

DRUGA KONFERENCJA Kół Naukowych

w ramach

Politechnicznej Sieci VIA CARPATIA im. Prezydenta RP Lecha Kaczyńskiego

Wydano za zgodą Rektora

R e c e n z e n c i

dr inż. Jan SADOLEWSKI – Politechnika Rzeszowska
dr inż. Marcin BEDNAREK – Politechnika Rzeszowska

R e d a k t o r n a c z e l n y
Wydawnictw Politechniki Rzeszowskiej
dr hab. inż. Lesław GNIEWEK, prof. PRz

R e d a k t o r n a u k o w y
dr inż. Bartosz TRYBUS
Politechnika Rzeszowska
Wydział Elektrotechniki i Informatyki
Katedra Informatyki i Automatyki

P r o j e k t o k ł a d k i
Joanna MIKUŁA

W procesie wydawniczym pominięto etap opracowania redakcyjnego.
Druk z matryc dostarczonych przez redaktora naukowego.

Publikacja dofinansowana z projektu VIAD.RD.22.001 – Politechniczna Sieć VIA CARPATIA
im. Prezydenta RP Lecha Kaczyńskiego.

© Copyright by Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej
Rzeszów 2023

Wszelkie prawa autorskie i wydawnicze zastrzeżone. Każda forma powielania oraz przenoszenia na inne nośniki bez pisemnej zgody Wydawcy jest traktowana jako naruszenie praw autorskich, z konsekwencjami przewidzianymi w *Ustawie o prawie autorskim i prawach pokrewnych* (Dz.U. z 2018 r., poz. 1191 t.j.). Autor i Wydawca dołożyli wszelkich starań, aby rzetelnie podać źródło zamieszczonych ilustracji oraz dotrzeć do właścicieli i dysponentów praw autorskich. Osoby, których nie udało się ustalić, są proszone o kontakt z Wydawnictwem.

e-ISBN 978-83-7934-697-4
p-ISBN 978-83-7934-695-0

Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej
al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów
<https://oficyna.prz.edu.pl>

Ark. wyd. 10,15. Ark. druk. 8,75. Wydrukowano w grudniu 2023 r.
Drukarnia Oficyny Wydawniczej Politechniki Rzeszowskiej, al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów
Zam. nr 72/23

Spis treści

Słowo wstępne.....	4
Nikola Woźniak, Julia Wójtowicz, Klaudia Tarach, Weronika Henzler, Mirosław Szala	
Wpływ parametrów obróbki cieplnej na twardość stali 42CrMo.....	5
Karolina Krzemińska, Patrycja Wójcicka, Kinga Martynowska, Marcin Dębiński	
Ocena bezpieczeństwa ruchu drogowego w otoczeniu szkół.....	20
Aleksandra Fuks, Faustyna Smarzewska, Karol Warmiński, Anna Kuczmaszewska	
Dlaczego nie umiemy przewidywać, czyli o niestabilności układów nieliniowych	27
Magdalena Paśnikowska-Łukaszuk, Łukasz Zawadzki, Kacper Witak, Karolina Konieczna	
Wykorzystanie druku 3D w kształceniu przyszłych inżynierów	36
Patrycja Dadacz, Magdalena Ochnio	
Storytelling, czyli marketingowe opowieści	44
Marta Wasilewska, Weronika Stefaniak, Ewelina Stępnik, Piotr Brzęś	
Ocena właściwości warstw kompozytowych na bazie asfaltu porowatego i kolorowych zapraw	52
Dragun Łukasz, Połonowicz Dominik, Tarasiuk Norbert, Tur Magdalena	
Kluczowe kompetencje inżyniera 4.0 w dobie czwartej rewolucji przemysłowej	61
Piotr Mariusz Kozikowski, Szymon Leszczyński, Marzena Filipowicz-Chomko	
Metoda Hellwiga w ocenie zjawiska komputeryzacji i rozwoju cyfrowego UE.....	71
Mateusz Karanowski, Teodora Dimitrova-Grekow	
Rozpoznawanie wzorców 2D przez edukacyjnego robota mobilnego	85
Kryczka Jakub, Sygnator Mateusz, Walkowicz Filip, Kuraś Paweł	
Wykrywanie i korygowanie negatywnych emocji w wypowiedziach internautów z wykorzystaniem architektury Transformer	92
Monika Flejszar, Małgorzata Sroka, Michał Sroka, Izabela Zaborniak, Paweł Chmielarz	
Innowacyjne koncepcje syntezy polimerów technikami polimeryzacji rodnikowej z przeniesieniem atomu (ATRP).....	100
Filip Skawiński, Piotr Laskowski, Marek Giża, Bartosz Pawłowicz	
Robot typu Line Follower	108
Agata Olejarczuk, Danuta Proszak-Miąsik	
Zapylenie powietrza pyłami zawieszonymi PM2.5 i PM10 dla miasta Rzeszowa	116
Alicja Grabowy, Dominika Hammer, Natalia Rembisz, Artur Stec	
Analiza zachowań i preferencji turystycznych studentów Politechniki Rzeszowskiej	128

Słowo wstępne

Działalność studenckich kół naukowych stanowi istotny składnik formowania wizerunku wyższej uczelni. Koła te zrzeszają osoby, dla których wykonywanie jedynie obowiązków wynikających z programu studiów, zajęć, kolokwium czy egzaminów nie jest wystarczające. Praca w kole naukowym stanowi dla nich pasję oraz źródło przyjemności, jednocześnie oferując możliwość poszerzenia kompetencji i rozwijania własnych umiejętności. To szczególnie ważne w kontekście uczelni technicznych, gdzie aktywność kół często wiąże się z realizacją projektów, budową prototypów oraz prowadzeniem badań terenowych. Pomimo konieczności poświęcenia własnego czasu, inicjatorami tych działań są z reguły sami studenci, będący członkami kół naukowych.

Politechniczna Sieć VIA CARPATIA im. Prezydenta RP Lecha Kaczyńskiego, skupiająca trzy uczelnie techniczne: Politechnikę Białostocką, Politechnikę Lubelską i Politechnikę Rzeszowską, stworzyła platformę do szerszej prezentacji osiągnięć kół naukowych. W ramach programu VIA CARPATIA, w dniach 31 maja - 2 czerwca 2023 roku, miała miejsce Druga Konferencja Kół Naukowych w Rzeszowie, w której wzięło udział 15 kół naukowych reprezentujących wspomniane uczelnie. Studenci oraz opiekunowie kół zaprezentowali zakres swojej działalności, przy czym wiele z tych grup angażuje się również w obszary edukacji dla dzieci i młodzieży, wolontariat oraz popularyzację nauki. Konferencja stanowiła doskonałą okazję do wymiany doświadczeń i nawiązania nowych kontaktów. Oprócz prezentacji naukowych, uczestnicy mieli również okazję do udziału w spotkaniach integracyjnych oraz zwiedzenia Podkarpackiego Centrum Nauki "Łukasiewicz".

