers, PhD students and students

© Copyright 2022 by Kazimierz Wielki University in Bydgoszcz

Scientific patronage:
Institute of Informatics
Kazimierz Wielki University
ul. Chodkiewicza 30
85-064 Bydgoszcz, Poland
tel. +48 52 325 76 11
e-mail: simis@ukw.edu.pl

ISSN 1689-6300

Cover designed by: Łukasz Zawadzki (StudioStrzelec.pl)
DTP by: Dawid Ewald

Publisher:

Institute of Informatics
Kazimierz Wielki University
Head:
Izabela Rojek, PhD DSc Eng Assoc. Prof.
ul. Chodkiewicza 30
85-064 Bydgoszcz, Poland
tel. + 48 52 325 76 11
e-mail: izarojek@ukw.edu.pl

Contact:

Jacek Czerniak, PhD. Eng. Assoc. Prof.
Marek Macko, PhD. DSc. Eng., Assoc Prof
Kazimierz Wielki University
ul. Chodkiewicza 30
85-064 Bydgoszcz, Poland
e-mail: jczerniak@ukw.edu.pl
mackomar@ukw.edu.pl

Printing (funded from non-profit programme):
Oficyna Wydawnicza MW

Edition of 250 copies

Bydgoszcz 2022

Studia i Materiały Informatyki Stosowanej

czasopismo młodych pracowników naukowych, doktorantów i studentów

patronat: Polskie Towarzystwo Informatyczne



Przewodniczący Rady Naukowej

prof. dr hab. inż. czł. rzec. PAN Janusz Aleksander Kacprzyk, IBS PAN

Redaktorzy Naczelni

dr inż. Jacek Czerniak, UKW
dr hab. inż. Marek Macko, prof. nadzw.

Redaktor Zarządzający

dr inż. Łukasz Apiecionek, UKW

Redaktor Statystyczny

dr Iwona Filipowicz, UKW

Komitet Redakcyjny

dr inż. Mariusz Dramski, AM
dr inż. Hubert Zarzycki, WWSIS
dr inż. Marcin Łukasiewicz, UTP
dr inż. Piotr Dziurzański, ZUT
dr inż. Tomasz Kałaczyński, UTP
dr hab. inż. Grzegorz Domek, prof. nadzw.
dr Piotr Prokopowicz, UKW

Redaktor Tematyczny (Informatyka)

prof. dr inż. Rafał A. Angryk, GSU

Redaktor Tematyczny (Mechatronika)

prof. dr.h.c.mult. Peter Kopacek, VUT

Redaktor Tematyczny (Metody numeryczne)

dr hab. Petro Filevych, LNUVB

Redaktor Językowy (j.polski)

dr Małgorzata Kempieńska, FRM

Redaktor Językowy (j.angielski)

Andrew Gill, Reed Elsevier, UK

Rada Naukowa

dr hab. Stanisław	Ambroszkiewicz	Instytut Podstaw Informatyki PAN
prof. dr inż. Rafał A.	Angryk	Georgia State University, USA
dr hab. Zenon	Biniek	Wyższa Szkoła Technologii Informatycznych
prof. dr hab. inż. Ryszard	Budziński	Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny
dr inż. Joanna	Chimiak-Opoka	University of Innsbruck, Austria
prof. dr hab. inż. Ryszard	Choraś	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
dr hab. Petro	Filevych	Lviv National University of Veterinary and Biotechnologies, Ukraine
prof. dr hab. inż. Piotr	Gajewski	Wojskowa Akademia Techniczna
dr inż. Marek	Holyński	Prezes Polskiego Towarzystwa Informatycznego
prof. dr hab. inż. czł. rzec. PAN Janusz	Kacprzyk	Instytut Badań Systemowych PAN
dr hab. inż. Andrzej	Kobyliński	Szkoła Główna Handlowa
prof. dr.h.c.mult. Peter	Kopacek	Vienna University of Technology, Austria
prof. dr hab. inż. czł. koresp. PAN Józef	Korbicz	Uniwersytet Zielonogórski
prof. dr hab. inż. Jacek	Koronacki	Instytut Podstaw Informatyki PAN
prof. dr hab. inż. Marek	Kurzyński	Politechnika Wrocławska
prof. dr hab. inż. Halina	Kwaśnicka	Politechnika Wrocławska
prof. dr Mirosław	Majewski	New York Institute of Technology, United Arab Emirates
dr inż. Dariusz	Mikolajewski	Uniwersytet Kazimierza Wielkiego
prof. dr hab. Andrzej	Marciniak	Politechnika Poznańska
dr hab. Marcin	Paprzycki	Instytut Badań Systemowych PAN
prof. dr hab. inż. czł. PAN Witold	Pedrycz	University of Alberta, Canada
prof. dr hab. inż. Andrzej	Pieगत	Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny
prof. dr hab. inż. Andrzej	Polański	Politechnika Śląska
prof. dr hab. inż. Orest	Popov	Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny
prof. dr inż. George	Przybył Einstein	College of Medicine, USAT Montserrat
dr hab. inż. prof. nadzw. Izabela	Rojek	Uniwersytet Kazimierza Wielkiego
prof. dr hab. inż. Danuta	Rutkowska	Politechnika Częstochowska
prof. dr hab. inż. czł. koresp. PAN Leszek	Rutkowski	Politechnika Częstochowska
prof. dr hab. inż. Milan	Sága	Žilinská Univerzita, Słowacja
prof. dr hab. inż. czł. rzec. PAN Roman	Słowiński	Instytut Badań Systemowych PAN, Politechnika Poznańska
prof. dr hab. inż. Włodzimierz	Sosnowski	Uniwersytet Kazimierza Wielkiego, IPPT PAN
prof. dr hab. inż. Andrzej	Stateczny	Akademia Morska w Szczecinie
dr hab. inż. Jan	Studziński	Instytut Badań Systemowych PAN
prof. dr hab. Tomasz	Szapiro	Szkoła Główna Handlowa
prof. dr hab. Janusz	Szczepański	Uniwersytet Kazimierza Wielkiego, IPPT PAN
prof. dr hab. inż. czł. rzec. PAN Ryszard	Tadeusiewicz	Akademia Górniczo-Hutnicza
prof. zw. dr hab. inż. czł. rzec. PAN Jan	Węglarz	Instytut Chemii Bioorganicznej PAN, Politechnika Poznańska
prof. dr hab. inż. Sławomir	Wierchoń	Instytut Podstaw Informatyki PAN
prof. dr hab. inż. Antoni	Wiliński	Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny
dr hab. inż. Andrzej	Wiśniewski	Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach
dr hab. inż. Ryszard	Wojtyna	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
prof. dr hab. Sławomir	Zadrozny	Instytut Badań Systemowych PAN
prof. dr. inż. Milan	Žmindák	Žilinská Univerzita, Słowacja
prof. dr hab. Zenon	Zwierzewicz	Akademia Morska w Szczecinie

SPIS TREŚCI

Od Redakcji	4
Research of the efficiency of the reach of fire services to accidents in the city of Kocaeli on the basis of statistical data for the years 2013-2020 Ömer Bora Namli, Krzysztof Tyburek.....	5
Comparison of the efficiency of time and frequency domain descriptors for the classification of selected wind instruments Krzysztof Tyburek, Ömer Bora Namli	13
Częstotliwość występowania zaburzeń rozwoju sprawności ręki w aspekcie samoobsługi, grafomotoryki i innych czynności szkolnych - analiza obliczeniowa Emilia Mikołajewska, Dariusz Mikołajewski	20
Egzoszkielec na rękę - koncepcja i rozwój w ramach grantu "Rzeczy są dla ludzi" Izabela Rojek, Mariusz Kaczmarek, Piotr Kotlarz, Marcin Kempieński, Dariusz Mikołajewski, Zbigniew Szczepański, Joanna Nowak, Marek Macko, Tomasz Szmidt, Paweł Leszczyński	26
Wielokryterialna analiza wyników wypalenia zawodowego Dariusz Mikołajewski, Jolanta Masiak, Emilia Mikołajewska, Grzegorz M. Wójcik	32

OD REDAKCJI

Szanowni Czytelnicy,

Trzeci tegoroczny numer naszego czasopisma poświęcony jest szerokiemu spektrum zagadnień interdyscyplinarnych zastosowań informatyki, w tym podejmowanych przez międzynarodowe zespoły badawcze. Informatyka już dziś wspiera służby ratownicze czy muzyków, ale jednym z największych obszarów zastosowań informatyki pozostają nauki biomedyczne. Badania z zakresie technicznego wsparcia pratyki klinicznej, w tym w ocenie stanu zdrowia z wykorzystaniem metod i technik inteligencji obliczeniowej stanowią większość badań zaprezentowanych w niniejszym numerze. Pokazuje to otwartość informatyki na problemy społeczeństwa i gospodarki - działamy bezpośrednio tam, gdzie nas boli najbardziej. Mamy nadzieję, że niniejszy numer naszego czasopisma przyniesie Czytelnikom wiele ciekawych przemyśleń, jak również zainspiruje ich do dalszych badań.

Redaktorzy Naczelni SiMIS
dr inż. Jacek Czerniak, prof. uczelni
dr hab. inż. Marek Macko, prof. uczelni

Research of the efficiency of the reach of fire services to accidents in the City of Kocaeli on the basis of statistical data for the years 2013-2020

Ömer Bora Namli* , Krzysztof Tyburek²

¹Industrial Engineer, MSc
Science Institute of Sakarya University
Sakarya/TURKIYE

*e-mail: omerboranamli@kocaeli.bel.tr

²Institute of Computer Science, Kazimierz Wielki University
Kopernika 1 Str., 85-074 Bydgoszcz
e-mail: krzysztof.tyburek@ukw.edu.pl

Abstract: We use different methods to evaluate performance of our works, and always look for better method to do this. One of the most available methods to measure performance is using statistical datas. To do this, we have to be sure about our datas are sufficient or not and how much we can trust these data sets to measure performance. In this study we will test statistical data sets of Kocaeli Fire Brigade by using WEKA and its algorithms.

Keywords: Testing Fire Brigade Statistics, WEKA, Fire Brigade Effectiveness, Response Time, computational intelligence, computational model.

Badanie skuteczności dotarcia służb pożarniczych do wypadków w Kocaeli na podstawie danych statystycznych za lata 2013-2020

Streszczenie: W badaniach użyto różnych metod ocen wyników prowadzonych badań poszukując jednocześnie lepszej metody analizy. Jedną z najbardziej dostępnych metod pomiaru wydajności jest wykorzystanie danych statystycznych. Aby to zrobić, należy mieć pewność, czy analizowane dane są wystarczające, oraz w jakim stopniu można ufać zbiorom danych w celu pomiaru wydajności. W tym badaniu przetestowano zestaw danych statystycznych Straży Pożarnej Kocaeli za pomocą WEKA i jej algorytmów klasyfikacyjnych.

Słowa kluczowe: Testowanie statystyk straży pożarnej, WEKA, efektywności straży pożarnej, czas reakcji, inteligencja obliczeniowa, model obliczeniowy.

1. Introduction

In our study we will use the statistical datas which were saved by Kocaeli Fire Brigade in Turkey. Kocaeli is one of the 81 Provinces in Turkiye. Kocaeli Fire Brigade is one of the departments in Kocaeli Metropolitan Municipality. Kocaeli Fire Brigade is serving for whole Kocaeli Province as a part of Metropolitan Municipality. There is at least one fire station in each district[1].

Fire department is one of the most important and valuable organisations that serves for the city. Fire department serves for several cases. For each city, it is crucial to under-

stand the attributes of those several cases which are among fire department missions. We will try to use statistical datas of Kocaeli Fire Department accordingly each district and arrival times. Statistical datas are always very useful for us to understand characteristic features of the subject which we are examining. Weka software will be used for testing reliability of our datas. We will use Weka to make reliability tests. This will let us see how much we can trust our datas to use to understand fire department cases attributes in Kocaeli Province.

2. Data for research

There are 12 districts in Kocaeli Province. With using statistical datas of fire department events, we want to understand characteristic features of each district in the name of evaluation fire department service performance. Analysing these datas will show us way to examine what are the risks for each districts.

With the results we will have with this study, we will know reliability degree of our datas. Also we will have information of characteristic features of fire department cases in Kocaeli Province. This will help us to do futher studies which is related to determine Fire Department Risk Map

for Kocaeli Province with using these statistical datas we have[3]. The performance of Fire Brigade will be able to be shown and to be discussed. And moreover, we will use results for solving location planning problem of fire department stations and optimization of arrival time.

In table 1; Number of each event in each district was divided by total number of that event in Kocaeli Province[6]. The standard percentages were calculated for all types of event occurred in that district. In this way, we can compare districts according to these rates[2][7]. With the graphics we are showing general type of events one by one. Also we can see comparings of districts for each event type by the following graphics.