Istotnym punktem Konferencji było również przedstawienie osiągnięć naukowych. Efektem tych działań jest niniejsza monografia, zawierająca artykuły przygotowane przez studentów i opiekunów kół naukowych z Politechniki Białostockiej, Lubelskiej i Rzeszowskiej. Zważywszy na to, że prezentowane prace stanowią często pierwsze doświadczenie publikacyjne członków kół naukowych, ukazują one potencjał, jaki ambitni studenci mogą wносить do obszaru badań naukowych.

Bartosz Trybus

Komitet Organizacyjny Drugiej Konferencji Kół Naukowych w ramach Politechnicznej Sieci VIA CARPATIA im. Prezydenta RP Lecha Kaczyńskiego

NIKOLA WOŹNIAK¹, JULIA WÓJTOWICZ¹, KLAUDIA TARACH¹, WERONIKA HENZLER¹, MIROSLAW SZALA²

Wpływ parametrów obróbki cieplnej na twardość stali 42CrMo

Summary

Influence of heat treatment parameters on hardness of 42CrMo4 Steel

A subject that allows us to deepen our knowledge of metals and their alloys is heat treatment. The right choice of treatment parameters significantly affects the properties of a particular metal. The subject of this research work is to analyze the influence of these parameters on 42CrMo4 steel, which is widely used in industry. Characterization of the steel, machining treatments, metallographic tests and hardness tests have been carried out. The highest hardness: 805 HV was achieved by sample number II (hardening), the lowest: 168 HV sample number VI (softening annealing).

Key words: 42CrMo4 steel, hardness, microstructure, hardening, tempering, annealing, thermal upgrading

1. Wstęp

1.1. Charakterystyka obróbki cieplnej

Obróbka cieplna jest dziedziną technologii obejmującą zespół zabiegów cieplnych, cieplno-chemicznych, cieplno-mechanicznych lub cieplnomagnetycznych, powodujących polepszenie i zmianę własności mechanicznych, fizycznych bądź chemicznych metali i ich stopów w stanie stałym. Przemiany właściwości zachodzą głównie dzięki zmianom struktury wynikających ze zmian parametrów podczas procesu takich jak: temperatura, czas czy rodzaj ośrodka chłodzącego. Zmiany struktury, które wywołuje obróbka cieplna są rezultatem zjawisk zachodzących w danym materiale a szczególnie [11]:

- tworzenia się bądź rozpadu związków (międzymetalicznych) zawartych w danym stopie,
- przemiany alotropowej składnika określonego stopu,
- zmiany zakresu rozpuszczalności składników w zależności od zadanej temperatury.

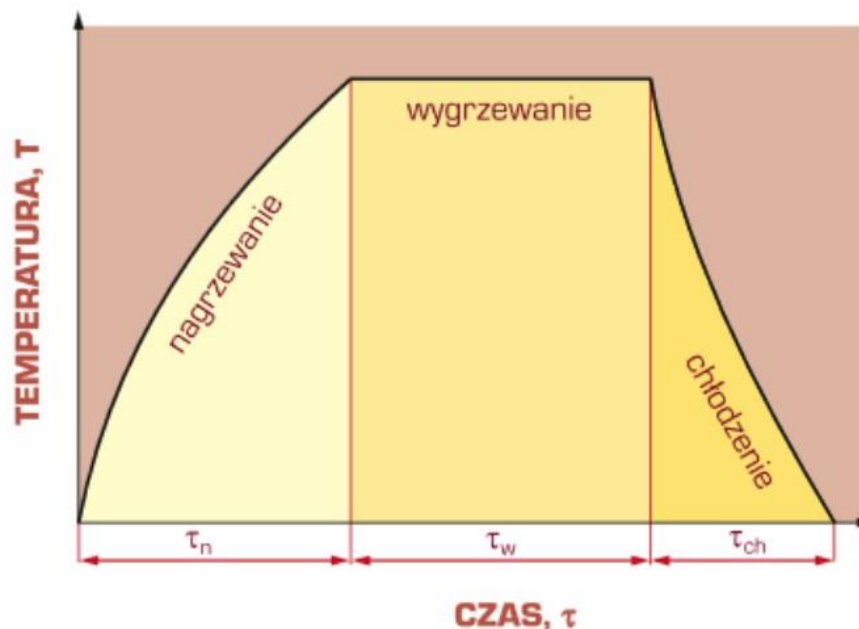
1.2. Wybrane procesy obróbki cieplnej

Proces hartowania jest rodzajem obróbki cieplnej, który polega na nagraniu obrabianego materiału do odpowiedniej temperatury (uzyskania struktury austenitu), a następnie szybkim ochłodzeniu (w różnych ośrodkach chłodzących), aby uzyskać pożądaną strukturę martenzytyczną lub bainityczną [6]. Celem hartowania jest uzyskanie większej wytrzymałości obrabianego materiału na czynniki

¹ Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Inżynierii Materiałowej, Koło Naukowe Technologii Materiałów, Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, Polska s98358@pollub.edu.pl s98360@pollub.edu.pl s98352@pollub.edu.pl weronika.henzler@pollub.edu.pl

² Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Inżynierii Materiałowej, Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, Polska m.szala@pollub.pl

zewnątrznie i obciążenia, zwiększenie twardości, przesunięcie granicy plastyczności jak i poprawa odporności na ścieranie – kosztem kruchości materiału oraz spadku elastyczności stali.



Rys. 1. Zmiana temperatury podczas podstawowych operacji obróbki cieplnej [7]

Ulepszanie cieplne jest to zabieg technologiczny, który łączy dwa procesy: hartowanie oraz odpuszczanie. Stale węglowe hartuje się w wodzie, zaś stale stopowe w oleju podgrzany do 60-90° C.

Odpuszczanie to proces polegający na nagraniu przedmiotu do temperatury w przedziale 150 – 650 °C, przetrzymaniu w tej temperaturze, a następnie schłodzeniu do uzyskania temperatury otoczenia.

Proces wyżarzania jest to zabieg cieplny, polegający na nagraniu stali do określonej temperatury, wygrzaniu jej w tej temperaturze, a następnie studzeniu w celu uzyskania struktury zbliżonej do stanu równowagi. Poniżej opisano dwa wybrane procesy wyżarzania, tj. wyżarzanie sferidyzujące oraz normalizujące:

- wyżarzanie sferoidyzujące (inaczej zmiękczające) jest to metoda obróbki cieplnej, w wyniku której otrzymuje się strukturę cementytu lub w przypadku stali stopowych – węgliki złożone (karbony) pod postacią kuleczek na tle ferrytycznym,
- normalizowanie (inaczej wyżarzanie normalizujące) to proces polegający na nagraniu przedmiotu (stali) do temperatury 30-50 °C powyżej linii GS (A3), wygrzaniu w tej temperaturze, a potem studzeniu w spokojnym powietrzu do temperatury otoczenia [7]. Rysunek 2 określa, w jakich temperaturach następuje normalizowanie.

1.3. Parametry obróbki cieplnej

Parametry obróbki cieplnej, mające wpływ na twardość próbek w niniejszej pracy [7, 12]:

- temperatura hartowania – podgrzania, dogrzania,
- czas wygrzania,

3. Część badawcza

3.1. Charakterystyka stali 42CrMo4

Stal 42CrMo4 jest to stal konstrukcyjna do ulepszenia cieplnego i hartowania. Jest stalą podutektoidalną (ma niższą zawartość węgla od 0,77%), trudno spawalną. Łatwa w obróbce cieplnej i mechanicznej. Jest w dużym stopniu wykorzystywana w przemyśle samochodowym i budowie maszyn, przeznaczona na części, które są narażone na różne i zmienne obciążenia, zginanie, skręcanie i zużycie. Stal gatunku 42CrMo4 jest jedną z szerzej stosowanych na skalę przemysłową.

Tabela 1. Odpowiedniki oznaczeń stali 42CrMo4 wg różnych norm [19]

DIN	AISI	PN	ISO PN-EN	
42CrMo4	~4140H	40HM	1.7225	42CrMo4

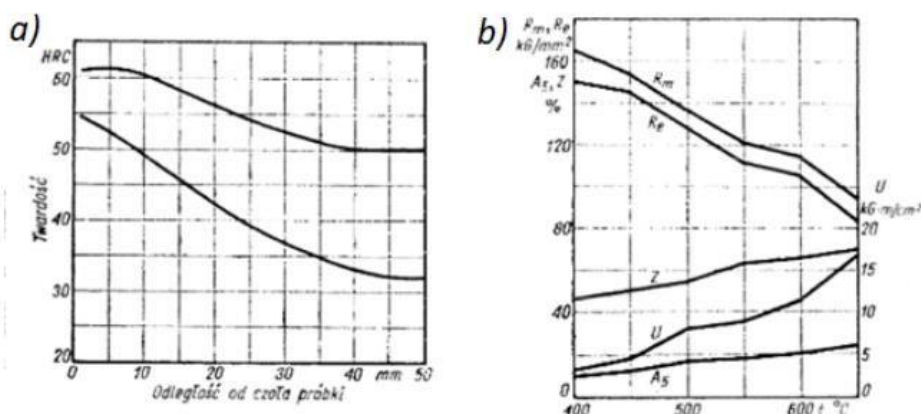
Tabela 2. Nominalny skład chemiczny w % w stali 40HM [18]

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	W	V	Co	Cu
0,38-0,45	0,4-0,7	0,17-0,37	max 0,035	max 0,035	0,9-1,2	max 0,3	0,15-0,25	max 0,2	max 0,05	-	max 0,2

3.2. Własności mechaniczne stali 42CrMo4

Podstawowe właściwości mechaniczne stali, zależnie od jej stanu obróbki cieplnej przedstawiają się następująco [5]:

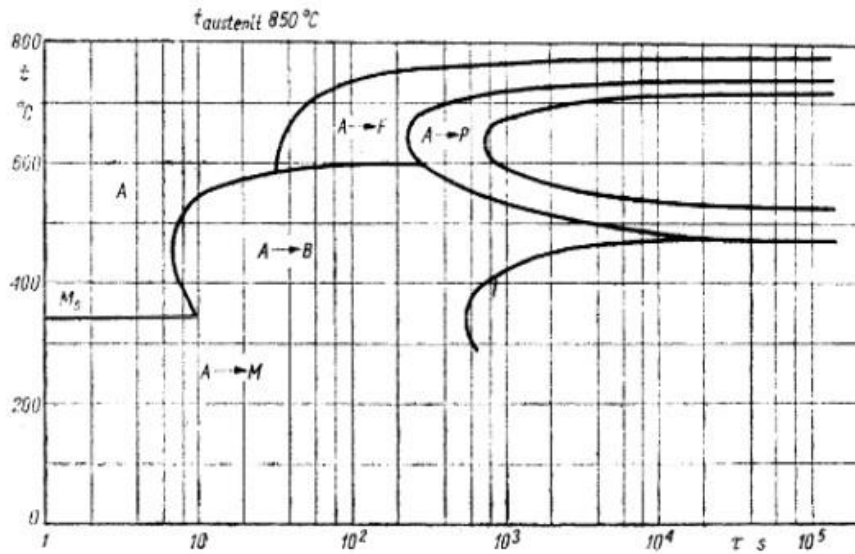
- granica plastyczności $R_e \geq 650$ MPa,
- wytrzymałość na rozciąganie $R_m = 900 - 1100$ MPa,
- udarność KV ≥ 35 J,
- wydłużenie A_5 (%) ≥ 12 ,
- przewężenie Z (%) ≥ 50 ,
- praca łamania KU2 (J) ≥ 56 .



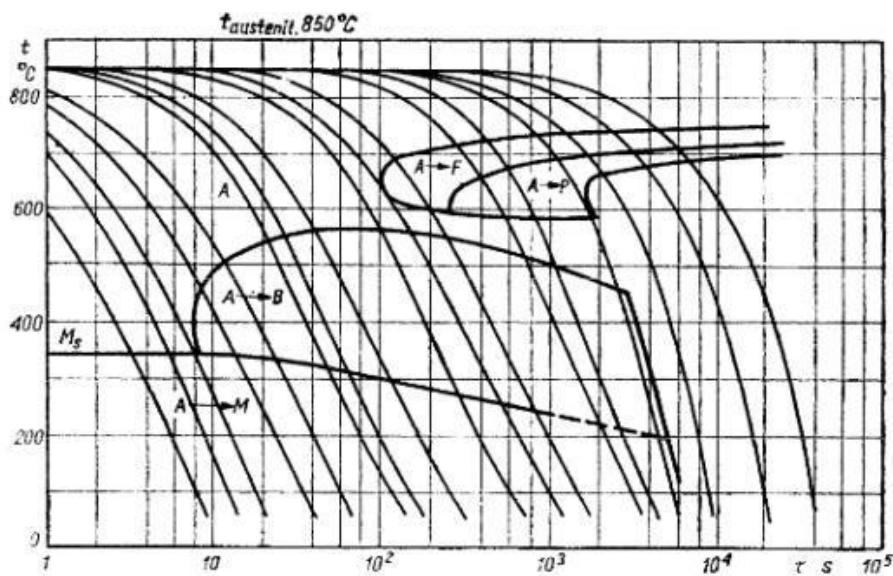
Rys. 4. a) pasmo hartowności stali, b) zależność własności mechanicznych od temperatury odpuszczania [17]

Rysunki 5 i 6 przedstawiają wykresy CTPi i CTPc. Pierwszy z nich zwany izotermicznym, pokazuje przemiany zachodzące w danej stali podczas chłodzenia izotermicznego z temperatury austenitowania z różnymi poziomami przechłodzenia. Drugi zaś, określany jako ciągły, pokazuje

przemiany zachodzące w stali 42CrMo4 podczas ciągłego procesu chłodzenia z temperatury austenitowania z różnymi szybkościami [6].