Fig. 1. Fire events percentages for districts of Kocaeli 2018

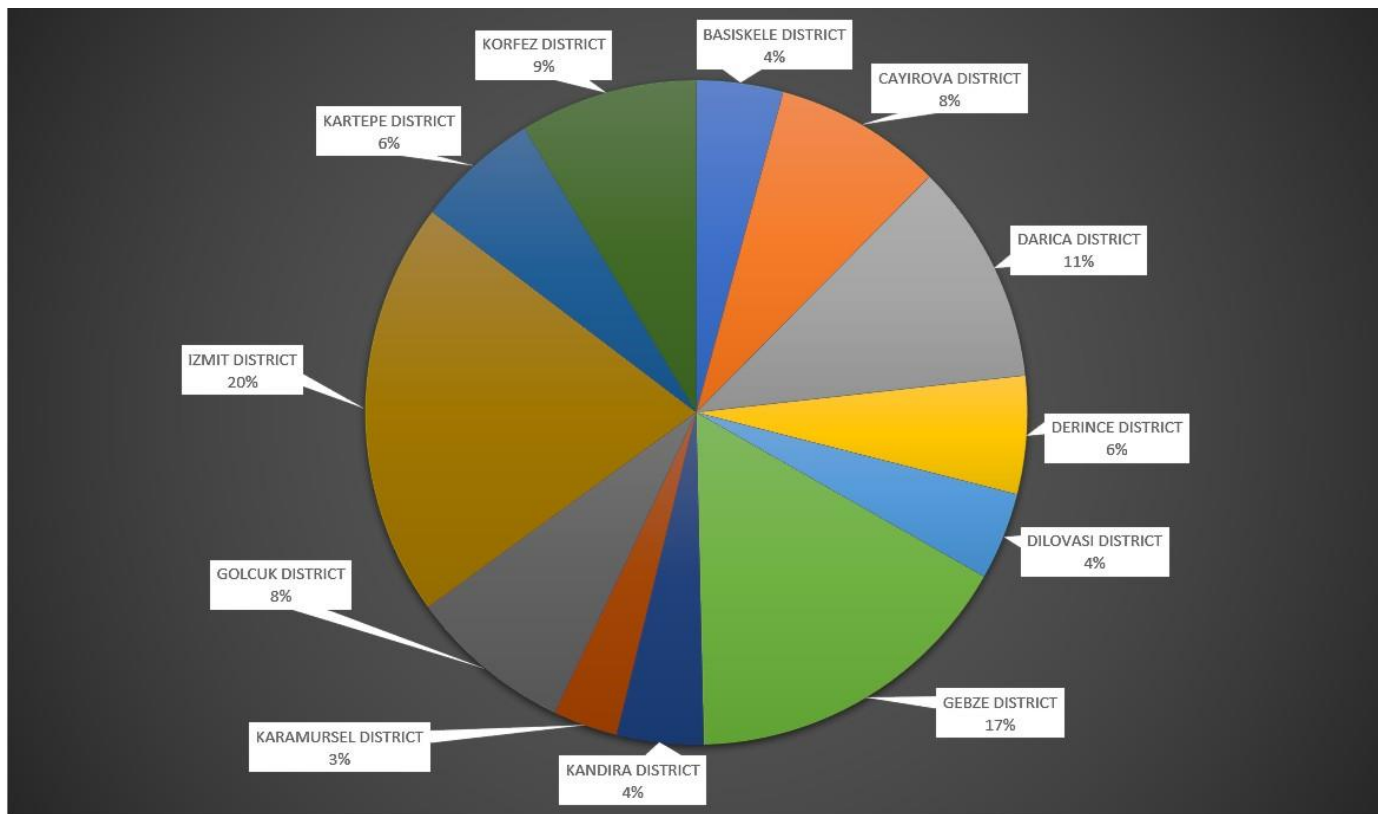


Fig. 2. Traffic accident % for districts of Kocaeli Province 2018

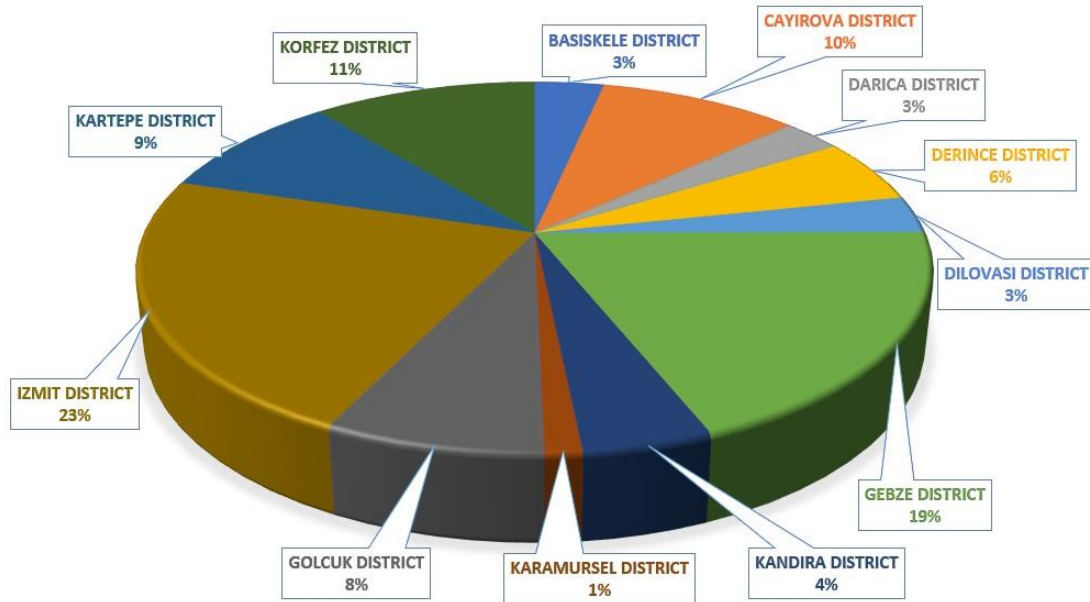
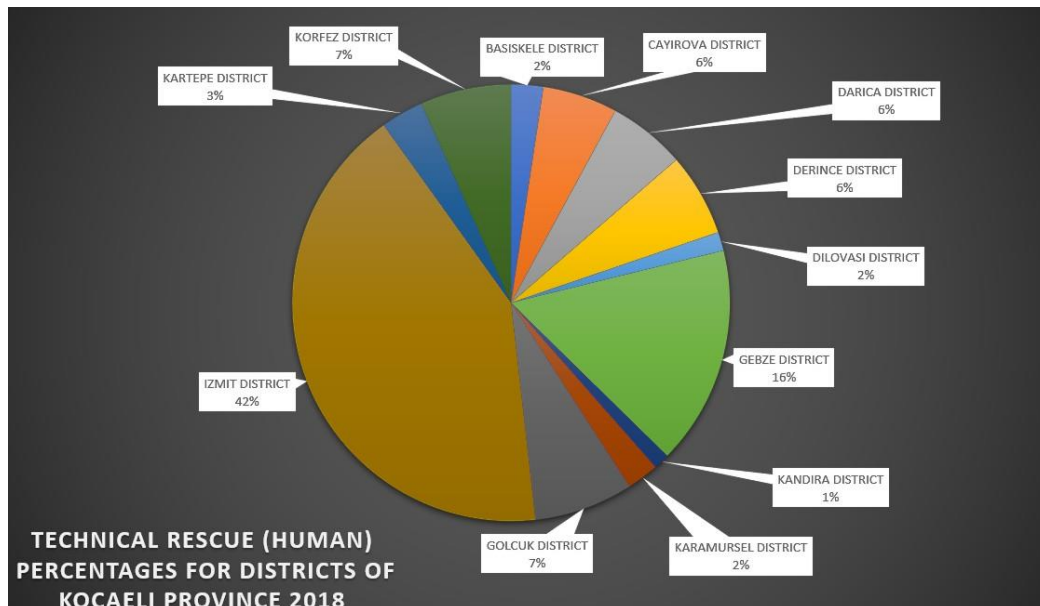


Fig. 3. Technical rescue (human) % for districts of Kocaeli Province 2018



Statistical data of arrival times is saving into two categories; Urban Area and Rural Area according to each district. Ur-

ban area means central parts of district. Rural area refers areas of district which are like villages, woodlands and for-

ests which are generally far from central zones of districts[4]. For performance evaluation of Fire Brigade, they have two different goals for these two kind of areas.

Arrival time means the passing time from the time which emergency call information is taken by mission teams to the time first fire brigade team arrives to the event area. In the

tables, first columns are showing district names[5][3]. The following 8 columns are showing years and the average arrival time for each district in that year. The last columns are showing 8 years general average arrival times for each district.

Table 2: Average of response times for urban area (Min) (Years 2013-2020)

DISTRICT NAMES	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	AVE.
BASISKELE	7.8	7.8	7.4	8.6	7.5	7.3	7.6	7.6	7.7
CAYIROVA	5.7	5.9	5.9	6.3	6.7	7.2	7.7	7.4	6.6
DARICA	5.7	5.8	5.9	5.6	6.3	6.8	7.1	7.0	6.3
DERINCE	5.7	5.3	5.7	6.3	6.4	6.0	6.0	6.1	6.0
DILOVASI	7.7	6.4	8.1	8.1	8.1	7.7	8.4	8.2	7.8
GEBZE	6.4	6.0	6.5	6.8	6.9	6.9	7.0	7.0	6.7
GOLCUK	6.3	5.9	6.2	8.9	6.7	6.6	6.2	6.3	6.6
IZMIT	6.1	5.8	6.5	6.1	6.8	6.8	6.7	6.4	6.4
KANDIRA	5.6	5.2	5.5	6.3	6.2	6.2	6.3	7.4	6.1
KARAMURSEL	6.6	7.1	6.5	6.4	6.6	6.7	6.6	6.3	6.6
KARTEPE	8.3	7.9	8.6	8.1	8.4	8.0	8.8	9.1	8.4
KORFEZ	7.2	6.7	6.6	5.6	6.6	6.9	7.5	7.9	6.9
AVERAGE	6.6	6.3	6.6	6.9	7.0	6.9	7.2	7.2	6.8

Table 3: Average of response times for rural area (Min.) (Years 2013-2020)

DISTRICT NAMES	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	AVE.
BASISKELE	22.1	19.6	22.9	18.6	23.8	18.5	26.0	21.7	21.6
CAYIROVA	12.3	10.0	11.5	15.4	13.5	14.2	15.3	15.2	13.4
DARICA	10.0	0.0	0.0	14.5	10.0	15.8	19.5	0.0	8.7
DERINCE	21.2	27.5	23.3	17.3	21.3	20.0	17.0	20.0	20.9
DILOVASI	18.6	17.7	12.4	14.6	17.5	17.2	14.8	14.3	15.9
GEBZE	14.6	13.5	14.2	15.0	16.5	14.2	12.3	15.8	14.5
GOLCUK	16.5	16.1	17.7	19.1	16.4	16.4	21.8	15.3	17.4
IZMIT	22.6	14.5	18.5	21.6	19.6	17.1	22.5	21.2	19.7
KANDIRA	26.4	18.4	23.6	20.4	19.7	17.7	17.7	22.6	20.8
KARAMURSEL	21.0	21.2	13.9	17.8	16.7	18.1	13.4	28.3	18.8
KARTEPE	20.8	16.2	19.6	17.2	18.0	20.0	18.4	21.4	19.0
KORFEZ	26.4	30.1	22.6	21.2	22.3	21.3	23.3	19.4	23.3
AVERAGE	19.4	18.6	18.2	17.7	17.9	17.5	18.5	17.9	18.2

Table 1. 2018 fire department statistical datas for each distric

COLUMN 1	DISTRICT NAMES AND NUMBER OF EVENTS FOR EACH DISTRICT (COLUMN 2)											
FIRE DEPARTMENT GENERAL EVENT TYPES	BASISKE LE DISTRIC T	CAYIRO VA DISTRIC T	DARICA DISTRIC T	DERINCE DISTRIC T	DILOVASI DISTRIC T	GEBZE DISTRIC T	KANDIRA DISTRIC T	KARAMU RSEL DISTRIC T	GOLCUK DISTRIC T	IZMIT DISTRIC T	KARTEP E DISTRIC T	KORFEZ DISTRIC T
TRAFFIC ACCIDENT	21	61	18	35	20	118	28	8	47	140	58	68
TECHNICAL RESCUE (HUMAN)	12	28	29	31	7	82	6	12	37	212	16	34
TECHNICAL RESCUE (ANIMAL)	113	69	197	85	38	187	42	86	179	570	74	182
SERVICE IN CASE OF FLOOD	19	21	86	3	22	102	1	12	25	399	17	22
OTHER SERVICES	27	17	59	22	17	60	63	12	46	114	14	49
UNLOCKING DOOR (IN EMERGENCY SITUATION)	19	45	69	29	31	48	10	10	40	82	17	106
FIRE	141	273	359	191	142	546	141	105	266	675	200	289
TOTAL NUMBERS	352	514	817	396	277	1143	291	245	640	2192	396	750
Percentage of Fire (%)	4	8	11	6	4	16	4	3	8	20	6	9
Percentage of Traffic Accident (%)	3	10	3	6	3	19	5	1	8	23	9	11
Percentage of Technical Rescue (Human)(%)	2	6	6	6	1	16	1	2	7	42	3	7
Percentage of Technical Rescue (Animal) (%)	6	4	11	5	2	10	2	5	10	31	4	10
Percentage of Other Services (%)	5	3	12	4	3	12	13	2	9	23	3	10

COLUMN 1: Represents general types of the events occur in each district of Kocaeli Province.

COLUMN 2: Represents names of districts with number of events occurred in that district accordingly column 1.

Table 4: General average of response times for City of Kocaeli (minute)

DISTRICT	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	AVE.
BAŞISKELE	15,0	13,7	15,1	13,6	15,7	12,9	16,8	14,6	14,7
ÇAYIROVA	9,0	8,0	8,7	10,8	10,1	10,7	11,5	11,3	10,0
DARICA	7,8	2,9	3,0	10,0	8,2	11,3	13,3	3,5	7,5
DERİNCE	13,4	16,4	14,5	11,8	13,8	13,0	11,5	13,1	13,4
DİLOVASI	13,1	12,0	10,3	11,3	12,8	12,4	11,6	11,3	11,9
GEBZE	10,5	9,7	10,4	10,9	11,7	10,6	9,6	11,4	10,6
GÖLCÜK	11,4	11,0	11,9	14,0	11,6	11,5	14,0	10,8	12,0
İZMİT	14,4	10,1	12,5	13,8	13,2	11,9	14,6	13,8	13,0
KANDIRA	16,0	11,8	14,6	13,3	13,0	12,0	12,0	15,0	13,5
KARAMÜRSEL	13,8	14,1	10,2	12,1	11,7	12,4	10,0	17,3	12,7
KARTEPE	14,6	12,1	14,1	12,7	13,2	14,0	13,6	15,3	13,7
KÖRFEZ	16,8	18,4	14,6	13,4	14,4	14,1	15,4	13,6	15,1
AVERAGE	13,0	11,7	11,7	12,3	12,4	12,2	12,8	12,6	12,3

3. The result of the experiment

The analysis of the effectiveness of the time of the Fire Service reaching to the place of the incident was carried out using the WEKA package. The classification algorithms and learning methods available in WEKA were applied. The effectiveness of the time to reach the accident place was tested, taking into account the following configuration:

1. urban area to rural area
2. urban area to general average of response times for whole Kocaeli City
3. rural area to general average of response times for whole Kocaeli City
4. urban area to rural area to general average of response times for whole Kocaeli City.

Recognition results for the above cases are presented in the selected error matrices below.

Table 5: Error matrix for classification. Used Decision Table, cross-validation method (k=10). General recognition 95,83%.

a	b	Classified
100	0	a = URBAN_AREA
8,3	92	b = RURAL_AREA

Table 6: Error matrix for classification. Used Decision Table, cross-validation method (k=10). General recognition 87,5%.

a	b	Classified
100	0	a = URBAN_AREA
25	75	b = KOCAELİ

Table 7: Error matrix for classification. Used Decision Table, cross-validation method (k=10). General recognition 95,83%.

a	b	Classified
92	8,3	a = RURAL_AREA
0	100	b = KOCAELİ

Table 8: Error matrix for classification. Used Decision Table, cross-validation method (k=10). General recognition 80,55%.

a	b	c	d	Classified
92	0	8,3	0	a = URBAN_AREA
0	92	8,3	17	b = RURAL_AREA
25	17	58	8,3	c = KOCAELİ

For the purpose of referentiality of the research, the rules of decision tables and the cross-validation learning method for $k = 10$ were used for all tests.

The above error matrixes show that the highest efficiency of the time to reach the event place occurs in the configurations of urban area to rural area and rural area to general average of response times for whole Kocaeli City. In these two cases, the overall success rate is 95.85% of the events. It should be added that in these cases the individual effectiveness of the time of reaching the accident place is 100% for urban area and 100% for Kocaeli. The remaining results indicate slightly lower overall effectiveness. However, it should be considered that these results are satisfactory too. For the configuration of urban area to general average of response times for whole Kocaeli City, the overall effectiveness was 87.5% (individual effectiveness 100% for urban area). For the configuration of urban area to rural area to general average of response times for whole Kocaeli City, the overall effectiveness is 80.55% (no individual effectiveness was 100%).

4. Summary

It should be considered that the above test results prove the effectiveness of the fire brigade's actions in the context of the time to reach the place. As mentioned earlier, the data covers activities for 7 years (between 2013 and 2020) and covers 12 districts of the city of Kocaeli. It is obvious that the results of the experiments will change with the selection of other algorithms and machine learning methods (e.g. trees algorithms and percentage split method), but the authors' aim was to indicate the general tendency of the functioning of emergency services in the city of Kocaeli in terms of the time taken to help victims in accidents.

References

1. Annual Reports, Fire Brigade of Kocaeli Metropolitan Municipality/TURKIYE
2. Namlı, Ömer Bora and Denizhan B. (2020), Fire Brigade Risk Map And Optimization Of Fire Stations Location Planning To Reduce Response Time, International Marmara Sciences Congress (Imascon 2020 – Autumn)
3. Bingöl, B. (2017), Determination Of Forest Fire Risk Areas In Burdur Province Using Geographical Information Systems, Turkish Journal of Forest Science, Volume 1/Number2, Oca 2017, 169 – 182
4. Şişman, A. (2015), Producing Fire Risk Map and Determining The Location of Fire Stations Using Location Allocation Analysis, ISITES2015
5. GÜNEY, C. O. (2014), Orman Yangınlarında Tutuşma Risk Haritaları ve Kullanma Olanakları, Orman Mühendisliği Dergisi, Yıl:51, Sayı: 4-5-6, 13-18
6. Ceyhan E, Ertugay K, Duzgun S. Exploratory and inferential methods for spatiotemporal analysis of residential fire clustering in urban areas. Fire Safety J 2013; 58:226-239.
7. Erden, T. and Coskun, M. (2010) 'Multi-criteria site selection for fire services: the interaction with analytic hierarchy process and geographic information systems', Natural Hazards and Earth System Sciences, Vol. 10, pp.2127–213

Comparison of the efficiency of time and frequency domain descriptors for the classification of selected wind instruments

Krzysztof Tyburek*¹, Ömer Bora Namli²

¹ Institute of Computer Science, Kazimierz Wielki University
Kopernika 1 Str., 85-074 Bydgoszcz
*e-mail: krzysztof.tyburek@ukw.edu.pl

²Industrial Engineer, MSc
Science Institute of Sakarya University
Sakarya/TURKIYE
e-mail: omerboranamli@kocaeli.bel.tr

Abstract: By analyzing the physical features of the time domain and the frequency domain of the audio signal, it is possible to determine its source and use appropriate algorithms to automatically classify it. The issue of sound indexing deals with the analysis of different classes and sources - including signals from musical instruments. By calculating the values of descriptors and classifying them, we obtain information about the type of instrument and its structure - most often the material from which it was made. During the conducted research, it turned out that a different composition of the feature vector is implemented to describe brass instruments and a different one for wooden instruments. In this case, the key feature may be harmonic highs in the frequency domain. The conducted experiments concern an attempt to parameterize wind instruments (aerophones) in order to compare the classification effectiveness of time and spectral descriptors. Sounds from a tube, a flute and a soprano saxophone were used for research. The sample population for each instrument was 21.

Keywords: Power Spectrum, MFCC, Timbre, Music Instrument Identification, MPEG 7, aerophones.

Porównanie skuteczności deskryptorów w dziedzinie czasu i częstotliwości do klasyfikacji wybranych instrumentów dętych

Streszczenie: Analizując fizyczne cechy domeny czasu i domeny częstotliwości sygnału audio można określić jego źródło i przy pomocy właściwych algorytmów dokonać jego automatycznej klasyfikacji. Kwestia indeksacji dźwięku dotyczy analizy różnych klas i źródeł – także sygnałów wywodzących się z instrumentów muzycznych. Obliczając wartości deskryptorów i dokonując ich klasyfikacji uzyskujemy informację o typie instrumentu oraz jego budowie - najczęściej materiału, z którego został wykonany. Podczas prowadzonych badań okazało się, że różna kompozycja wektora cech jest implementowana do opisu instrumentów blaszanych oraz inna dla instrumentów drewnianych. W tym przypadku cechą kluczową mogą być składowe wyższe harmoniczne w postaci częstotliwościowej dźwięku. Przeprowadzone eksperymenty dotyczą próby parametryzacji instrumentów dętych (aerofonów) w celu porównania skuteczności klasyfikacyjnej deskryptorów czasowych i widmowych. Do badań przeznaczono dźwięki pochodzące z tuby, fletu oraz saksofonu sopranowego. Populacja próbek dla każdego instrumentu wynosiła 21.

Słowa kluczowe: Widmo mocy, MFCC, barwa, identyfikacja instrumentów muzycznych, MPEG 7, aerofony

1. Introduction

Color of sound is the definition that defines the perception of "tone", or the so-called color of sound. The timbre makes it possible for two different instruments to play the exact same note, at the same volume, but still sound different. This is because every note is not played in isolation. There are also other subtle frequencies (pitches) at play as

well. Some are lower in pitch than your fundamental, called subtones, and some are higher in pitch, which are called overtones. These components known as "harmonics". These different harmonics are what color a sound, and give sounds certain unique timbres. The tone analysis of musical instruments is usually based on the power spectrum to find the harmonic distribution of a given audio signal. It allows a vector of the characteris-

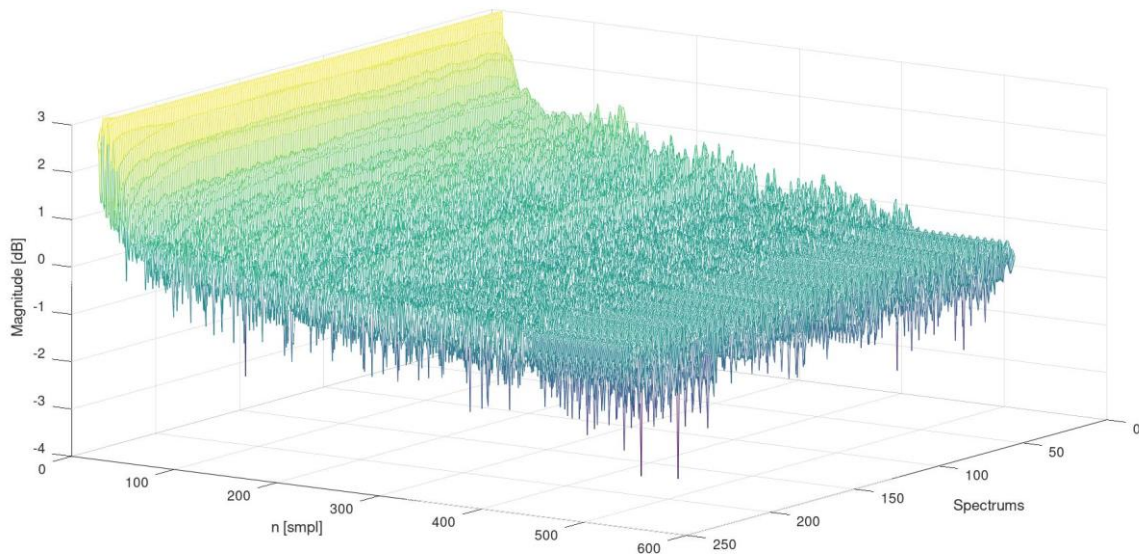
tics of the signal frequency domain to be defined. In addition, the research also used time domain descriptors, which also describe the physical characteristics of the sound of aerophones. The research used the definition of descriptors commonly used in the MPEG 7 standard [1][4][18][19]. Moreover, it was proposed to use the MFCC (mel frequency cepstral coefficients) for color classification and identification of musical instruments. The motivation to use the MFCC is the effectiveness of speech and sound recognition using these parameters[11] [12] [17]. The paper proposes a vector of spectral features: Spectral Centroid and Irregularity of spectrum. The ZCR (Zero-Crossing Rate), RMS (root mean square), Short-Time-Energy (STE) and Signal mean value (SMV) descriptors were used to parameterize the signal time domain. The recognition efficiency was verified by the standard classification of algorithms provided by the WEKA system.

2. Materials and methods

Sound samples from 3 wind-instruments (aerophones) such as: flute, tuba and soprano saxophone were used for the

research. 21 mono sounds in wav format have been recorded for each instrument. The sampling frequency is 44.1 kHz and the bit resolution is 16 [bits]. The time duration of the sounds ranged from 2 to 4 seconds, depending on the natural characteristics of the music instrument. The aim of the research was to compare the effectiveness of audio descriptors for the purpose of recognizing sounds from the tested musical instruments. The Octave programming environment was used to carry out the research. For the purpose of parameterisation of the signal in the frequency domain, whole the signal in the time domain was taken and then fragmented into windows with a length of 20 ms. To reduce spectrum leakage, each window was multiplied by the Hamming window, then discrete fourier transform (DFT) was performed on each window [1][2][10]. In addition, a 10ms length overlap was used. Finally, the matrix of the spectra of the analysed sound was obtained. Moreover all spectral forms have been normalised[8][6][7]. The matrix of the spectra of the soprano saxophone sound is shown in Fig. 1

Figure 1. Matrix of spectra of the soprano saxophone sound.



The values of spectral descriptors were obtained on each spectrum in the matrix and then the average value was calculated. The following parameters from the MPEG-7 audio

standard describing the frequency domain of the signal were applied for each spectrum[5][3]:

1. SpectralCentroid (SC)

The Spectral centroid of a spectrum (also known as spectral center of gravity) is the frequency weighted average of the spectrum. The definition is also related to the concept of auditory brightness. Low centroid values indicate a dark sound and high values indicate a bright sound.

$$SC = \frac{\sum_{i=0}^n A(i) \cdot i}{\sum_{i=0}^n A(i)} \quad (1)$$

where:

A(i) is amplitude of the i-th component (harmonic)

i - index of the i-th partial

2. Irregularity of spectrum (Ir)

$$Ir = \log(20 \sum_{i=2}^{N-1} |\log \frac{A(i)}{\sqrt[3]{A(i-1) \cdot A(i+1)}}|) \quad (2)$$

where:

A(i) is amplitude of the i-th partial (harmonic)

N - number of available harmonic

The following descriptors from time domain were also used during the research[5][3][13]:

3. The Zero-Crossing Rate (ZCR) of an audio frame is the rate of sign-changes of the signal during the frame. It means, it is the number of times the signal changes value, from positive to negative and vice versa, divided by the length of the frame. The ZCR is defined according to the following equation [4][9]:

$$Z(i) = \frac{1}{2W_L} \sum_{n=1}^{W_L} |\text{sgn}[x_i(n)] - \text{sgn}[x_i(n-1)]| \quad (3)$$

Where $\text{sgn}(\cdot)$ is the function, i.e.

$$\text{gn}[x_i(n)] = \begin{cases} 1, & x_i(n) \geq 0, \\ -1, & x_i(n) < 0. \end{cases} \quad (4)$$

ZCR is part of MPEG 7 standard (audio part) and determines a signal changes from positive to zero to negative or from negative to zero to positive. Its value has been widely used in both speech recognition and music information retrieval in musical instruments also.

4. Short-Time-Energy (STE) is an effective feature that is widely used in the classification of sound. It is defined as the sum of a squared time domain sequence of data. As the STE is a measure of the energy in a signal, it is suitable for differentiation between speech and music. The STE is expressed by the formula:

$$STE = \sum_{n=1}^N x^2(n) \quad (5)$$

Where:

x(n) - is the value of n-th sample

n - Index of the sample

N - signal length (total number of samples in the processing window)

5. Signal mean value (SMV) - the mean value of the input signal computed over a running average window of one cycle of the specified fundamental frequency. Calculated by adding the values of all samples and divided by N. The SMV is expressed by the formula:

$$SMV = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x(n) \quad (6)$$

6. The root-mean-square (RMS) value is the root of the arithmetic mean of the squares of the components in a signal. The RMS feature, which is widely used for speech and sound recognition, is defined by the equation[2]:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x^2(n)} \quad (7)$$

where:

N - signal length (total number of samples in the processing window)

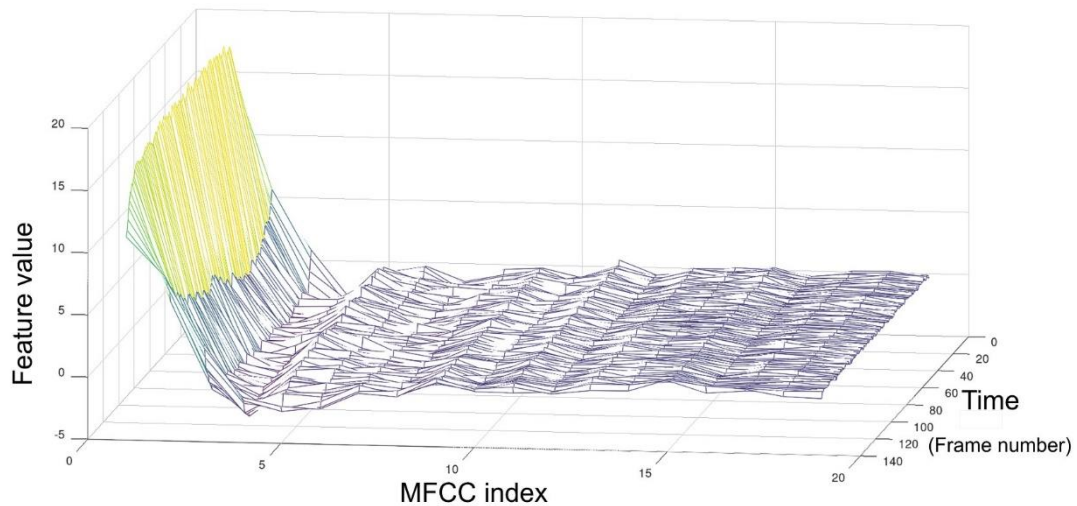
x - is the value of n-th sample

MFCC coefficients: Representing the signal features in the form of MFCC (mel frequency cepstral coefficients) coefficients is a common technique used in recognition features of sound. MFCC coefficients can be obtained by following these steps[14][15][16]:

- Pre-emphasis
- Hanning (or Hamming) windowing
- FFT to obtain power spectrum
- Discrete cosine transform to obtain MFCC

MFCC coefficients were used to parameterization studied music instruments. A filter bank mel = 20 was used. An exemplary representation of the MFCC feature distribution (20 coefficients) for tuba is shown in Figure 2.

Figure 2. MFCC features of the tuba sound (tone D4)



3. Results

The effectiveness of the above feature vectors was tested using the WEKA package, which provides generally used classification algorithms and learning methods. The results of the experiment were presented using the error matrixes. The focus is on the overall recognition of the instruments and the individual classification too.

Table 1: Error matrix for classification. Used K-NN, cross-validation method (k=10). General recognition 80%. Features vector containing MFCC (19 descriptors)

a	b	c	Classified
71	0	29	a = flute
0	100	0	b = tube
32	0	68	c = sax_soprano

Table 2: Error matrix for classification. Used K-NN, cross-validation method (k=10). General recognition 43,1%. Features vector containing only two descriptors: Ir and Br

a	b	c	Classified
19	33	48	a = flute
18	64	18	b = tube
32	23	45	c = sax_soprano

Table 3: Error matrix for classification. Used K-NN, cross-validation method (k=10). General recognition 80%. Features vector containing MFCC (19 descriptors) and additionally Ir and Br

a	b	c	Classified
71	0	29	a = flute
0	100	0	b = tube
32	0	68	c = sax_soprano

In this case, we can see that the add of Ir and Br descriptors did not increase the general and individual recognition. The result obtained is identical to the classification using only MFCC descriptors - see Table 1.

Table 4: Error matrix for classification. Used K-NN, cross-validation method (k=10). General recognition 75,38%. Features vector containing ZCR, STE, SMV, RMS

a	b	c	Classified
71	0	29	a = flute
0	95	4,5	b = tube
32	9,1	59	c = sax_soprano

Table 5: Error matrix for classification. Used K-NN, cross-validation method (k=10). General recognition 92,31%. Features vector containing all tested descriptors: MFCC(19 descriptors), Ir, Br, ZCR, STE, SMV, RMS

a	b	c	Classified
90	0	9,5	a = flute
0	100	0	b = tube
14	0	86	c = sax_soprano

The above tables present the results of the classification using k-NN and cross validation for k = 10. However, it should be noted that the presented feature vectors could to return different (higher or lower) classification results by implementing other classification algorithms. For example, a regression classifier implementing the M5 tree algorithm for the Ir and Br descriptors gives much better results than the k-NN (compare with Table 2 results). The error matrix for this classification is presented below.

Table 6: Error matrix for classification. Used the regression classifier implementing the M5 tree algorithm, cross-validation method (k=10). General recognition 64,6%. Features vector containing only two descriptors: Ir and Br

a	b	c	Classified
0	43	57	a = flute
0	91	9,1	b = tube
0	0	100	c = sax_soprano

In table 6, presenting the classification of three instruments based on only two descriptors, we can see a very good (100%) recognition of the soprano saxophone and a good (91%) recognition of the tube. Unfortunately, the flute was not recognized at all by Br and Ir descriptors.

4. Summary

The results of the study proved that the analysis of the sounds of musical instruments provides different recognition efficiencies depending on the features vector used. Feature vectors containing the MFCC parameters show a higher efficiency of those instruments recognition. It should be noted that the obtained classification results are very satisfactory - the more so as 3 musical instruments from the same group were analyzed. The best results were achieved using K-NN and a feature vector containing 25 descriptors including the first MFCC parameters, Ir, Br and

descriptors of time domain. As predicted, the MFCC parameters show the highest classification efficiency. It should be noted that the K-NN classifier correlates very well with the proposed feature vectors (except for the 2-element feature vector: Ir and Br), reaching the overall recognition rate of between 80% and 92%. The above degree of recognition can be considered a very good result of the research.

References

1. Kim H-G, Moreau N, Sikora T. (2005) "MPEG7 Audio and Beyond - audio content indexing and retrieval." John Wiley & Sons, Ltd.
2. Tyburek K, Prokopowicz P, Kotlarz P. (2014) "Computational intelligence in a classification of audio recordings of nature." In: Proc. of the 6th International Conference on Fuzzy Computation Theory and Applications, Scitepress - Science and Technology Publications. Rome, Italy.
3. Tyburek K, Prokopowicz P, Kotlarz P, Repka M. (2015) "Comparison of the Efficiency of Time and Frequency Descriptors Based on Different Classification Conceptions, Artificial Intelligence and Soft Computing," Volume 9119 of the series Lecture Notes in Computer Science pp 491-502.
4. Lindsay AT, Burnett I, Quackenbush S, Jackson M. (2002) "Fundamentals of audio descriptions, in Introduction to MPEG-7" Multimedia Content Description Interface by Manjunath, B S, Salembier, P, Sikora, T, John Wiley and Sons, Ltd. pp. 283-298.
5. Tyburek K, Prokopowicz P, Kotlarz P. (2014) "Fuzzy System for the Classification of Sounds of Birds Based on the Audio Descriptors", Artificial Intelligence and Soft Computing Lecture Notes in Computer Science; 8468:700-709.
6. Tyburek K, (2021) „The Folk Music Instrument Identification, Ocarina as an Example” Innovation Management and Sustainable Economic Development in the Era of Global Pandemic. Proceedings of the 38th International Business Information Management Association Conference (IBIMA), p.p 2188-2196, ISBN: 978-0-9998551-7-1
7. Tyburek K, Kotlarz P, „Histogram Features for Recognition Species of Birds”, Innovation Management and information Technology impact on Global Economy in the Era of Pandemic. Proceedings of the 37th International Business Information Management