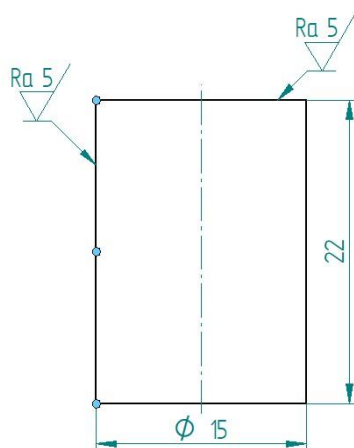
Rys. 5. Wykres CTPi dla stali 40HM [17]



Rys. 6. Wykres CTPc dla stali 40HM [17]

3.3. Przygotowanie próbek do badań i metodyka badań

W pracy podjęto się zbadania wpływu parametrów obróbki cieplnej próbek stali 42CrMo4, obrabianej mechanicznie - wysokość 22 mm i średnica 15 mm, rys. 7 oraz 8.



Rys. 7. Rysunek próbek poddanych obróbce cieplnej



Rys. 8. Próbkki przygotowane do obróbki cieplnej

Do przeprowadzenia obróbki cieplnej i jej analizy użyto:

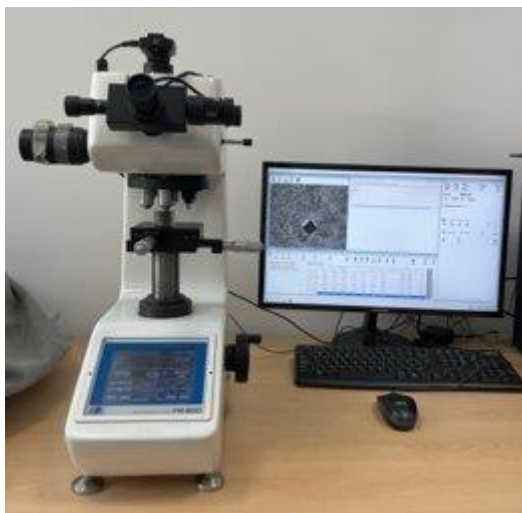
- pieców laboratoryjnych (rys. 9, 10),
- mikrotwardościomierza Vickersa (rys. 11),
- mikroskop metalograficzny i skaningowy mikroskop elektronowy (SEM) (rys. 12),
- ośrodka chłodzącego – woda (rys. 13),
- ośrodka chłodzącego – olej hartowniczy (rys. 14).



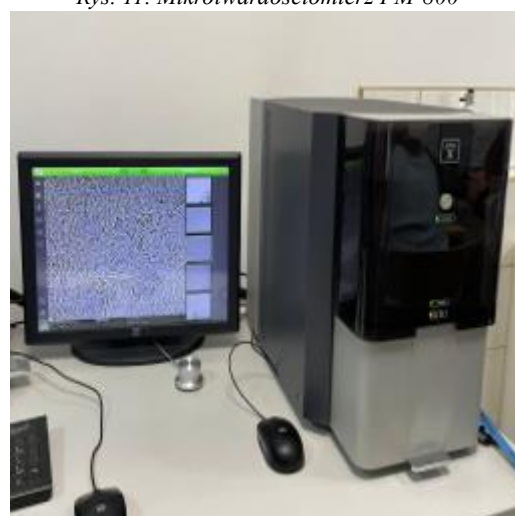
Rys. 9. Piec laboratoryjny nr 1 ze sterownikiem HT40A



Rys. 10. Piec laboratoryjny nr 2 ze sterownikiem INDUSTRY



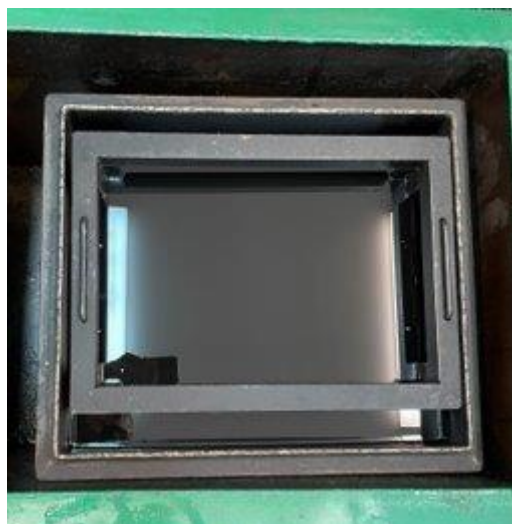
Rys. 11. Mikrotwardościomierz FM-800



Rys. 12. Skaningowy mikroskop elektronowy SEM



Rys. 13. Ośrodek chłodzący – woda



Rys. 14. Ośrodek chłodzący – olej hartowniczy

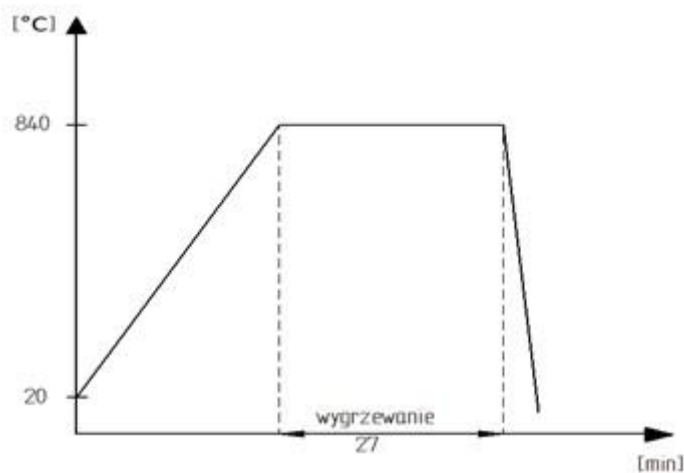
3.4. Przeprowadzona obróbka cieplna

Tabela 4 zawiera oznaczenia próbek i opis przeprowadzonych procesów obróbki cieplnej – numer, rodzaj obróbki cieplnej wraz z rodzajem ośrodka chłodzącego.