- Association Conference (IBIMA), p.p 974-982, ISBN: 978-0-9998551-6-4.
8. Tyburek K, „Parameterisation of human speech after total laryngectomy surgery”, *Computer Speech and Language* - 2022, Vol. 72, art. no 101313, p- ISSN: 0885-2308, DOI: 10.1016/j.csl.2021.101313
9. Prokopowicz P., Mikołajewski D., Tyburek K., Mikołajewska E. (2020) “Computational gait analysis for post-stroke rehabilitation purposes using fuzzy numbers, fractal dimension and neural networks.” *Bulletin of the Polish Academy of Sciences - Technical Science*, 68(2):191-198
10. Prokopowicz P., Mikołajewski D., Tyburek K., Mikołajewska E., Kotlarz P. (2019) “AI-Based Analysis of Selected Gait Parameters in Post-stroke Patients.” In: Choraś M., Choraś R. (eds.) *Image Processing and Communications. IP&C. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 1062. Springer, Cham, pp. 197-205
11. B. Logan, “Mel Frequency Cepstral Coefficients for Music Modeling,” *Proc. Int. Symp. on Music Information Retrieval (ISMIR)* (2000).
12. C. W. Weng, C. Y. Lin, and J. S. R. Jang, “Music Instrument Identification Using MFCC: Erhu as an Example,” in *Proc. 9th Int. Conf. of the Asia Pacific Society for Ethnomusicology* (Phnom Penh, Cambodia, 2004), pp. 42–43.
13. W. Brent, “Perceptually Based Pitch Scales in Cepstral Techniques for Percussive Timbre Identification,” in *Proc. 2009 Int. Computer Music Conf.* (2009), pp. 121–124.
14. A. B. Horner, J. W. Beauchamp, and R. H. Y. So, “Detection of Random Alterations to Time-Varying Musical Instrument Spectra,” *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 116, pp. 1800–1810 (2004).
15. D. Gunawan and D. Sen, “Spectral Envelope Sensitivity of Musical Instrument Sounds,” *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 123, pp. 500–506 (2008).
16. A. K. Datta, S. S. Solanki, R. Sengupta, S. Chakraborty, K. Mahto, and A. Patranabis. *Automatic Musical Instrument Recognition*, pages 167–232. Springer Singapore, Singapore, 2017.
17. A. J. Eronen and A. Klapuri. Musical instrument recognition using cepstral coefficients and temporal features. In *Proc. of IEEE Int’l Conf. on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP)*, pages 753–756. IEEE, 2000
18. C. Marechal and D. Miko lajewski and K. Tyburek and P. Prokopowicz and L. Bougueroua and C. Ancourt and K. Wgrzyn-Wolska, *Survey on AIBased Multimodal Methods for Emotion Detection in High-Performance Modelling and Simulation for Big Data* (2019), Springer Int. Publ. Cham : Springer International Publishing, 2019, vol.11400, pp. 307 - 324, isbn=978-3-030-16272-6
19. P. Prokopowicz and D. Miko lajewski and K. Tyburek and P. Kotlarz, *Fuzzy-based Description of Computational Complexity of Central Nervous Systems. Journal of Telecommunications and Information Technology* (2020), vol. 3, pp. 57 - 66, DOI 10.26636/jtit.2020.1456

Częstotliwość występowania zaburzeń rozwoju sprawności ręki w zakresie samoobsługi, grafomotoryki i innych czynności szkolnych - analiza obliczeniowa

Emilia Mikołajewska*¹, Dariusz Mikołajewski²

¹*Katedra Fizjoterapii, Wydział Nauk o Zdrowiu, Collegium Medicum im. Ludwika Rydygiera w Bydgoszczy, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, ul. Jagiellońska 13/15, 85-067 Bydgoszcz
e-mail: emiliam@cm.umk.pl*

²*Instytut Informatyki, Uniwersytet Kazimierza Wielkiego, ul. Kopernika 1, 85-064 Bydgoszcz
e-mail: dmikolaj@ukw.edu.pl*

Streszczenie: Jedną z przyczyn trudności samoobsługowych i grafomotorycznych są opóźnienia lub brak rozwoju chwyt podstawowych. Celem pracy było określenie częstotliwości występowania zaburzeń rozwoju sprawności ręki w zakresie samoobsługi, grafomotoryki i innych czynności szkolnych oraz wypracowanie podstaw do wdrożenia ich modelu obliczeniowego. Tylko 6% dzieci nie miało żadnych deficytów, a prawie 41% miało deficyty tylko w zakresie funkcji ręki. Model obliczeniowy ułatwił analizę oraz stanowi obiecujące rozwiązanie na przyszłość: do gromadzenia, analizy i predykcji wyników.

Słowa kluczowe: rehabilitacja, ręka, grafomotoryka, deficyty ręki, terapia ręki, model obliczeniowy, sztuczne sieci neuronowe.

Prevalence of hand development disorders in self-care, graphomotor and other school activities - a computational analysis

Abstract: One of the causes of self-service and graphomotor difficulties is delays or lack of development of the basic grasp. The aim of the study was to determine the frequency of hand developmental impairments in self-care, graphomotor and other school activities and to develop a basis for implementing their computational model. Only 6% of the children had no deficits, and almost 41% had deficits only in hand function. The computational model facilitated the analysis and is a promising solution for the future: for collecting, analysing and predicting results.

Keywords: rehabilitation, hand, graphomotorics, hand deficits, hand therapy, computational model, artificial neural networks.

1. Wprowadzenie

Ocena funkcjonowania motorycznego u małych dzieci stała się w ostatnich latach coraz ważniejsza, ponieważ uznano, że upośledzenie motoryczne jest związane z trudnościami poznawczymi, językowymi, społecznymi i emocjonalnymi [1]. Z dotychczasowej literatury nie wynika jasno, co należy oceniać w odniesieniu do funkcjonowania motorycznego, ponadto nie ma jednego złotego standardu czy narzędzia do badania zdolności motorycznych u dzieci [1, 2]. Jedną z przyczyn trudności samoobsługowych i grafomotorycznych są opóźnienia lub brak rozwoju chwytów podstawowych (hakowy, cylindryczny, szczypcowy, trójpunktowy, obustronny, oburęczny). Celem pracy jest określenie częstotliwości

występowania zaburzeń sprawności ręki dzieci w aspekcie czynności samoobsługowych i grafomotorycznych.

1.1. Umiejętności samoobsługowe

Terminowy rozwój kamieni milowych sprawności ręki w zakresie samoobsługi wpływa na adekwatny do wieku stopień samodzielności dziecka w żłobku, przedszkolu, a później w szkole oraz warunkuje niezależność dziecka w tym zakresie. Stąd tak ważne by te czynności były poddawane ocenie a w przypadku opóźnień treningowi. Rozwój omawianych kamieni milowych sprawności ręki w zakresie samoobsługi zawiera:

- jedzenie,
- rozbieranie i ubieranie (ubieranie)
- rozsuwanie i zasuwanie suwaków (suwaki),

- rozpinanie i zapinanie guzików (guziki),
- higieniczne (mycie, czynności toaletowe).

1.2. Umiejętności grafomotoryczne

Terminowy rozwój kamieni milowych grafomotorycznych zapewnia postępy w zakresie pisania niezbędne podczas realizacji obowiązku szkolnego. Zaburzenia w tym zakresie mogą wpływać na gorszą jakość pisma, jego niezrozumiałość a poprzez to opóźnienie w tempie pisania oraz gorszą ocenę przez otoczenie szkolne, co może owocować np. niechęcią i wycofaniem się dziecka z grupy rówieśniczej.

Rozwój omawianych kamieni milowych w zakresie sprawności ręki grafomotorycznych i innych szkolnych to:

- chwyt grafomotoryczny 1 (chg1),
- chwyt grafomotoryczny 2 (chg2),
- chwyt grafomotoryczny 3 (chg3),
- chwyt grafomotoryczny 4 (chg4),
- cięcie nożyczkami,
- temperowanie,
- klejenie.

1.3. Cel pracy

Celem pracy było określenie częstotliwości występowania zaburzeń rozwoju sprawności ręki w zakresie samoobsługi, grafomotoryki i innych czynności szkolnych oraz wypracowanie podstaw do wdrożenia ich modelu obliczeniowego.

2. Materiał i metody

2.1. Materiał

Wykorzystano wyniki badań diagnostycznych pacjentów z opieki ambulatoryjnej z lat 2018-2022. W badaniu wykorzystano wyniki badań diagnostycznych dzieci. Rodzice zgłaszali się z dziećmi z inicjatywy własnej określając dostrzegane nieprawidłowości. Jako kryterium włączenia przyjęto wiek <18 r.ż., brak porażenia lub amputacji kończyn górnych. Jako kryterium wyłączenia z badań przyjęto wiek > lub równy 18 lat, porażenie lub amputacja kończyn górnych.

Terapeuta prowadzący, pracujący z pacjentami dorosłymi i dziećmi. W zakresie terapii dzieci specjalizował się w:

- terapii w zakresie opóźnień rozwoju ruchowego i odruchowego,
- wadach postawy i stóp,
- zaburzeniach traktu ustno-twarzowego,

- zaburzeniach w zakresie motoryki małej (samoobsługi i grafomotoryki),
- co warunkowało pacjentów z różnymi problemami funkcjonalnymi.

Tabela 1. Charakterystyka grupy badanej (N=66).

Parametr	Wartość
Wiek:	
- wartość minimalna	3-m-ce
- wartość maksymalna	16 lat
- średnia	5,30
- odchylenie standardowe	1,20
- mediana	6
Płeć:	
- K	30 (45,45%)
- M	36(54,55%)

2.2. Metody badawcze

Badanie retrospektywne. Każde dziecko miało wykonaną diagnozę funkcjonalną fizjoterapeutyczną.

2.3. Analiza statystyczna

Wyniki badań, obliczeń i modeli zapisywano w arkuszu kalkulacyjnym MS Excel.

Analizę statystyczną przeprowadzono przy użyciu programu Statistica 13 (StatSoft, Tulsa, USA).

Normalność rozkładu danych sprawdzono za pomocą testu Shapiro-Wilka. Dla potrzeb określenia istotności statystycznej różnic ustalono wartość p na poziomie 0.

Analizowane wartości o rozkładzie zbliżonym do rozkładu normalnego przedstawiono jako wartości średnie i odchylenie standardowe (SD). Analizowane wartości o rozkładach różnych od rozkładu normalnego przedstawiono za pomocą wartości minimalnej, dolnego kwartyła (Q1), mediany, górnego kwartyła (Q3) i wartości maksymalnej.

Kierunek i siłę korelacji pomiędzy analizowanymi danymi przedstawiono za pomocą współczynnika Rho Spearmana.

2.4. Analiza obliczeniowa

Jako sztuczną sieć neuronową do rozwiązania wykorzystano sieć neuronową typu feed-forward z algorytmem wstecznej propagacji napisaną w środowisku programistycznym Matlab. Podczas budowy sieci zbudowano wiele eksperymentalnych ANN, a w artykule przedstawiono tylko najbardziej obiecujące. Warunkami doboru parametrów wejściowych były:

- jednorodne wartości,

- normalizacja danych wejściowych.
- Struktura sieci neuronowej została wybrana na podstawie wiedzy programisty oraz metodą prób i błędów. Zastosowaliśmy:
- trójwarstwową sieć neuronową typu forward (rysunek 2),
- algorytm wstecznej propagacji (ang. *backpropagation* - BP),
- naiwne techniki inicjalizacji.

3. Wyniki

Wyniki badania przedstawiono w tabelach 2-6.

Tabela 2. Zbiorcze wyniki badania.

Rodzaj zaburzenia	Liczba przypadków (n=66) [-]	Udział procentowy [%]
Zaburzenia związane tylko ze sprawnością ręki	9	13,64
Zaburzenia inne niż związane z rozwojem sprawności ręki	33	50,00
Zaburzenia dotyczące sprawności ręki i inne	20	30,30
Brak zdiagnozowanych zaburzeń	4	6,06

W grupie badanej zaobserwowano 42 osoby z zaburzeniami funkcji ręki, co stanowi 63,64% badanej grupy

Tabela 3. Zaburzenia w obszarze chytów grafomotorycznych i innych umiejętności szkolnych

	Ch.g 1	Ch.g 2	Ch.g 3	Ch.g 4	Cięcie	Temp	Klej
Liczba	3	2	11	8	2	1	

W grupie badanej zaobserwowano 16 osób z zaburzeniami w zakresie chytów grafomotorycznych oraz 11 osób z zaburzeniami w zakresie innych umiejętności szkolnych.

Tabela 4. Zaburzenia w obszarze chwytów podstawowych

L.p	Ch hak	Ch cyl	Ch sz	Ch trj	Ch obustr	Ch obur
Liczba	3	3	9	9	4	5

W grupie badanej zaobserwowano 33 osoby tj. 50% z zaburzeniami w zakresie chwytów podstawowych.

Tabela 5. Zaburzenia w obszarze samoobsługi

L.p	Ubieranie	Suwaki	Guziki	Jedzenie	Higieniczne
Liczba	2	2	2	0	0

W grupie badanej zaobserwowano 6 osób z zaburzeniami w zakresie samoobsługi.

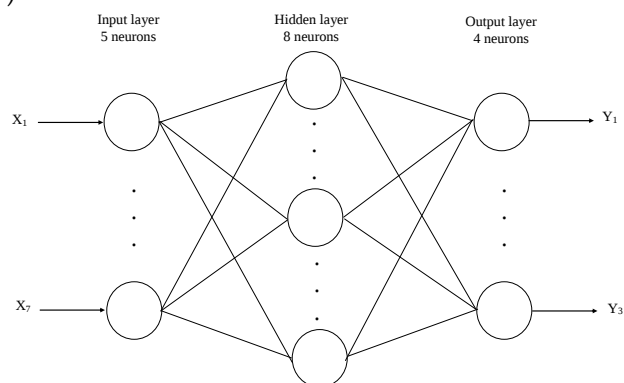
Przy analizie zależności deficytów od wieku najwięcej deficytów zaobserwowano w przedziale wieku do 3 lat (Tabela 6).

Tabela 6. Liczba deficytów wg grup wiekowych.

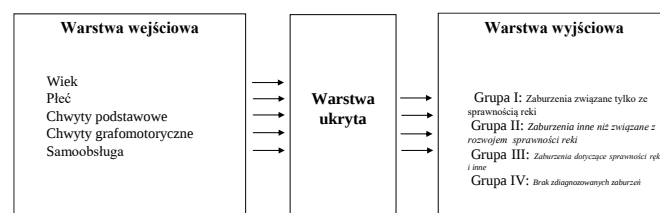
Rodzaj deficytu	Wiek [lata]					
	do 3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18
Tylko ręka	2	3	4	0	0	0
Ręka i inne	10	3	4	3	0	0
Inne	14	2	7	5	4	1
Bez zab	3	1	0	0	0	0
Razem	29	9	15	8	4	1

Przy analizie zależności deficytów od płci: więcej deficytów w obszarze dysfunkcji ręki zaobserwowano u chłopców niż u dziewcząt.

a)

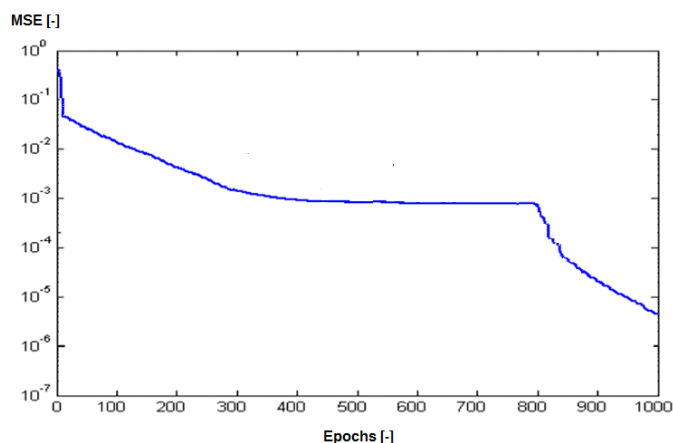


b)



Rysunek 1. Struktura sieci neuronowej.

Wszystkie warstwy sieci neuronowej wykorzystywały sigmoidalną funkcję aktywacji.



Rysunek 2. Zmiana wartości błędu średniokwadratowego (MSE) podczas uczenia sieci.

Tabela 7. Ocena jakości wybranych sztucznych sieci neuronowych.

Nazwa sieci	Jakość (uczenie)	Jakość (testowanie)
MLP 5-6-4	0.8223	0.8445
MLP 5-7-4	0.8813	0.8967
MLP 5-8-4	0.9111	0.9207
MLP 5-9-4	0.8889	0.8943
MLP 5-10-4	0.8698	0.8733

Tabela 8. Wartości MSE dla sieci neuronowych użytych w badaniu.

Nazwa sieci	MSE
MLP 5-6-4	0.02
MLP 5-7-4	0.01
MLP 5-8-4	0.001
MLP 5-9-4	0.01
MLP 5-10-4	0.02

4. Dyskusja

Dzieciństwo charakteryzuje się dużą neuroplastycznością wpływającą na naukę motoryki, sprawność fizyczną i rozwój poznawczy. Pomimo ponad 50 lat od czasów pierwszej indeksowanej publikacji nt. zaburzeń funkcji ręki u dzieci wciąż widoczne są luki badawcze. Dużo uwagi poświęca się powiązaniu między sprawnością fizyczną a zdolnościami poznawczymi w dzieciństwie, szczególnie w obliczu obserwowanego spadku sprawności fizycznej

u dzieci. Postawiono hipotezę, że elementy sprawności fizycznej wymagające precyzyjnej koordynacji w porównaniu z prostymi elementami sprawności są silniej powiązane z uwagą. Wyniki dotychczasowych badań wskazują, że wysoka biegłość dziecka w złożonych elementach sprawności fizycznej (np. skakaniu na jednej nodze) może być prognostykiem uwagi u dzieci w wieku przedszkolnym [3]. Brak jest bardziej szczegółowych badań dotyczących powiązania koordynacji funkcji ręki ze zdolnościami poznawczymi.

W badaniach dużą uwagę zwraca się na siłę chwytu ręki w populacjach pediatrycznych i wiarygodność jej pomiaru w grupach dzieci zdrowych i z deficytami oraz zróżnicowanie wyników w zależności od płci, wieku i ręki dominującej [4-6]. Zmniejszenie siły chwytu u dziecka jest brane pod uwagę przy planowaniu rehabilitacji i innych przyszłych działań (np. zaopatrzenia rehabilitacyjnego).

Obszarem szczególnego zainteresowania są deformacje kończyn górnych u dzieci i ich wpływ na rozwój motoryczny i poznawczy. W latach 2010-2015 we Włoszech na 3 100 421 żywych urodzeń u 765 dzieci zaobserwowano deformacyjne wady rozwojowe rąk i kończyn górnych. Częstość ich występowania wynosiła 2,5 na 10 000 żywych urodzeń, z przewagą u płci męskiej i po prawej stronie. Największy odsetek stanowiły polidaktylia promienista, syndaktylia prosta, simbrachidaktylia i syndaktylia złożona, a rzadziej występowały kciuk trójpalczasty,

kciuk w dłoni, synostoza bliższa kości promieniowej i deformacja Sprengela. Dziedziczenie i predyspozycje rodzinne do tych wad odnotowano w 25 przypadkach. Trzeba przy tym zauważyć, że częstość występowania deformacji kończyn górnych we Włoszech jest uważana za niższą niż w innych krajach. Pomimo spadku liczby urodzeń we Włoszech, tendencja występowania wrodzonych zaburzeń ręki utrzymuje się na stałym poziomie [7]. Z kolei w badaniach amerykańskich przeprowadzonych w stanie Nowy Jork zaobserwowano, że wrodzone anomalie kończyn górnych są częstsze niż wcześniej zgłaszano. Częstość występowania anomalii była wyższa w mieście Nowy Jork w porównaniu z populacją stanu Nowy Jork (odpowiednio 33,0 i 21,9 na 10 000 żywych urodzeń), przy dużej częstości występowania polidaktylii [8]. Częstość występowania deformacji kończyn górnych w Finlandii w latach 1993-2005 wynosiła 5,25 na 10 000 żywych urodzeń [9], natomiast na Węgrzech w latach 1975-1984 5,51 na 10 000 urodzeń [10].

Wyniki przedstawionych badań, a szczególnie ich modele obliczeniowe, już znajdują zastosowanie w budowie modeli schorzeń [11,12] i wirtualnych bliźniaków [13] osób zdrowych i pacjentów z dysfunkcjami.

Automatyzacja

i obiektywizacja diagnostyki, terapii, rehabilitacji i opieki wpłynę na wzrost efektywności terapii zdalnych, w tym telerehabilitacji [14,15], w tym poprzez stosowanie zaawansowanych rozwiązań technologicznych [16,17] i materiałowych [18,19]. Kierunki dalszych badań stanowią w szczególności:

- badanie tzw. dynamicznej normy, tj. modeli obliczeniowych dzieci zdrowych w zależności od wieku, płci, budowy i innych czynników, aktualizowanych w czasie rzeczywistym na podstawie pomiarów z urządzeń noszonych przez same dzieci podczas normalnej aktywności,
- badanie i wczesne wykrywanie opisywanych grup deficytów funkcji ręki, również autoamtyczne i półautomatyczne,
- opracowanie systemu profilaktyki, monitorowania i terapii ww. deficytów oraz reagowania na zmiany w ich rodzaju i stopniu,
- modele deficytów (w tym cyfrowe bliźniaki), w tym na potrzeby terapii personalizowanej,
- model predykcyjne, wskazujące na konieczność podjęcia określonych działań prewencyjnych w określonych populacjach w ściśle określonych punktach czasowych,
- wzrost świadomości społecznej w obszarze deficytów ręki.

Ograniczenie badań stanowi ich niewielka ilość oraz ograniczona próba (również: terytorialnie). Z ww. względów należy ją traktować jako badanie wstępne.

5. Wnioski

Konieczne jest zintegrowanie wyników i metodyki niniejszego badania retrospektywnego z analizą prospektywną, zarejestrowanie częstości występowania dysfunkcji rąk oraz wdrożenie strategii ich wczesnej diagnostyki i terapii. Modelowanie obliczeniowe może zapewnić efektywniejsze metody i narzędzia analityczne, jednak kluczowa pozostaje współpraca interdyscyplinarna pozwalająca efektywniej wykorzystać istniejące możliwości [20]. Konieczne jest uwzględnienie specyfiki pacjentów oraz jej zmian w czasie (np. skutków rozpowszechnienia smartfonów i tabletów wśród dzieci), mogące wpływać na aktualność badań [21,22].

Literatura

1. Piek J.P., Hands B., Licari M.K. Assessment of motor functioning in the preschool period. *Neuropsychol Rev.* 2012;22(4):402-13.
2. van Dokkum N.H., Reijneveld S.A., de Best J.T.B.W., Hamoen M., Te Wierike S.C.M., Bos A.F., de Kroon M.L.A. Criterion Validity and Applicability of Motor Screening Instruments in Children Aged 5-6 Years: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(2):781.
3. Wick K., Kriemler S., Granacher U. Associations between measures of physical fitness and cognitive performance in preschool children. *BMC Sports Sci Med Rehabil.* 2022;14(1):80.
4. Gąsior J.S., Pawłowski M., Jeleń P.J., Rameckers E.A., Williams C.A., Makuch R., Werner B. Test-Retest Reliability of Handgrip Strength Measurement in Children and Preadolescents. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17(21):8026.
5. de Souza M.A., Martinez E.Z., da Silva Lizzi E.A., Cezarani A., de Queiroz Davoli G.B., Bená M.I., da Rosa Sobreira C.F., Mattiello-Sverzut A.C. Alternative instrument for the evaluation of handgrip strength in Duchenne muscular dystrophy. *BMC Pediatr.* 2022;22(1):334.
6. Buitenhuis S.M., Pondaag W., Wolterbeek R., Malessy M.J.A. Gripforce reduction in children with an upper neonatal brachial plexus palsy. *J Rehabil Med.* 2022;53(8):jrm00219.
7. Senes F.M., Calevo M.G., Adani R., Baldrighi C., Bassetto F., Corain M., Landi A., Lando M., Monticelli A., Novelli C., Pajardi G., Rosanda E., Rossello M.I., Santecchia L., Zoccolan A., Catena N. Hand and Upper Limb Malformations in Italy: A Multicentric Study. *J Hand Surg Asian Pac Vol.* 2021;26(3):345-350.
8. Goldfarb C.A., Shaw N., Steffen J.A., Wall L.B. The Prevalence of Congenital Hand and Upper Extremity Anomalies Based Upon the New York Congenital Malformations Registry. *J Pediatr Orthop.* 2017;37(2):144-148.
9. Koskimies E., Lindfors N., Gissler M., Peltonen J., Nietosvaara Y. Congenital upper limb deficiencies and associated malformations in Finland: a population-based study. *J Hand Surg Am.* 2011;36(6):1058-65.
10. Evans J.A., Vitez M., Czeizel A. Congenital abnormalities associated with limb deficiency defects: a population study based on cases from the Hungarian Congenital Malformation Registry (1975-1984). *Am J Med Genet.* 1994;49(1):52-66.
11. Mikołajewski, D.; Prokopowicz, P. Effect of COVID-19 on Selected Characteristics of Life Satisfaction Reflected in a Fuzzy Model. *Appl. Sci.* 2022;12:7376.
12. Prokopowicz, P.; Mikołajewski, D. Fuzzy Approach to Computational Classification of Burnout—Preliminary Findings. *Appl. Sci.* 2022;1: 3767.
13. Rojek I., Mikołajewski D., Dostatni E. Digital twins in product lifecycle for sustainability in manufacturing and maintenance. *Applied Sciences* 2021; 11(1):31.
14. Mikołajewska E., Mikołajewski D. Roboty rehabilitacyjne. *Rehabil. Prakt* 2010; 4:49-53.
15. Mikołajewska E., Mikołajewski D. Zastosowania automatyki i robotyki w wózkach dla niepełnosprawnych i egzoszkieletach medycznych. *Pomiary Automatyka Robotyka* 2011; 15(5), 58-63.

16. Mikołajewska E., Mikołajewski D. Ethical considerations in the use of brain-computer interfaces. *Central European Journal of Medicine* 2013; 8(6):720-724.
17. Mikołajewska E., Mikołajewski D. Informatyka afektywna w zastosowaniach cywilnych i wojskowych. *Zeszyty Naukowe/Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych im. gen. T. Kościuszki* 2013; 2: 171-184
18. Macko, M., Szczepański, Z., Mikołajewski, D., Mikołajewska, E., Listopadzki, S. The Method of Artificial Organs Fabrication Based on Reverse Engineering in Medicine. In: Rusiński, E., Pietrusiak, D. (eds) *Proceedings of the 13th International Scientific Conference RESRB 2016. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham 2017. https://doi.org/10.1007/978-3-319-50938-9_36
19. Rojek I, Mikołajewski D, Dostatni E, Macko M. AI-Optimized Technological Aspects of the Material Used in 3D Printing Processes for Selected Medical Applications. *Materials*. 2020; 13(23):5437.
20. Kim E., Won Y., Shin J. Analysis of Children's Physical Characteristics Based on Clustering Analysis. *Children*. 2021;8(6):485.
21. Mikołajewska E. Mikołajewski D. *Terapia Ręki. Podstawy diagnozy i terapii*. FEM Bydgoszcz 2021.
22. Mikołajewska E. Mikołajewski D. *Terapia Ręki. Grafomotoryka*. FEM Bydgoszcz 2021.

Egzoszkielec na rękę - koncepcja i rozwój w ramach grantu "Rzeczy są dla ludzi"

Izabela Rojek^{1*}, Mariusz Kaczmarek², Piotr Kotlarz¹, Marcin Kempniński², Dariusz Mikołajewski¹,
Zbigniew Szczepański², Jakub Kopowski¹, Joanna Nowak², Marek Macko², Tomasz Schmidt³,
Paweł Leszczyński³

¹ Instytut Informatyki, Uniwersytet Kazimierza Wielkiego, ul. Kopernika 1, 85-074 Bydgoszcz
*e-mail: izabela.rojek@ukw.edu.pl

² Wydział Mechatroniki, Uniwersytet Kazimierza Wielkiego, ul. Kopernika 1, 85-074 Bydgoszcz

³ Edurewolucje Sp. z o.o., ul. Braci Bażańskich 5/1, 85-799 Bydgoszcz

Streszczenie: Instytut Informatyki oraz Wydział Mechatroniki Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego wraz z firmą Edurewolucje Sp. z o. o. z/s w Bydgoszczy w ramach konkursu Narodowego Centrum Badań i Rozwoju "Rzeczy są dla ludzi" otrzymali dofinansowanie na realizację przedsięwzięcia pn. „Opracowanie funkcjonalnego egzoszkieletu ręki do aktywnego treningu i rehabilitacji”. Celem projektu jest realizacja prac badawczo-rozwojowych prowadzących do opracowania innowacyjnej technologii pozwalającej na samodzielną rehabilitację osób ze szczególnymi potrzebami (przy udziale rehabilitantów i fizjoterapeutów). Projekt przewiduje skonstruowanie prototypu mechanicznego robota rehabilitacyjnego tzw. egzoszkieletu ręki, który wspomogłby proces rehabilitacji osób z jej niedowładem oraz innymi szczególnymi potrzebami dotyczącymi braku mobilności w obszarze ręki. W ramach projektu powstanie specjalistyczne, dedykowane oprogramowanie, które będzie dostosowywało siłę i rodzaj pracy egzoszkieletu na rękę do aktualnych potrzeb i celów programu rehabilitacyjnego pacjenta. Celem niniejszej pracy jest przybliżenie powstania i rozwoju ww. koncepcji w ramach zespołu projektowego podczas dotychczasowych prac projektowych.

Słowa kluczowe: ręka; druk 3D; biomechanika; projektowanie wspomagane komputerowo; egzoszkielec

Arm exoskeleton - concept and development under the grant "Things are for people"

Abstract: The Institute of Computer Science and the Faculty of Mechatronics at Kazimierz Wielki University, together with Edurewolucje Sp. z o. o. z/s in Bydgoszcz, received funding under the 'Things are for people' competition of the National Centre for Research and Development for the project entitled 'Development of a functional arm exoskeleton for active training and rehabilitation'. The aim of the project is to carry out research and development work leading to the development of an innovative technology allowing for the independent rehabilitation of people with special needs (with the participation of rehabilitators and physiotherapists). The project envisages the construction of a prototype of a mechanical rehabilitation robot, the so-called hand exoskeleton, which will support the process of rehabilitation of people with paresis and other specific needs regarding lack of mobility in the hand area. The project will develop specialised, dedicated software that will adapt the strength and type of work of the hand exoskeleton to the current needs and goals of the patient's rehabilitation programme. The aim of this paper is to provide an insight into the origins and development of the above concept within the project team during the project work to date.

Keywords: hand; additive manufacturing; biomechanics; computer-aided design; exoskeleton.

1. Wprowadzenie

Problem naukowy, kliniczny, gospodarczy i społeczny dotyczący badań, zaprojektowania i wykonania egzoszkieletu na rękę (tj. część kończyny górnej od nadgarstka do czubków palców) możliwego do masowej produkcji i powszechnego wykorzystania skupia uwagę

inżynierów, naukowców i klinicystów od wielu już lat. Ze względu na złożone funkcje manipulacyjne kończyny górnej i precyzję ruchów tego najdoskonalszego naturalnego narzędzia człowieka badania naukowe w tym obszarze dotyczą zarówno ręki zdrowej, jak i ręki z różnymi rodzajami i stopniami deficytów, zarówno motorycznych (w obszarze układu ruchu), jak i o podłożu

neurologicznym (w obszarze czucia i sterowania ruchem oraz koordynacji ruchowej). Wynika to też z faktu, że epidemię schorzeń cywilizacyjnych udało się nam zatrzymać, a nie cofnąć, a częstymi skutkami udarów, uszkodzeń czaszkowo-mózgowych czy uszkodzeń rdzenia kręgowego są deficyty ruchowe skutkujące mniejszą samodzielnością pacjentów, w tym w czynnościach życia codziennego wymagających sprawności ręki (mycie, czesanie, ubieranie, przygotowywanie i spożywanie posiłków itp.), ale również w nauce i pracy [1-4].

W ostatnich dekadach postępy w praktyce klinicznej w rehabilitacji i fizjoterapii są ułatwione przez innowacje technologiczne wykorzystujące wiedzę neurofizjologiczną na temat zaburzonej kontroli motorycznej. Nowe kierunki badań, takie jak egzoszkielety, protezy i ortezy drukowane 3D [5], neuroprotezy, interfejsy mózg komputer [6], modele obliczeniowe pacjentów [7], diagnostyka prewencyjna, terapia personalizowana i medycyna precyzyjna [8-11] zwiększają efektywność dotychczasowych interwencji, jak również umożliwiają zastosowanie nowych metodologii i synergii technologicznych [12].

Wpisując się w ww. kierunki badań Instytut Informatyki oraz Wydział Mechatroniki Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego wraz z firmą Edurewolucje Sp. z o. o. z/s w Bydgoszczy w ramach konkursu Narodowego Centrum Badań i Rozwoju "Rzeczy są dla ludzi" otrzymali dofinansowanie na realizację przedsięwzięcia pn. „Opracowanie funkcjonalnego egzoszkieletu ręki do aktywnego treningu i rehabilitacji”. Celem projektu jest realizacja prac badawczo-rozwojowych prowadzących do opracowania innowacyjnej technologii pozwalającej na samodzielną rehabilitację osób ze szczególnymi potrzebami (przy udziale rehabilitantów i fizjoterapeutów). Projekt przewiduje skonstruowanie prototypu mechanicznego robota rehabilitacyjnego tzw. egzoszkieletu ręki, który wspomógłby proces rehabilitacji osób z jej niedowładem oraz innymi szczególnymi potrzebami dotyczącymi braku mobilności w obszarze ręki. W ramach projektu powstanie specjalistyczne, dedykowane oprogramowanie, które będzie dostosowywało siłę i rodzaj pracy egzoszkieletu na rękę do aktualnych potrzeb i celów programu rehabilitacyjnego pacjenta. Projekt ten pozwoli nie tylko na opracowanie nowatorskiego urządzenia rehabilitacyjnego, ale pozwoli również na wprowadzenie zautomatyzowanego niezależnego modelu rehabilitacyjnego samodzielnej, codziennej rehabilitacji domowej osób ze szczególnymi potrzebami w zakresie terapii ręki. Opracowanie tego typu technologii, dzięki

zredukowaniu obszaru oddziaływania egzoszkieletu do ręki, pozwoli na optymalizację kosztów produkcji i eksploatacji, a także poprawi dostępność i łatwość codziennej, często żmudnej rehabilitacji. Proponowane rozwiązanie wypełnia istniejącą lukę badawczą i kliniczną, a jego nowość polega na opracowaniu szeregu szczegółowych rozwiązań technicznych z obszaru inżynierii mechanicznej i informatyki składających się na funkcjonalny egzoszkielet na rękę. Celem niniejszej pracy jest przybliżenie powstania i rozwoju ww. koncepcji w ramach zespołu projektowego podczas dotychczasowych prac projektowych.