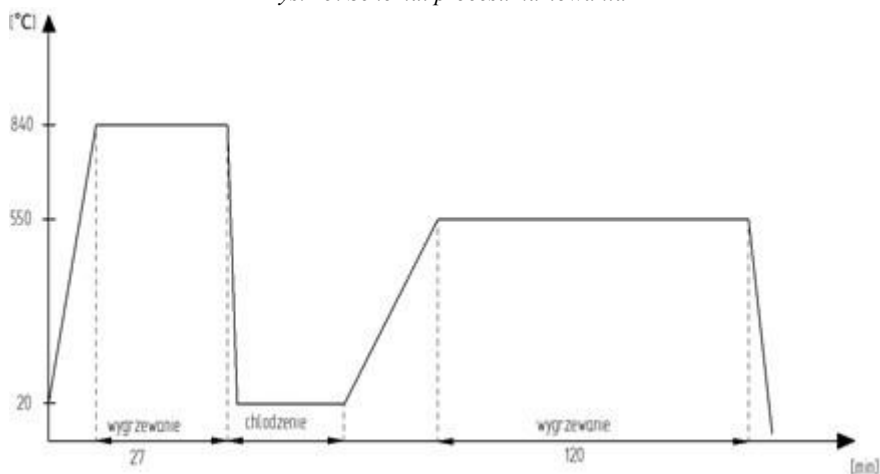
Tabela 4. Przeprowadzone zabiegi obróbki cieplnej

Numer próbki	Obróbka cieplna	Ośrodek chłodzący
Próbka I	Hartowanie I odpuszczanie (ulepszanie cieplne)	Woda
Próbka II	Hartowanie	Woda
Próbka III	Normalizowanie (stan dostawy-bez obróbki cieplnej)	-
Próbka IV	Hartowanie	Olej hartowniczy
Próbka V	Hartowanie + odpuszczanie (ulepszanie cieplne)	Olej hartowniczy
Próbka VI	Wyżarzanie sferoidyzujące	-

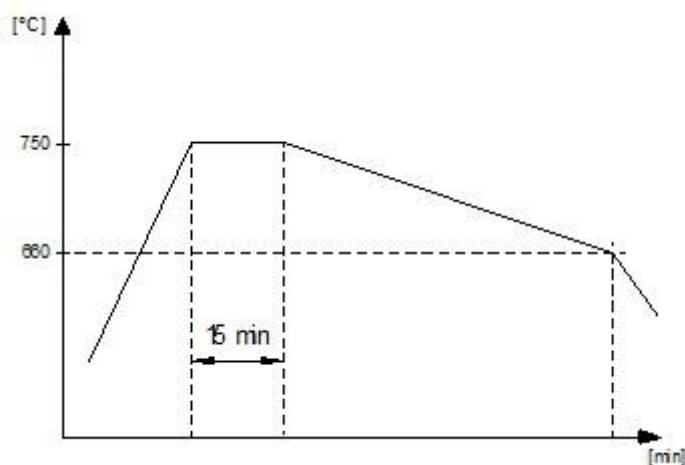
Ważną część w zaplanowaniu i późniejszym przeprowadzaniu badań są schematy przedstawione na rys. 15–17. Przedstawione są na nich poszczególne parametry cieplne obróbki tj. czas i temperatura oraz sposób chłodzenia (rys. 18).



Rys. 15. Schemat procesu hartowania



Rys. 16. Schemat procesu ulepszenia cieplnego



Rys. 17. Schemat procesu wyżarzania zmiękczającego



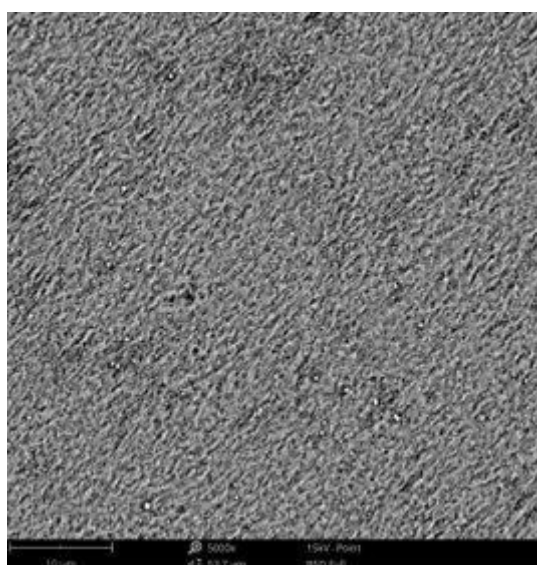
Rys. 18. Próbkę w trakcie procesu hartowania

3.5. Badania metalograficzne

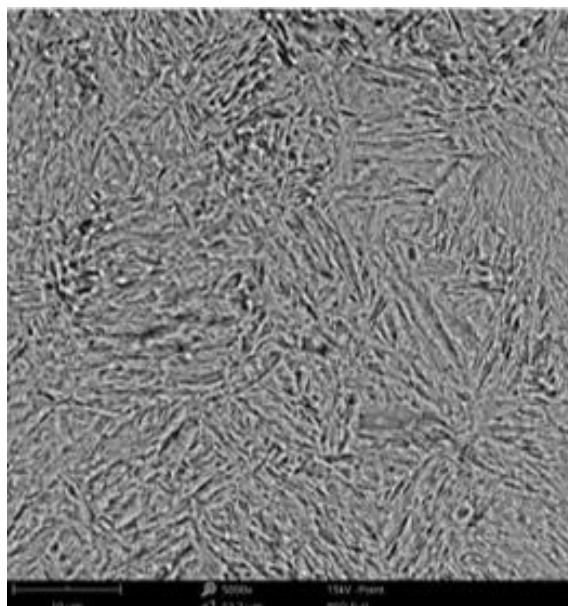
Próbki po procesach obróbki cieplnej zostały zainkludowane w żywicy (rys. 19), a następnie przygotowane do zglądów metalograficznych tj. zeszlifowane na papierze ściernym P320, P600, P800 i P1200. Próbki zostały wypolerowane mechanicznie na obrotowej tarczy, zwilżonej wodną zawiesiną Al_2O_3 . Ostatnią czynnością było poddanie próbek procesowi trawienia chemicznego tamponem waty z odczynnikami trawiącym – niklem. Jest to zabieg, który ma ukazać strukturę materiału. Zdjęcia próbek uzyskane z mikroskopu elektronowego SEM przedstawiono na rysunkach 20 – 25.