2. Obecny stan wiedzy w zakresie medycznych egzoszkieletów na rękę

Przegląd 4 wiodących bibliograficznych baz danych za pomocą wyspecyfikowanych słów kluczowych ("hand exoskeleton" + "medical application" i podobnych oraz ich kombinacji w j. angielskim) przyniósł 103 publikacje opublikowane w latach 1997-2022, z czego 64 (61,14%) zostały opublikowane w ciągu ostatnich 5 lat, a 90 (87,38%) w ciągu ostatnich 10 lat. Większość (52, tj. 50,49%) stanowiły publikacje poświęcone wykorzystaniu egzoszkieletu na rękę u pacjentów po udarze. Problem zastosowań medycznych egzoszkieletów na rękę jest więc stosunkowo nowy, ponadto pomimo wysiłków żadne z dotychczasowych rozwiązań nie znalazło się w produkcji masowej. Ważne jest również to, że spośród publikacji zakwalifikowanych do przeglądu jest tylko jedna praca przeglądowa oraz brak jest meta analiz, co pozwoliłoby na choćby częściowe odniesienie się do obecnego stanu badań.

W świetle analiz własnych badania w obszarze pięciopalczastych (tj. wspierających wszystkie chwytły) egzoszkieletów na rękę zakończyły się na etapie wczesnych prototypów, a na rynku technologii medycznych i w praktyce klinicznej brak jest obecnie produktu gotowego do komercjalizacji i produkcji choćby w ramach personalizowanej produkcji masowej. Taka produkcja jest możliwa w ramach paradygmatów Przemysłu 4.0 i eZdrowia [13-15]. Uważa się, że docelowo do zapewnienia efektywnego i bezpiecznego dostarczania usług zdrowotnych, edukacji online i środowiska Work from Home (WFH) (w tym w warunkach pandemii) wystarczą druk 3D, sztuczna inteligencja, przetwarzanie w chmurze, autonomiczne roboty, biosensory, usługi telemedyczne, Internet Rzeczy (IoT), wirtualna rzeczywistość (VR) i holografia [14]. Zastosowanie egzoszkieletu na rękę ma częściowo przezwyciężyć czasowy (w procesie powrotu do zdrowia)

lub długotrwały deficyt w obszarze funkcji ruchowych ręki wykorzystując do tego nieinwazyjne interfejsy człowiek-maszyna dostosowywane do konkretnych populacji pacjentów (osoby po udarach, uszkodzeniach czaszkowo-mózgowych, amputacjach, z deficytami wrodzonymi). Wykorzystanie ww. rozwiązań niemal 24 godziny na dobę przez 7 dni w tygodniu w naturalnym środowisku pacjenta w miejsce dotychczasowych sesji terapeutycznych oraz wspomaganie ruchu może poprawić nie tylko uczenie się ruchu i generowanie powtórzeń ruchowych, ale również przyspieszyć adaptację egzoszkieletu do użytkownika dzięki algorytmom sztucznej inteligencji połączonym z szybszą elektroniką i zestawami czujników. Z klinicznego punktu widzenia ma to kluczowe znaczenie dla przywracania lub zastępowania utraconej funkcji kończyny górnej, wzmacniania lub poprawiania fizjologicznego sterowania ruchem, czy też pobudzania neuroplastyczności [1-4].

3. Wpływ medycznych egzoszkieleatów na rękę na zdrowie pacjenta

Zrozumienie, w jaki sposób medyczne egzoszkieleaty na rękę wpływają na (neuro)fizjologię oraz biomechanikę ruchów człowieka ma zasadnicze znaczenie dla określenia wymagań na egzoszkieleaty, oceny ich przydatności w różnych przypadkach klinicznych oraz ciągłego doskonalenia projektu. W dotychczasowych badaniach ruchy wspomagane cechowały się znaczącą degradacją dokładności i płynności w porównaniu z ruchami nie wspomaganymi, ponadto towarzyszyła temu średnia redukcja do 60% biologicznego momentu obrotowego i spadek wysiłku mięśniowego do 65% (opóźnienie wystąpienia zmęczenia mięśni) [12]. Z ww. względów spadek wydajności kinematycznej może być uważany za techniczne ograniczenie egzoszkieleatów na rękę [12], pozwalają one jednak zminimalizować zmęczenie, utrzymać obciążenie oraz zmniejszyć ryzyko urazów, co stanowi ich dużą zaletę. W kolejnym badaniu egzoszkieletu na kończynę górną [16] stwierdzono zmniejszenie aktywności mięśniowej o 50%, tempa metabolizmu netto o 61% oraz zmęczenia o 99% już przy stosunkowo niewielkim wspomaganiu, a przypuszczalnie z jeszcze większymi korzyściami przy zwiększonym momencie wspomagania. Ponadto może to zapobiegać zmęczeniu mięśni, zmniejszać ryzyko zwyrodnienia stawów i bólu w wyniku podnoszenia, trzymania lub przenoszenia, również u osób zdrowych [16]. Poprawa sprawności ręki i wspomaganie funkcjonalnych chwytów podczas sesji rehabilitacyjnych może być osiągnięte efektywniej przy niższym poziomie wysiłku i zmęczenia

odczuwanych przez pacjenta. Z ww. względów rehabilitacja robotyczna za pomocą egzoszkieletu na rękę przyspiesza proces rehabilitacji, eliminuje potrzebę stałego nadzoru terapeuty [17].

4. Egzoszkieleaty na rękę wytwarzane z użyciem druku 3D

Parametryczne podejście do modelowania i wytwarzania [18,19] zapewnia dopasowanie wymiarów i cech egzoszkieletu na rękę do wymiarów indywidualnej ręki, rodzaju

i poziomu deficytu oraz indywidualnych celów procesu rehabilitacji. Sterowanie w czasie rzeczywistym w połączeniu z technologią druku 3D przekłada się na lepsze dopasowanie egzoszkieletu do ręki, a jednocześnie zapewnia metodykę uniwersalnego stosowania aktywnych egzoszkieleatów wspomagających ruchy ręki [17]. Ponadto druk 3D zapewnia tańsze i szybsze iteracje rozwoju prototypów egzoszkieleatów o stałej jakości. Z ww. względów w literaturze pojawia się coraz więcej drukowanych 3D egzoszkieleatów na rękę wspomagających funkcje ręki lub poprawiających efektywność rehabilitacji osób po udarze lub innych przyczyn deficytu ruchowego w obrębie ręki. Ich ograniczeniem jest wczesność prototypu oraz niewielka liczba badanych użytkowników (poniżej 10). Efektywność egzoszkieletu na rękę mogą w tej sytuacji obniżyć nieoptymalne kombinacje parametrów druku i cech materiału czy brak dopracowania metodyki doboru egzoszkieletu do potrzeb pacjenta i celów terapii. Drukowany w 3D, miękki egzoszkieleat ręki - HEXOES (ang. Hand Exoskeleton with Embedded Synergies) zapewnił maksymalne kąty zgięcia w stawach śródreczno-paliczkowych i międzypaliczkowych bliższych odpowiednio $53,7 \pm 16,9^\circ$ i $39,9 \pm 13,4^\circ$ oraz maksymalne prędkości kątowe odpowiednio $94,5 \pm 41,9$ stopni/s i $74,6 \pm 67,3$ stopni/s [20]. W badaniu Dudleya i wsp. drukowany 3D egzoszkieleat na rękę poprawił wyniki testu Fugl-Meyera oraz testu Box and Block użytkowników, ponadto zaobserwowano zwiększoną aktywację elektromiograficzną (EMG) w mięśniach prostowników podczas noszenia egzoszkieletu. W projekcie do druku 3D zastosowano nowe antybakteryjne polimery, co może zapobiegać infekcjom skóry podczas rehabilitacji [21]. Yoo

i wsp. zaprojektowali drukowany 3D egzoszkieleat na rękę sterowany sygnałami EMG do wspomagania funkcji chwytania dla pacjentów z uszkodzeniem rdzenia kręgowego

w odcinku szyjnym (w tym z porażeniem czterokończynowym). Zaobserwowano poprawę funkcji ręki badanych odzwierciedloną w wynikach Toronto Rehabilitation Institute Hand Function Test (TRI-HFT), uczestnicy uzyskali natychmiastową funkcjonalność podczas jedzenia po założeniu ortozy, a większość uczestników była zadowolona z egzoszkieletu, wskazując na jego intuicyjność i łatwość użycia. Nie zaobserwowano żadnych skutków ubocznych stosowania egzoszkieletu [22]. Optymalizacja obliczeniowa procesu druku 3D pod kątem cech i doboru materiału

w celu uzyskania maksymalnej siły rozciągającej komponentu egzoszkieletu ręki może być realizowana w oparciu o optymalizację sztuczną siecią neuronową (ANN) wspomaganą algorytmami genetycznymi (GA) [23]. Może to odgrywać kluczową rolę w personalizacji, zwiększaniu wydajności i bezpieczeństwa wyrobu medycznego jakim jest egzoszkielet na rękę oraz spełnianiu ograniczeń w rozwiązaniach dostosowanych do potrzeb konkretnego pacjenta [23]. W celu zwiększenia efektywności procesu rehabilitacji możliwe jest połączenie stymulacji haptycznej opuszków palców ze wspomaganą egzoszkieletem rehabilitacją ręki. Ćwiczenie chwytania szklanek (150g, 300g) pokazało wyższy poziom uwagi i zaangażowania użytkowników przy dodatkowej stymulacji haptycznej w porównaniu z zastosowaniem samego egzoszkieletu, podobnie jak przy większym ciężarze szklanki [24]. Hand Exoskeleton for Rehabilitation Objectives (HERO) łączy w sobie druk 3D (w tym siłowników) i testy oraz sterowanie sygnałem elektroencefalograficznym (EEG) w celu odzyskania ruchów wyprostu i zgięcia palców. Moment obrotowy silników prądu stałego był przekształcany w siłę liniową przekazywaną przez cięgna Bowdena dla pasywnego ruchu palców. Przy wadze egzoszkieletu 102 g, uczestnik był w stanie kontrolować egzoszkielet z dokładnością klasyfikacji 91,5% [25]. Egzoszkielety na rękę wspierają nawet 10 czynności codziennego życia ze znaczną redukcją aktywności mięśniowej (tj. o 12-32%) bez znaczącej degradacji działania innych agonistycznych mięśni zdrowych [26].

5. Dyskusja

Z dotychczasowych badań wynika, że egzoszkielety na rękę mogą pomóc użytkownikom z deficytami funkcji ręki poprzez wspieranie wykonywania czynności życia codziennego oraz poprawę efektywności procesu rehabilitacji. W ostatniej dekadzie urządzenia te, szczególnie drukowane 3D, stały się bardziej popularne ze

względu na ich duże właściwości adaptacyjne, niską wagę, bezpieczeństwo i ergonomię.

5.1. Ograniczenia rozwoju egzoszkieletów na rękę

Ograniczenia technologiczne w obszarze egzoszkieletów na rękę dają się przewidywać w miarę rozwoju inżynierii mechanicznej i informatyki. Jednak istotne ograniczenia rozwoju egzoszkieletów na rękę wynikają wciąż z niewiedzy i niewielkiej akceptacji tej grupy urządzeń zarówno przez pacjentów i ich rodziny, jak i klinicystów. Panuje też pogląd o wysokim koszcie tego typu urządzeń.

5.2. Kierunki rozwoju egzoszkieletów na rękę

Wyzwanie o charakterze globalnym stanowią nie tylko choroby cywilizacyjne skutkujące deficytami funkcji ręki, ale również coraz wyższa średnia długość życia, skutkująca zmianami neurodegeneracyjnymi, a co za tym idzie kolejną grupą dysfunkcji ręki. Nie ulega wątpliwości, że zarówno w krajach rozwiniętych, jak i rozwijających się aktywność fizyczna spada wraz z wiekiem, przekładając się na ograniczenie zdolności podejmowania czynności codziennego życia, co skutkuje pogorszeniem zdrowia fizycznego i psychicznego, obniżeniem jakości życia i niesamodzielnością. Rynek egzoszkieletów na rękę jest bardzo duży: na świecie żyje ok. 1 mld osób w wieku powyżej 60 lat. Brak wystarczającej liczby specjalistów medycznych i opiekunów powoduje, że odwołanie się do monitorowania, diagnostyki, rehabilitacji i opieki robotycznej jest koniecznością. Coraz częściej wykorzystuje się do tego metody sztucznej inteligencji (przede wszystkim uczenia maszynowego i głębokiego uczenia do rozpoznawania ludzkich aktywności, klasyfikacji, wnioskowania i predykcji). Służą do tego m.in. dane żyroskopowe i akcelerometryczne zebrane ze smartfonów użytkowników. W badaniu Hayata i wsp. [26] smartfony były używane do monitorowania aktywności osób z niepełnosprawnością: leżenia, siedzenia, stania, chodzenia, wchodzenia i schodzenia po schodach i pochylniach, itp. za pomocą metod sztucznej inteligencji (m.in. k-Nearest Neighbors, Random Forest, Support Vector Machine i Long Short-Term Memory Network). Long Short-Term Memory (rekurencyjna odmiana sztucznych sieci neuronowych do analizy sekwencji czasowych) osiągnęła najlepszą dokładność (95,04%), a Support Vector Machine dała wysoką dokładność 89,07% przy krótkim czasie obliczeń (0,42 minuty) [26]. Efektywność połączenia terapii zrobotyzowanej z analizą

opartą na sztucznej inteligencji znalazły potwierdzenie w kolejnych badaniach [27-32]. Kolejne kierunki badań wytyczane przez globalne tendencje rozwojowe to Przemysł 4.0 [33] oraz eco-design i zrównoważony rozwój [34].

6. Wnioski

Koncepcja egzoszkieletu na rękę w ramach opisywanego grantu łączy szereg podejść projektowych i symulacyjnych, sprawdzanych eksperymentalnie rozwiązań mechanicznych (różne techniki druku 3D i materiały, różnego typu efekторы, wspomagane czujnikami) i informatycznych (nowatorskie algorytmy sterowania) z weryfikacją przyjętych założeń z grupą specjalistów medycznych, w tym w warunkach laboratoryjnych i klinicznych. Ww. podejście całościowe pozwoli na wypracowanie jednego, wiodącego rozwiązania najlepiej spełniającego szereg wymogów technicznych i operacyjnych, co ułatwi jego przyszłościową produkcję.

Źródła finansowania

Badania przedstawione w niniejszym artykule są finansowane z grantu NCBR "Rzeczy są dla ludzi/0087/2020 pn. "Opracowanie funkcjonalnego egzoszkieletu ręki do aktywnego treningu i rehabilitacji" w ramach Programu Rządowego „Dostępność Plus” Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego finansowanego ze środków dotacji celowej w partnerstwie z Fundacją Aktywnej Rehabilitacji.