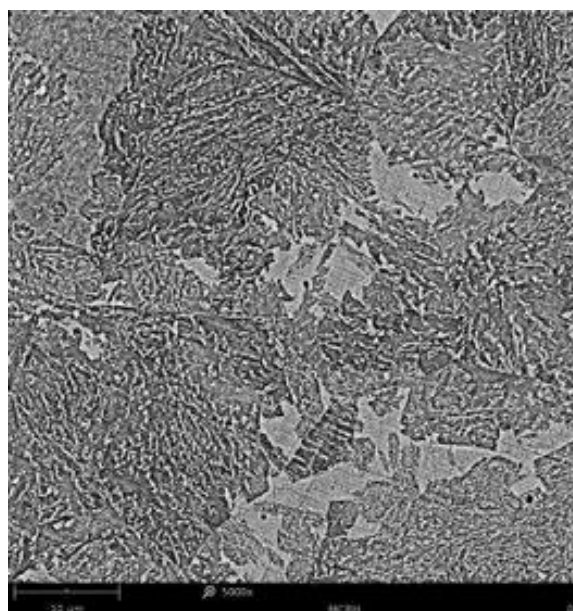
Rys. 19. Zainkludowane próbki nr I, II, IV, V



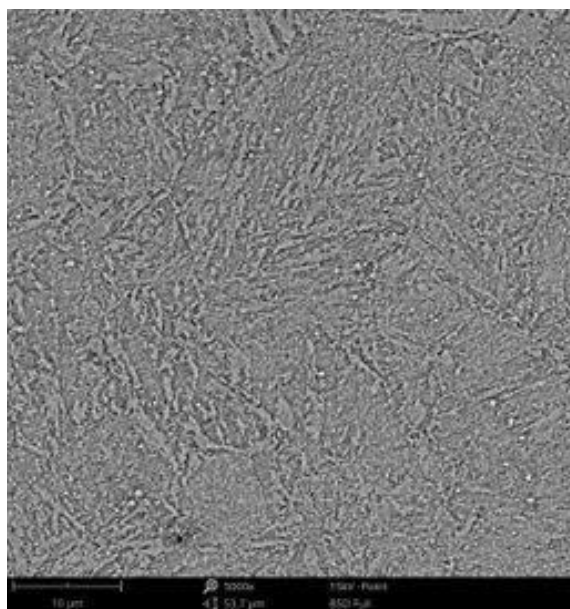
Rys. 20. Próbkę I – hartowanie + odpuszczanie w wodzie



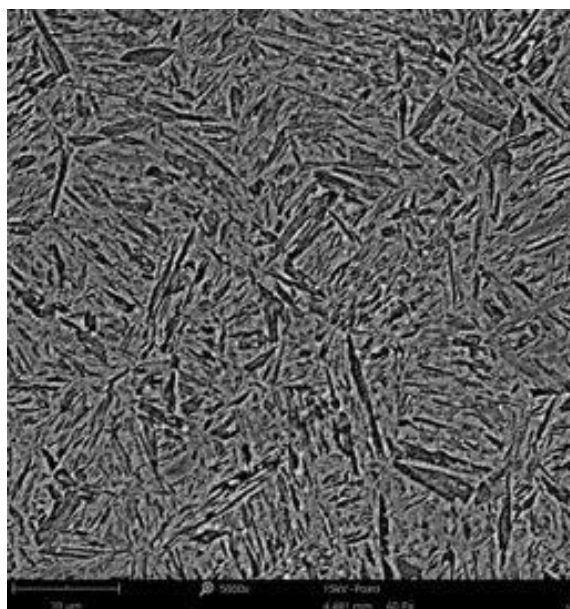
Rys. 21. Próbką II – hartowanie + chłodzenie w wodzie



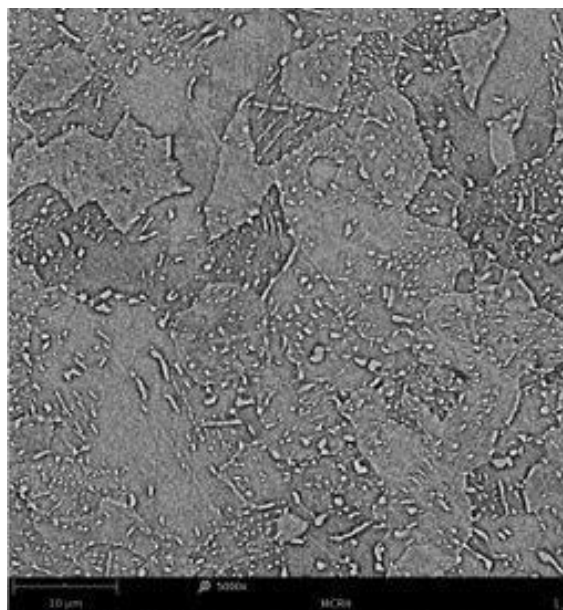
Rys. 22. Próbką III – bez obróbki cieplnej



Rys. 23. Próbka IV – Hartowanie + chłodzenie w oleju



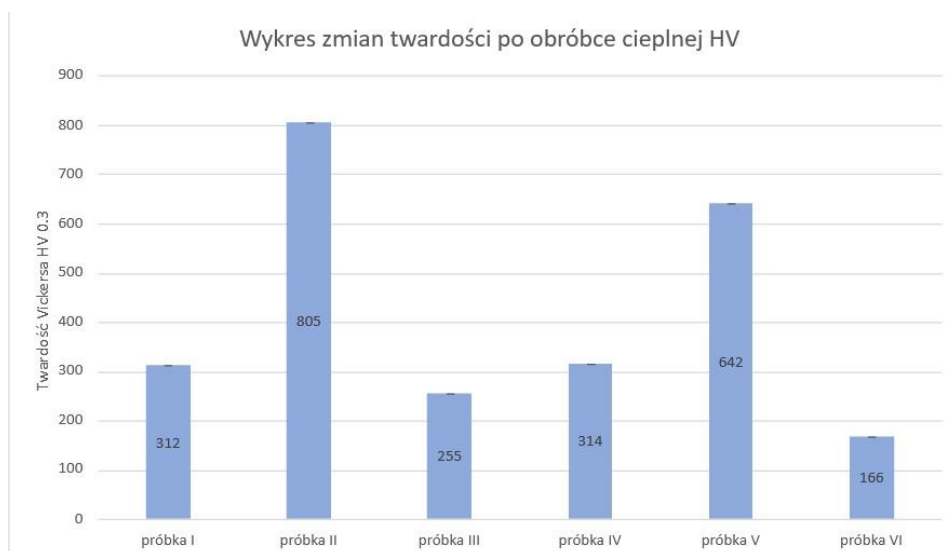
Rys. 24. Próbka V – hartowanie + odpuszczanie w oleju



Rys. 25. Próbkę nr VI – wyżarzanie sferoidyzujące

3.6. Badania twardości sposobem Vickersa

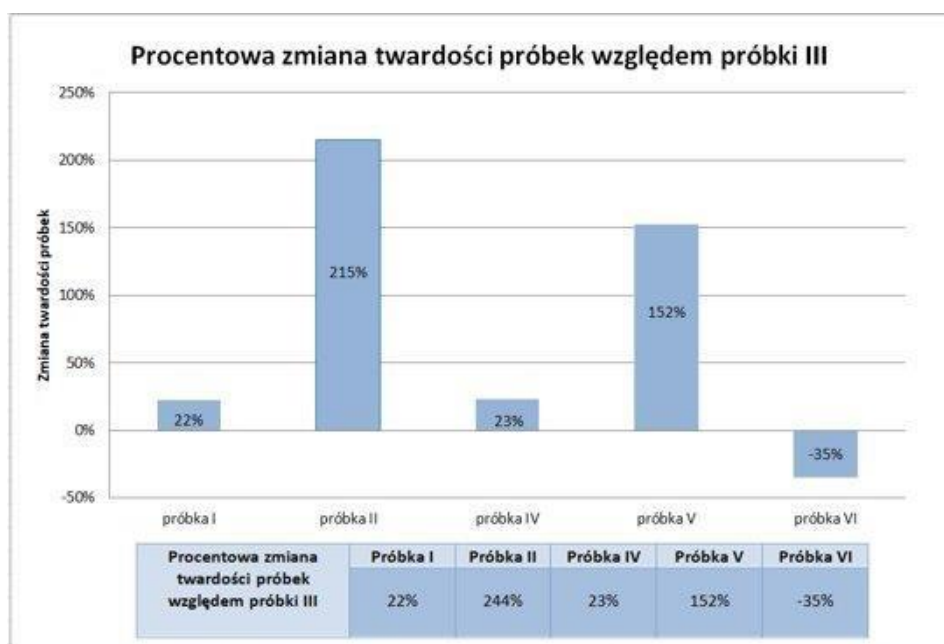
Przy użyciu mikrotwardościomierza FM-800 dokonano pomiarów twardości metodą Vickersa w skali HV 0.3. Pomiary prowadzono zgodnie z normą PN-EN ISO 6507 wykonując po min. 5 odcisków pomiarowych. Wyniki pomiarów przedstawiono na rysunkach 26 i 27.



Rys. 26. Wykres zmian twardości stali po obróbce cieplnej

Analiza wyników wykazała, iż największą twardość uzyskała próbka nr II – 805HV, która została austenitzowana w temperaturze 840 °C i zahartowana w wodzie. Najniższą twardość uzyskała próbka stali nr VI - 166HV, która została wyżarzona sferoidyzująco. Największe wartości twardości uzyskały próbki nr II i V, które zostały poddane procesowi hartowania. Uzyskany austenit w procesie nagrzewania, przekształcił się po szybkim ochłodzeniu w martenzyt, który nadaje stali duże własności

wytrzymałościowe, kosztem swojej plastyczności. Po wyżarzaniu sferoidyzującym obszary, które można wyróżnić to ferryt i cementyt. Cementyt z płytkowo zwartej struktury w wyniku przemian i wysokiej temperatury przekształcił się uzyskując morfologię ziarnistą. W przypadku próbek I i V, które zostały ulepszone cieplnie, miał miejsce zabieg odpuszczania. Spowodowało to utworzenie się struktury sorbitycznej. To struktura najkorzystniejsza, jeżeli chodzi o właściwości mechaniczne stali w procesach obróbki cieplnej. Patrząc na wyniki badań zauważyć można, iż wpływ na twardość miał również dobór parametrów obróbki cieplnej.



Rys. 27. Procentowy wykres zmian twardości próbek względem próbki nr III

5. Podsumowanie

Na podstawie wyników badań stwierdzono, iż parametry obróbki cieplnej – temperatura, czas oraz sposób chłodzenia - zastosowane do danego procesu obróbki są głównymi czynnikami, mającymi wpływ na twardość i strukturę stali 42CrMo4. Chłodzenie w wodzie wpłynęło na uzyskanie większej twardości (805HV) niż w przypadku chłodzenia w oleju (642HV). Obróbka cieplna wpływa na zmianę struktury stali. Próbki w stanie dostawy (wyżarzanie normalizujące) cechowała struktura ferrytyczno-perlityczna. Po hartowaniu stal zmieniła swoją strukturę na martenzytyczną, po odpuszczaniu na strukturę sorbityczną, natomiast po wyżarzaniu struktura składała się z osnowy ferrytycznej ze sferoidalnymi wydzielinami cementytu.

LITERATURA

- [1] Assonow A.: *Obróbka cieplna części maszyn*, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa 1972
- [2] Błażejowski W.: *Badanie twardości metali metodami Brinella, Rockwella i Vickersa na twardościomierzach*, Wyższa Szkoła Pedagogiczna w Opolu, Opole 1975
- [3] Błażewski S.: *Pomiary twardości metali*, Państwowe Wydawnictwa Techniczne, Warszawa 1954

- [4] Dobrzański L.: *Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo*, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa 2002
- [5] Goćkowski S.: *Obróbka cieplna stali*, Centralny Zarząd Przemysłu Hutniczego, Katowice 1947
- [6] Hucińska J.: *Metaloznawstwo*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 1995
- [7] Jabłoński S.: *Mały Poradnik Hartownika*, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa 1971
- [8] Kosieradzki P.: *Obróbka cieplna metali*, Państwowe Wydawnictwa Techniczne, Warszawa 1955
- [9] Pawłowski B.: *Obróbka cieplna i cieplno – chemiczna stali*, Katedra Metaloznawstwa i Metalurgii Proszków, AGH
- [10] Sieniawski J.: *Metaloznawstwo i podstawy obróbki cieplnej*, Wydawnictwo Politechnika Rzeszowska, Rzeszów 2002
- [11] Staub F.: *Obróbka cieplna stopów metali*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1955
- [12] Szewiczek D.: *Ćwiczenia laboratoryjne z obróbki cieplnej stopów metali*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1994
- [13] Szewiczek D.: *Obróbka cieplna materiałów metalowych*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1998
- [14] Wesołowski K.: *Metaloznawstwo i obróbka cieplna*, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa 1978
- [15] Wendorff Z.: *Metaloznawstwo z obróbką cieplną*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1968
- [16] Ulepszenie cieplne https://pl.wikipedia.org/wiki/Ulepszenie_cieplne
- [17] Karta materiałowa: https://wm.pollub.pl/fcp/HPREgARcJNScXKxEMUA9DAmltVyVUFD FqUVJWa3VEcwp0fWRfMR0fQWpmExhaFQ/_global/public/wm/files/66/content/files/3194karty-m.pdf
- [18] Ulepszenie cieplne <https://multistal.pl/oferta/stal-do-ulepszeniahttps://multistal.pl/oferta/stal-do-ulepszenia-cieplnego/1-7225-42crmo4-40hm/cieplnego/1-7225-42crmo4-40hm/>
- [19] Skład chemiczny stali 40HM <http://bostal.pl/index.php/stal-do-ulepszania-cieplnego/ulepszania-cieplnego/>

KAROLINA KRZEMIŃSKA¹, PATRYCJA WÓJCICKA¹, KINGA MARTYNOWSKA¹, MARCIN DĘBIŃSKI¹

Ocena bezpieczeństwa ruchu drogowego w otoczeniu szkół

Summary

These days, a large proportion of children commute to school by private car. When asked why their child does not walk to school, parents report a lack of a safe road. In the area around schools there are often accidents and collisions in which children may be involved. It is important to eliminate the problem. As part of the activities of the road and bridge science circle, a survey was created to assess and improve road safety. The survey was made on the example of three schools. The results were analyzed to check the accuracy of the survey and the answers given. With a proper diagnosis of traffic safety in the school environment, measures and methods for its improvement can be accurately selected.