Literatura

1. Nizamis K, Athanasiou A, Almpanti S, Dimitrousis C, Astaras A. Converging Robotic Technologies in Targeted Neural Rehabilitation: A Review of Emerging Solutions and Challenges. *Sensors* 2021;21(6):2084.
2. Mikołajewska E., Mikołajewski D. Roboty rehabilitacyjne. *Rehabil. Prakt* 2010;4:49-53.
3. Mikołajewska E., Mikołajewski D. Zastosowania automatyki i robotyki w wózkach dla niepełnosprawnych i egzoszkieleciech medycznych. *Pomiary Automatyka Robotyka* 2011;15(5), 58-63.
4. Gandolfi M., Valè N., Posteraro F., Morone G., Dell'orco A., Botticelli A., Dimitrova E., Gervasoni E., Goffredo M., Zenzeri J., Antonini A., Daniele C., Benanti P., Boldrini P., Bonaiuti D., Castelli E., Draicchio F., Falabella V., Galeri S., Gimigliano F., Grigioni M., Mazzon S., Molteni F., Petrarca M., Picelli A., Senatore M., Turchetti G., Giansanti D., Mazzoleni S., Italian Consensus Conference on Robotics in Neurorehabilitation (CICERONE). State of the art and challenges for the classification of studies on electromechanical and robotic devices in neurorehabilitation: a scoping review. *Eur J Phys Rehabil Med.*, 2021;57(5):831-840.
5. Macko, M., Szczepański, Z., Mikołajewski, D., Mikołajewska, E., Listopadski, S. The Method of Artificial Organs Fabrication Based on Reverse Engineering in Medicine. In: Rusiński, E., Pietrusiak, D. (eds) *Proceedings of the 13th International Scientific Conference RESRB 2016. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham 2017.
6. Mikołajewska E., Mikołajewski D. Ethical considerations in the use of brain-computer interfaces. *Central European Journal of Medicine* 2013; 8(6):720-724.
7. Rojek I., Mikołajewski D., Dostatni E. Digital twins in product lifecycle for sustainability in manufacturing and maintenance. *Applied Sciences* 2021; 11(1):31.
8. Mikołajewska E., Mikołajewski D. Informatyka afektywna w zastosowaniach cywilnych i wojskowych. *Zeszyty Naukowe/Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych im. gen. T. Kościuszki* 2013; 2: 171-184.
9. Gojanovic B., Fourchet F., Gremaux V. Cognitive biases cloud our clinical decisions and patient expectations: A narrative review to help bridge the gap between evidence-based and personalized medicine. *Ann Phys Rehabil Med.* 2021;65(4): 101551.
10. Pastorino R., Loreti C., Giovannini S., Ricciardi W., Padua L., Boccia S. Challenges of Prevention for a Sustainable Personalized Medicine. *J Pers Med.* 2021;11(4): 311.
11. W. Wang, Y. Yan, Z. Guo, H. Hou, M. Garcia, X. Tan, E.O. Anto, G. Mahara, Y. Zheng, B. Li, T. Kang, Z. Zhong, Y. Wang, X. Guo, O. Golubnitschaja, "Suboptimal Health Study Consortium and European Association for Predictive, Preventive and Personalised Medicine. All around suboptimal health - a joint position paper of the Suboptimal Health Study Consortium and European Association for Predictive, Preventive and Personalised Medicine", *EPMA J.*, vol. 12, no. 4, :pp. 403-433, 2021.
12. Xiloyannis M., Chiaradia D., Frisoli A., Masia L. Physiological and kinematic effects of a soft exosuit on arm movements. *J Neuroeng Rehabil.* 2019 Feb 22;16(1):29.
13. Rojek I., Jagodziński M. Hybrid Artificial Intelligence System in Constraint Based Scheduling of Integrated Manufacturing ERP Systems 7th International Conference on Hybrid Artificial Intelligent Systems (HAIS), *Hybrid Artificial Intelligent Systems*, 2012; PT II 7209:229-240.

14. Chandra M., Kumar K., Thakur P., Chattopadhyaya S., Alam F., Kumar S. Digital technologies, healthcare and Covid-19: insights from developing and emerging nations. *Health Technol.* 2022;12(2):547-568.
15. Görtz M., Byczkowski M., Rath M., Schütz V., Reimold P., Gasch C., Simpfendorfer T., März K., Seitel A., Nolden M., Ross T., Mindroc-Filimon D., Michael D., Metzger J., Onogur S., Speidel S., Mündermann L., Fallert J., Müller M., von Knebel Doeberitz M., Teber D., Seitz P., Maier-Hein L., Duensing S., Hohenfellner M. A Platform and Multisided Market for Translational, Software-Defined Medical Procedures in the Operating Room (OP 4.1): Proof-of-Concept Study. *JMIR Med Inform.* 2022;10(1):e27743.
16. Nassour J., Zhao G., Grimmer M. Soft pneumatic elbow exoskeleton reduces the muscle activity, metabolic cost and fatigue during holding and carrying of loads. *Sci Rep.* 2021 Jun 15;11(1):12556.
17. Lei Cui, Phan A., Allison G. Design and fabrication of a three dimensional printable non-assembly articulated hand exoskeleton for rehabilitation. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc.* 2015; 2015:4627-30.
18. Kaczmarek M., Nowak J., Olszewski W.L., Zaleska M. Estimation of hydromechanical parameters of limb lymphedematous tissue with the use of chamber tests. *Acta of Bioengineering and Biomechanics* 2021;23(1): 149-161.
19. Kaczmarek M., Nowak J., Olszewski W.L., Zaleska M. Simulation-based reasoning of residual tissue deformations in a two-chamber test of a lymphedematous leg. *International Journal for Numerical Methods in Biomedical Engineering* 2022;38(1):e3537.
20. Burns M.K., Van Orden K., Patel V., Vinjamuri R. Towards a wearable hand exoskeleton with embedded synergies. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc.* 2017 Jul;2017:213-216.
21. Dudley D.R., Knarr B.A., Siu K.C., Peck J., Ricks B., Zuniga J.M. Testing of a 3D printed hand exoskeleton for an individual with stroke: a case study. *Disabil Rehabil Assist Technol.* 2021 Feb;16(2):209-213.
22. Yoo H.J., Lee S., Kim J., Park C., Lee B. Development of 3D-printed myoelectric hand orthosis for patients with spinal cord injury. *J Neuroeng Rehabil.* 2019 Dec 30;16(1):162.
23. Rojek I., Mikołajewski D., Dostatni E., Macko M. AI-Optimized Technological Aspects of the Material Used in 3D Printing Processes for Selected Medical Applications. *Materials (Basel).* 2020 Nov 29;13(23):5437.
24. Li M., Chen J., He G., Cui L., Chen C., Secco E.L., Yao W., Xie J., Xu G., Wurdemann H. Attention Enhancement for Exoskeleton-Assisted Hand Rehabilitation Using Fingertip Haptic Stimulation. *Front Robot AI.* 2021 May 21;8:602091.
25. Araujo R.S., Silva C.R., Netto S.P.N., Morya E., Brasil F.L. Development of a Low-Cost EEG-Controlled Hand Exoskeleton 3D Printed on Textiles. *Front Neurosci.* 2021 Jun 25;15:661569.
26. Noronha B., Ng C.Y., Little K., Xiloyannis M., Kuah C.W.K., Wee S.K., Kulkarni S.R., Masia L., Chua K.S.G., Accoto D. Soft, Lightweight Wearable Robots to Support the Upper Limb in Activities of Daily Living: A Feasibility Study on Chronic Stroke Patients. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2022;30:1401-1411.
27. Hayat A., Dias M., Bhuyan B.P., Tomar R. Human Activity Recognition for Elderly People Using Machine and Deep Learning Approaches. *Information* 2022; 13, 275.
28. Monoscalco L., Simeoni R., Maccioni G., Giansanti D. Information Security in Medical Robotics: A Survey on the Level of Training, Awareness and Use of the Physiotherapist. *Healthcare* 2022;10(1):159.
29. Goffredo M., Pournajaf S., Proietti S., Gison A., Posteraro F., Franceschini M. Retrospective Robot-Measured Upper Limb Kinematic Data From Stroke Patients Are Novel Biomarkers. *Front Neurol.* 2021; 12: 803901.
30. Giang C., Pirondini E., Kinany N., Pierella C., Panarese A., Coscia M., Miehlbradt J., Magnin C., Nicolo P., Guggisberg A., Micera S. Motor improvement estimation and task adaptation for personalized robot-aided therapy: a feasibility study. *Biomed Eng Online* 2020;19(1):33.
31. Vélez-Guerrero M.A., Callejas-Cuervo M., Mazzoleni S. Design, Development, and Testing of an Intelligent Wearable Robotic Exoskeleton Prototype for Upper Limb Rehabilitation. *Sensors* 2021; 21(16):5411.
32. Kopke J.V., Ellis M.D., Hargrove L.J. Determining User Intent of Partly Dynamic Shoulder Tasks in Individuals With Chronic Stroke Using Pattern Recognition. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2020; 28(1); 350-358.
33. Rojek, I. Neural Networks as Performance Improvement Models in Intelligent CAPP Systems. *Control Cybern.* 2010; 39(1):55–68.
34. Rojek I., Dostatni E., Hamrol A. Ecodesign of Technological Processes with the Use of Decision Trees Method. In: *International Joint Conference SOCO'17-CISIS'17-ICEUTE'17* León, Spain, September 6–8, 2017, Proceeding. SOCO 2017, CISIS 2017, ICEUTE 2017. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 649, pp. 318–327, eds. H. Pérez García, J. Alfonso-

Cendón, L. Sánchez González, H. Quintián and E.
Corchado, Springer, Cham, 2018.

Wielokryterialna analiza wyników badania wypalenia zawodowego

Dariusz Mikołajewski^{1,2*}, Jolanta Masiak², Emilia Mikołajewska³, Grzegorz M. Wójcik⁴

¹ Instytut Informatyki, Uniwersytet Kazimierza Wielkiego, ul. Kopernika 1, 85-074 Bydgoszcz

*e-mail: dmikolaj@ukw.edu.pl

² Pracownia Badań Neurofizjologicznych, II Klinika Psychiatrii i Rehabilitacji Psychiatrycznej, Wydział Lekarski, Uniwersytet Medyczny w Lublinie, Aleje Raławickie 1, 20-059 Lublin

³ Katedra Fizjoterapii, Wydział Nauk o Zdrowiu, Collegium Medicum im. Ludwika Rydygiera w Bydgoszczy, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, ul. Jagiellońska 13/15, 85-067 Bydgoszcz

⁴ Katedra Neuroinformatyki i Inżynierii Biomedycznej, Instytut Informatyki, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Pl. M. Curie-Skłodowskiej 5 20-031 Lublin

Streszczenie: Celem niniejszego badania poświęconego wielokryterialnej analizie wypalenia zawodowego jest wypełnienie istniejącej luki badawczej, wnosząc element nowości i umożliwiając przyszłościowe porównanie z innymi metodami analitycznymi stosowanym do oceny wypalenia zawodowego. Koncepcja wykorzystania MCA w analizie wyników wypalenia zawodowego wydaje się przydatna i efektywna. MCA działa w tym przypadku jako użyteczne narzędzie obliczeniowe. Może być skutecznie stosowane w obszarze wypalenia zawodowego i stresu związanego z pracą, gdzie metodologie oparte na pojedynczych kryteriach dają niepewne wyniki, są dyskusyjne lub mogą być uznane za nieskuteczne, gdyż istotne dla właściwej oceny i podjęcie decyzji czynniki (organizacyjne, społeczne, środowiskowe i inne) nie mogą być wyrażone w kategoriach wartości obiektywnych lub są wyrażane lingwistycznie. Dalsze badania z wykorzystaniem logiki rozmytej mogą przynieść kolejny etap rozwoju proponowanej metody w kierunku podejścia całościowego.

Słowa kluczowe: informatyka; modele obliczeniowe; analiza wielokryterialna; wypalenie zawodowe; stres związany z pracą

Multicriteria analysis of the results of a burnout survey

Abstract: The aim of this study on multi-criteria analysis of job burnout is to fill an existing research gap, bringing an element of novelty and enabling a near comparison with other analytical methods used to assess job burnout. The concept of using the MCA in the analysis of occupational burnout outcomes appears useful and effective. The MCA acts as a useful computational tool in this case. It can be effectively applied in the area of job burnout and work-related stress, where single-criteria methodologies produce uncertain results, are debatable or may be considered ineffective, because the factors (organisational, social, environmental and other) relevant for proper assessment and decision-making cannot be expressed in terms of objective values or are expressed linguistically. Further research using fuzzy logic may bring the next step in the development of the proposed method towards a holistic approach.

Keywords: computer science; computational models; multi-criteria analysis; job burnout; job stress

1. Wprowadzenie

Wielokryterialna analiza danych medycznych (ang. *multicriteria analysis* - MCA) staje się coraz bardziej popularna jako element konieczny do uwzględnienia możliwie dużej liczby czynników wpływających na stan zdrowia pacjenta. Jest to coraz ważniejsze w świetle nagromadzenia w ostatnich latach wydarzeń, które mogą wpływać na stan zdrowia Polaków, a dotychczas nie były brane pod uwagę, takich jak rosnące zanieczyszczenie środowiska, społeczne skutki pandemii, kryzys gospodarczy i inflacja, wojna w Ukrainie. Wynika to z faktu, że dobrostan (ang. *wellbeing*)

stanowi ważny element wpływający na jakość życia związaną ze zdrowiem (ang. *health-related quality of living* - HRQoL). W latach 1989-2022 w sześciu wiodących medycznych bazach bibliograficznych zaobserwowano 112 publikacji wykorzystujących MCA, z czego 78 (69,64%) w ostatnich 10 latach, a 55 (49,11%) w ostatnich 5 latach - zatem ich liczba dynamicznie rośnie, choć liczba prac i tempo wzrostu wciąż pozostają dalekie od potrzeb. Do tej pory nie zaobserwowano badań wykorzystujących MCA do analizy wypalenia zawodowego, natomiast dwie publikacje dotyczyły analizy stresu [1,2]. Pierwsza z ww. prac dotyczy zależności pomiędzy percepcją dźwięków a samo-

poczuciem w parku uniwersyteckim na terenie kampusu Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie (Kortowo, Polska). Wskaźniki różniły się w okresie bezlistnym i liściastym. Co ciekawe w niektórych obszarach w pobliżu wody, pomimo że odnotowano tam wyższe poziomy hałasu, nie spowodowało to obniżenia komfortu [1]. Druga z ww. prac identyfikuje obszary, na których liczba ludności rośnie szybciej niż ilość terenów dostępnych dla zrównoważonego rozwoju w USA w latach 2001-2011. Mniejsza dostępność terenu powoduje problemy z rozwojem i może być zastosowana w innych regionach (np. do analizy rynku mieszkaniowego w Polsce i jego wpływu na samopoczucie mieszkańców), jak również w badaniach globalnych [2]. Nie zaobserwowano żadnych prac za zakresu analizy wielokryterialnej wspartej inteligencją obliczeniową (ang. *computational intelligence* - CI), a tym podejściem opartym na danych (ang. *machine learning* - ML). W zakresie wypalenia zawodowego pewne elementy analizy wielokryterialnej pokazaliśmy w naszych poprzednich pracach, opartych głównie o analizę rozmytą [3,4]. W obszarze innych schorzeń ciekawe podejście zaproponowali Fabisiak i wsp. w analizie diagnostycznej pacjenta z chorobą zwyrodnieniową stawu biodrowego [5]. Zaproponowano również krajowe podejście MCDA (ang. *multi criteria decision analysis*) do polskiego systemu refundacji nieonkologicznych chorób rzadkich mogący funkcjonować jako uzupełnienie standardowych kryteriów refundacyjnych. Zatem w warunkach krajowych pojawia się już koncepcja wykorzystania MCA jako systemu drugiej opinii.

Celem niniejszego badania poświęconego wielokryterialnej analizie wypalenia zawodowego jest wypełnienie istniejącej luki badawczej, wnosząc element nowości i umożliwiając przyszłościowe porównanie z innymi metodami analitycznymi stosowanym do oceny wypalenia zawodowego.

2. Materiał i metody

2.1. Materiał

Kryteria włączenia do badania stanowił wiek co najmniej 18 lat oraz praca w zawodzie co najmniej od 12 m-cy. Od badanych nie wymagano ukończenia studiów, gdyż do pracy w zawodzie informatyka nie jest to wymagane, a jeszcze do niedawna (do wprowadzenia Ustawy o zawodzie fizjoterapeuty) fizjoterapeuci kończyli również studia licencyjne, a wcześniej: medyczne studium zawodowe. Do badania zakwalifikowano dwie grupy: grupa 1 (fizjoterapeuci, N = 50), grupa 2 (informatycy, n =

50). Charakterystykę grup badanych podsumowano w tabeli 1.

Tabela 1. Charakterystyka grup badanych.

	Grupa 1 (n=50, 100%)	Grupa 2 (n=50, 100%)
Wiek [lata]:		
Średnia	27.88	28.44
SD	4.17	4.79
Min	22	22
Q1	24	23
Mediana	26	26
Q3	30	29
Max	34	35
Staż pracy [lata]:		
Średnia	4.20	5.36
SD	1.61	1.53
Min	1	1
Q1	1	2
Mediana	4	5
Q3	7	8
Max	10	13
Płeć:		
Kobiety (F)	30 (60%)	30 (60%)
Mężczyźni (M)	20 (40%)	20 (40%)

Na badanie uzyskano zgodę Komisji Bioetycznej Collegium Medicum im. Ludwika Rydygiera w Bydgoszczy.

2.2. Metody

Analizę wielokryterialną, należącą do badań operacyjnych, stosuje się w przypadkach, w których duża liczba uwarunkowań oraz zmienność różnych stanów nasilenia choroby pacjenta powoduje problem z ustaleniem optymalnego momentu wdrożenia terapii, jej korekty lub zmiany na inny rodzaj interwencji. Główna motywacja wdrożenia MCA wynika z potrzeby zwiększenia znaczenia obliczeniowej analizy danych w obiektywnym rozwiązywaniu problemów decyzyjnych (planowania, zarządzania terapią). Z tego punktu widzenia MCA obejmuje zestaw ustrukturyzowanych procedur projektowania, oceny i wyboru alternatyw decyzyjnych na podstawie sprzecznych i niewspółmiernych kryteriów. W ww. procesie dane są przekształcane i łączone z wykorzystaniem preferencji (sądów wartościujących) na podstawie dwóch lub więcej kryteriów w celu uzyskania informacji użytecznych do podejmowania decyzji. Aby to

osiągnąć dokonuje się jednocześnie analizy wszystkich możliwych alternatyw i preferencji oraz ich oceny pod różnymi kryteriami. Wymaga to wyszczególnienia preferowanych celów i zadań oraz rozpoznania odpowiadających im cech i wskaźników. Z obliczeniowego punktu widzenia można zatem przyjąć, że ww. ocena wskaźników opiera się na ilościowej analizie różnych kategorii jakościowych wpływu. należy jednak zaznaczyć, że dotychczas nie wypracowano jednego wiodącego podejścia do klasyfikacji, porównania i wyboru najlepszej alternatywy w warunkach przyjęcia określonych kryteriów, w tym w decyzjach klinicznych.

Zwraca uwagę fakt, że nawet dysponowanie dużą ilością wypracowanych wcześniej sposobów interpretacji zjawisk związanych ze schorzeniami typu wypalenie zawodowe może nie rozwiązywać problemu użyteczności ww. metod dla konkretnych problemów decyzyjnych. Z ww. względów każda próba wypracowania podejścia zunifikowanego jest cenna i może stanowić źródło inspiracji dla kolejnych zespołów badawczych.

Zaproponowano 5 kryteriów do analizy MDA:

- Perceived Stress Score (PSS10),
- Maslach Burnout Inventory (MBI), w trzech podskalach,
- Satisfaction with Life Scale (SWLS),
- Minnesota Satisfaction Questionnaire - Short Form (MSQ-SF),
- Nordic Musculoskeletal Questionnaire (NMQ).

Tabela 2. Kryteria stosowane w wykorzystywanych testach.

Test	Kierunek zmian	Punktacja
PSS10	wyższy wynik oznacza większy stres	1-4: niski 7-10: wysoki
MBI		trzy podskale: wyczerpanie emocjonalne (9), depersonalizacja (5) i osiągnięcia osobiste (8)
SWLS	wyższy wynik oznacza wyższą jakość życia	zakres wyników 5-35, przy czym: 5-9 skrajne niezadowolenie z życia, 20 - neutralne, 31-35 - skrajne zadowolenie z życia
MSQ-SF	wyższy wynik oznacza wyższą satysfakcję z pracy	20-100 co najmniej 50 oznacza satysfakcję z pracy
NMQ	wyższy wynik oznacza wyższą liczbę problemów zdrowotnych	czy pacjent ma problemy z lokomocją i jak często

Każde z kryteriów zostało zdefiniowane i przypisano im także konkretne poziomy realizacji. Znaczenie i wagi poszczególnych kryteriów zostały ustalone na podstawie aktualnych wytycznych klinicznych. Zaproponowany algorytm został oparty na zdefiniowanych preferencjach: ocenianego pacjenta należy przeanalizować pod kątem wszystkich pięciu kryteriów i wybrać opisujące go poziomy. Wynikiem oceny jest suma wag dla wybranych poziomów tj. wartość na skali 0–100%, gdzie wyniki 0 i 100% odpowiadają najniższemu i najwyższemu poziomowi wszystkich kryteriów. Uzyskane wyniki każdorazowo zestawiono z progami odcięcia, po przekroczeniu których rekomenduje się zakwalifikowanie do konkretnych grup ryzyka wypalenia zawodowego.

W świetle analiz własnych ww. podejście jest prawidłowe metodologicznie [6,7] i zgodne z diagnostyką różnicową wypalenia zawodowego. Natomiast trudno je odnieść do innych zespołów, takich jak np. zespół przewlekłego zmęczenia (ang. *chronic fatigue syndrome* - CFS) czy zespół przetrenowania [8,9].

Wyniki badań były zapisywane w arkuszu kalkulacyjnym MS Excel i poddawane analizie statystycznej przy użyciu programu Statistica 13 (StatSoft, Tulsa, USA). Normalność rozkładu danych sprawdzano każdorazowo za pomocą testu Shapiro-Wilka ($\alpha = 0,05$). Wartości dla rozkładów zbliżonych do rozkładu normalnego przedstawiono za pomocą wartości średniej i odchylenia standardowego (SD). Wartości dla rozkładów odbiegających od rozkładu normalnego przedstawiono za pomocą mediany, wartości minimalnej, wartości maksymalnej oraz dolnego kwartyla (Q1) i górnego kwartyla (Q3).

Do budowy drzewa MCA wykorzystano oprogramowanie ELECTRE Tri 2.0 (*ELimination and ChoiceExpressingREality*) [10].

3. Wyniki

W związku z przeprowadzonymi badaniami celem pracy było wyłonienie pacjentów, którzy reprezentują poszczególne poziomy ryzyka wypalenia zawodowego w założonej *a priori* pięciostopniowej skali profilowania proporcjonalnego (Bardzo wysokie, Wysokie, Średnie, Niskie, Najniższe) najlepiej spełniali postulat zakwalifikowania. W badaniu celowo użyto sformułowania "najniższe" a nie "Brak ryzyka" - gdyż decyzję o tym podejmuje człowiek, a osoby, które docelowo trafią do grupy badanej mogą być do niej wcześniej kwalifikowane lub podlegać ponownej ocenie. Wynikiem badania jest ranking klasyfikacji badanych pacjentów, którego zbiorcze wyniki przedstawiono w Tabeli 3.

Tabela 3. Zbiorcze wyniki rankingu klasyfikacji badanych pacjentów.

Klasyfikacja	Grupa 1 (N=50, 100%)	Grupa 2 (N=50, 100%)
Bardzo wysokie	5 (10%)	2 (4%)
Wysokie	7 (14%)	4 (8%)
Średnie	10 (20%)	11 (22%)
Niskie	12 (24%)	14 (28%)
Najniższe	16 (32%)	19 (38%)

Porównując udział procentowy poszczególnych grup widać, że ryzyko wypalenia zawodowego jest większe w grupie fizjoterapeutów niż informatyków.

4. Dyskusja

Jak wynika z wcześniejszej analizy w literaturze przedmiotu brakuje wskazania konkretnego wiodącego w MCA podejścia do klasyfikacji, porównania i wyboru najlepszej alternatywy w warunkach przyjęcia określonych kryteriów w decyzjach klinicznych. W przypadku analizy danych obejmujących stan zdrowia, pomimo możliwości wyboru jednej spośród zróżnicowanej palety metod wspomagania podjęcia decyzji, wybór najlepszego zestawu narzędzi indywidualnie na potrzeby badanego problemu pozostaje obciążony ryzykiem. Pomimo to takie parametryczne podejście do modelowania i podejmowania decyzji może zapewnić lepsze dopasowanie cech branych pod uwagę do wymagań terapii personalizowanej, rodzaju i poziomu problemów zdrowotnych oraz indywidualnych celów procesu powrotu do zdrowia.

5.1. Ograniczenia badań

Nasze badania łączą wyniki testów ilościowych (jak NMQ) z informacjami dotyczącymi subiektywnych odczuć pacjenta dotyczących zadowolenia z życia, które za pomocą metody decyzyjnej wspomogą klinicystów w podjęciu decyzji. W dalszy jednak ciągu pozostaje to jedynie systemem drugiej opinii, a ciężar decyzji spoczywa na człowieku.

Pewnym ograniczeniem niniejszego badania jest nieuwzględnienie w procesie decyzyjnym kosztów potencjalnego leczenia. W ostatecznej wersji systemu będą one musiały być brane pod uwagę ze względu na ograniczone

zasoby systemu oraz zróżnicowane koszty farmakoterapii domowej czy leczenia ambulatoryjnego lub szpitalnego. Podobnie na obecnym etapie badań nie uwzględniono kosztów absencji w pracy czy świadczeniami rentowymi. Podejście obliczeniowe umożliwia uwzględnienie ww. czynników, jednak wymaga to szerszego podejścia do problemu i wprowadzenia dodatkowych elementów procesu decyzyjnego. Pozwoli to jednak uczynić decyzje systemu drugiej opinii bardziej zgodnymi z rzeczywistością, w tym z dylematami przed którymi stoją klinicyści.

W badaniu nie stosowano kryteriów opisowych takich jak poczucie równości czy sprawiedliwości społecznej ze względu na trudność w ich zdefiniowaniu oraz brak wystarczających danych z wywiadu. Zatem przy kwalifikowaniu do grupy ryzyka wypalenia zawodowego nie brano pod uwagę zadań społecznych czy sytuacji rodzinnej pacjenta.

Ograniczenia technologiczne w obszarze informatyki dają się przezwyciężyć w miarę rozwoju sztucznej inteligencji. Jednak kluczowe ograniczenia w tym obszarze badań i praktyki klinicznej mogą wciąż wynikać wciąż z niewiedzy i niewielkiej akceptacji tej grupy rozwiązań zarówno przez pacjentów i ich rodziny, jak i klinicystów.

5.2. Kierunki dalszych badań

Podstawowym kierunkiem dalszych badań jest wypracowanie i zweryfikowanie procedury badawczej opartej na MCA dla oceny wypalenia zawodowego. Zweryfikowanie odpowiedniej metody wielokryterialnej pozwoli na precyzyjne ustalenie kwalifikacji pacjenta jako drugiej opinii. Koncepcja obiektywizacji wyników diagnostyki i terapii wypalenia zawodowego i stresu związanego z pracą łączy w sobie również szereg obecnych i przyszłościowych podejść projektowych i symulacyjnych. Dotyczy to zarówno:

- wpływu telemedycy i telerehabilitacji na dobrostan i samopoczucie pacjentów (również w warunkach pracy nasyconej robotami w ramach paradygmatu przemysłu 4.0) [11,12], czy bardziej zaawansowanymi rozwiązaniami: neuroprotezami i interfejsami mózg-komputer [13,14] czy rozwiązaniami drukowanymi 3D na miarę [15,16],
- informatyki afektywnej tj. rozpoznawania emocji przez urządzenia i reagowania nie nie zgodnie z zasadami społecznymi [17,18],
- stosowania cyfrowych bliźniaków pacjenta, w tym w obszarze emocjonalnym [19],
- obiektywizacji wszystkich obszarów działalności klinicznej: od fizjoterapii [20] aż po modelowanie

funkcjonowania ośrodkowego układu nerwowego [21,22].

Samo podjęcie decyzji nie przesądza o sukcesie wybranego podejścia terapeutycznego. Rosnący nacisk na stosowanie sprawdzanych eksperymentalnie metod, technik i urządzeń diagnostycznych i terapeutycznych wymaga ich ciągłej weryfikacji przez zespoły specjalistów medycznych, w tym w warunkach laboratoryjnych i klinicznych, w ramach paradygmatu Medycyny Opartej na Faktach (ang. *evidence based medicine* - EBM).

6. Wnioski

Koncepcja wykorzystania MCA w analizie wyników wypalenia zawodowego wydaje się przydatna i efektywna. MCA działa w tym przypadku jako użyteczne narzędzie obliczeniowe. Może być skutecznie stosowane w obszarze wypalenia zawodowego i stresu związanego z pracą, gdzie metodologie oparte na pojedynczych kryteriach dają niepewne wyniki, są dyskusyjne lub mogą być uznane za nieskuteczne, gdyż istotne dla właściwej oceny i podjęcie decyzji czynniki (organizacyjne, społeczne, środowiskowe i inne) nie mogą być wyrażone w kategoriach wartości obiektywnych lub są wyrażane lingwistycznie. Stąd dalsze badania z wykorzystaniem logiki rozmytej mogą przynieść kolejny etap rozwoju proponowanej metody w kierunku podejścia całościowego.

Literatura

1. Jaszczak A., Pochodyła E., Kristianova K., Małkowska N., Kazak J.K. Redefinition of Park Design Criteria as a Result of Analysis of Well-Being and Soundscape: The Case Study of the Kortowo Park (Poland). *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(6):2972.
2. Chi G, Ho HC. Population stress: A spatiotemporal analysis of population change and land development at the county level in the contiguous United States, 2001-2011. *Land use policy*. 2018;70:128-137.
3. Mikołajewski, D.; Prokopowicz, P. Effect of COVID-19 on Selected Characteristics of Life Satisfaction Reflected in a Fuzzy Model. *Appl. Sci*. 2022;12:7376.
4. Prokopowicz, P.; Mikołajewski, D. Fuzzy Approach to Computational Classification of Burnout—Preliminary Findings. *Appl. Sci*. 2022;12:3767.
5. Fabisiak L., Szczypiór-Piasecka K., Budziński, Ziętek P. Zastosowanie metody wielokryterialnej do analizy diagnostycznej pacjenta z chorobą zw yrodnieniową stawu biodrowego. *Studia Informatica Pomerania* 2016; 4(4):15-25.
6. Becker J., Budziński R. (2015). Transformation of knowledge sources in decision support system. *Journal of automation. Mobile Robotics & Intelligent Systems*, 2015; 9(2):28–36.
7. Lexer M., Vakić H. Multiple criteria decision making in natural resource management, Lecture notes. Wien: Universität für Bodenkultur 2007.
8. Kopacz T. Zespół przewlekłego zmęczenia jako problem terapeutyczny. *Sztuka Leczenia* 2014; 3-4:45-54.
9. Zielińska D., Szmit S. Zespół przewlekłego zmęczenia a zespół przetrenowania. *Kardiologia po Dyplomie* 2009; 8(11):64-74.
10. Lu, G., Wang, H., Mao, X. (2010). Using ELECTRE TRI Outranking Method to Evaluate Trustworthy Software. In: Xie, B., Branke, J., Sadjadi, S.M., Zhang, D., Zhou, X. (eds) *Autonomic and Trusted Computing. ATC 2010. Lecture Notes in Computer Science*, vol 6407. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-16576-4_16
11. Mikołajewska E., Mikołajewski D. Roboty rehabilitacyjne. *Rehabil. Prakt* 2010; 4:49-53.
12. Mikołajewska E., Mikołajewski D. Zastosowania automatyki i robotyki w wózkach dla niepełnosprawnych i egzoszkieleciach medycznych. *Pomiary Automatyka Robotyka* 2011; 15(5), 58-63.
13. Mikołajewska E., Mikołajewski D. Ethical considerations in the use of brain-computer interfaces. *Central European Journal of Medicine* 2013; 8(6):720-724.
14. Värbu K, Muhammad N, Muhammad Y. Past, Present, and Future of EEG-Based BCI Applications. *Sensors (Basel)*. 2022 Apr 26;22(9):3331.
15. Macko, M., Szczepański, Z., Mikołajewski, D., Mikołajewska, E., Listopadski, S. The Method of Artificial Organs Fabrication Based on Reverse Engineering in Medicine. In: Rusiński, E., Pietrusiak, D. (eds) *Proceedings of the 13th International Scientific Conference RESRB 2016. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham 2017. https://doi.org/10.1007/978-3-319-50938-9_36.
16. Rojek I, Mikołajewski D, Dostatni E, Macko M. AI-Optimized Technological Aspects of the Material Used in 3D Printing Processes for Selected Medical Applications. *Materials*. 2020; 13(23):5437.
17. Mikołajewska E., Mikołajewski D. Informatyka afektywna w zastosowaniach cywilnych i wojskowych. *Zeszyty Naukowe/Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Łądowych im. gen. T. Kościuszki* 2013; 2: 171-184.
18. Daher K., Saad D., Mugellini E., Lalanne D., Abou Khaled O. Empathic and Empathetic Systematic Review to Standardize the Development of Reliable and

- Sustainable Empathic Systems. Sensors 2022; 22(8):3046.
19. Rojek I., Mikołajewski D., Dostatni E. Digital twins in product lifecycle for sustainability in manufacturing and maintenance. Applied Sciences 2021; 11(1):31.
 20. E Mikołajewska Normalized gait parameters in NDT-Bobath post-stroke gait rehabilitation. Open Medicine 2012; 7(2):176-182.
 21. Kamiński W.A., Wójcik G.M. Liquid state machine built of Hodgkin-Huxley neurons-pattern recognition and informational entropy. Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, sectio AI-Informatica 2015; 1(1):1-7.
 22. Wójcik G.M., Garcia-Lazaro J.A. Analysis of the neural hypercolumn in parallel pcsim simulations. Procedia Computer Science, 2010; 1(1):845-854.