Key words: school zones, traffic calming, road safety

WSTĘP

Bezpieczeństwo nieletnich uczestników ruchu drogowego jest szczególnie ważne. Istotnym problemem jest zapewnienie możliwości bezpiecznego dotarcia do szkoły. Według raportu Policji w 2022 roku doszło do 1794 wypadków z udziałem dzieci w wieku 0-14 lat, w których zginęły 53 osoby. Dzieci uczestniczyły w tych wypadkach jako piesi (537 osób) jak również jako kierujący rowerami i innymi środkami transportu osobistego (380 osób) [10]. Część tych wypadków miała miejsce w drodze do szkoły, dlatego istotnym jest zadbanie o prawidłową i bezpieczną infrastrukturę drogową w ich otoczeniu. Na poprawę bezpieczeństwa ruchu drogowego wpływa wiele czynników. Jednym z nich jest zaostrzenie kar za łamanie przepisów drogowych. Przykładem może być zmiana prawa o ruchu drogowym w Korei, gdzie zaostrzono przepisy wprowadzając kary więzienia oraz prac społecznych. Zmiana ta spowodowała spadek liczby wypadków w otoczeniu szkół. Oprócz zaostrzenia kar wprowadzono również zmiany w prawie o drogach publicznych, nakładając obowiązek montowania urządzeń zwiększających bezpieczeństwo pieszych [8]. Podczas przebudowy dróg w otoczeniu należy pamiętać o zastosowaniu odpowiednich rozwiązań spowalniających ruch drogowy oraz zwiększających bezpieczeństwo. W Ghanie, Wietnamie i Meksyku wykonano inwestycje zwiększające bezpieczeństwo ruchu drogowego w otoczeniu szkół. Wykonano między innymi oznakowanie przejść, budowę azyli oraz montaż wygradzenia. Działania te wpłynęły na poprawę bezpieczeństwa dzieci co zmniejszyło to liczbę zdarzeń oraz wypadków w miejscach, gdzie je zastosowano [12]. Wpływ na zmniejszenie prędkości mają również znaki z odpowiednim podświetleniem lub znaki zmiennej treści. Potwierdzają to badania zrealizowane w Australii [11]. Bardzo dobrym wpływem na poprawę bezpieczeństwa ruchu drogowego charakteryzuje się zastosowanie środków uspokojenia ruchu drogowego. Przykładem tego może być miasteczko holenderskie, które zostało wykonane w mieście Puławy. Zastosowane rozwiązania pozwoliły na zmniejszenie liczby wypadków w analizowanym obszarze [1]. Możliwość poprawy bezpieczeństwa poprzez zastosowanie środków uspokojenia ruchu drogowego potwierdzają

¹ Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury, Katedra Dróg i Mostów, KN Drogowców i Mostowców PL

również zagraniczne wyniki badań [2]. Zwiększenie bezpieczeństwa można również uzyskać dzięki odpowiedniej edukacji dzieci i rodziców. Przykładem może być Japonia, gdzie dzieci są uczone od najmłodszych lat aby podróżować do szkoły samemu. Dzieci przemieszczają się w grupach. Wcześniej przygotowywane są odpowiednio, aby bezpiecznie korzystać ze środków transportu zbiorowego i poruszać się po drogach [3]. Dzieci powinny uczyć się bezpiecznego poruszania po drodze na przykładzie rodziców. Jednym z rozwiązań jest walking school bus, które zastosowano w Północnej Karolinie w Stanach Zjednoczonych. Dzieci odprowadzane są do szkół przez rodziców w grupach. Rodzice zmieniają się, a dzieci bezpiecznie docierają do szkoły [4]. W niektórych miastach zastosowano radykalne środki poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego poprzez zamknięci dróg dla samochodów w godzinach rozpoczęcia i zakończenia nauki w szkole [5,7]. W 2022 roku również zastosowano takie rozwiązanie w Krakowie [6]. Wszystkie omówione rozwiązania przynoszą efekty, gdy są odpowiednio dobrane do potrzeb. W celu zdefiniowania celu i środków należy najpierw zdiagnozować istniejące błędy i problemy. Szkoły i zarządcy siecią drogową nie mają środków na coroczne audyty sieci drogowej w otoczeniu szkół. W celu poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego należałoby opracować uproszczoną metodę oceny bezpieczeństwa ruchu drogowego w otoczeniu szkół.

METODY BADAWCZE

Głównym założeniem projektu Bezpieczne Otoczenie Szkoły (nazywanego dalej BOS) była ocena bezpieczeństwa infrastruktury drogowej wraz z definiowaniem i wskazaniem wytypowanych miejsc niebezpiecznych w celu propozycji działań, których podjęcie spowodowałoby zmniejszenie ryzyka wystąpienia zdarzeń niebezpiecznych w czasie drogi dziecka do szkoły w bezpośrednim jej otoczeniu. Projekt swoim zakresem objął trzy szkoły na terenie m. Lublin.

W projekcie, wykonano kwestionariusz ankietowy. Była to internetowa ankieta o charakterze anonimowym składająca się z 26 pytań zamkniętych. Pytania zawarte w ankiecie zostały podzielone na pytania typu alternatywnego, w którym ankietowany miał możliwość wyboru jednej z dwóch możliwych odpowiedzi (odpowiedź TAK/NIE) oraz pytania typu dysjunktywnego. W przypadku pytań typu dysjunktywnego ankietowani udzielali odpowiedzi na zadane pytanie wybierając jedną z możliwych odpowiedzi, którymi były kolejne stopnie w sześciostopniowej skali, gdzie ocena 0 oznaczała, iż dana osoba zdecydowanie nie zgadza się z występowaniem lub niewystępowaniem niebezpieczeństwa, którego dotyczy pytanie natomiast ocena 5 oznaczała, iż osoba zdecydowanie się z nim zgadza.

Wśród 26 udostępnionych pytań 6 było pytaniami typu alternatywnego natomiast pozostałe 20 pytań to pytania typu dysjunktywnego. Badanie ankietowe nie dawało ankietowanym możliwości wyboru więcej niż jednej odpowiedzi w którymkolwiek z pytań, jak również nie zawierało pytań o charakterze otwartym.

Udostępnione w ankiecie pytania ułożone zostały w oparciu o listę kontrolną znajdującą się w rozdziale 7.6 podręcznika audytu BRD załącznik 4, czyli rozdział „7.6. Lista pomocnicza zagadnień do wykonywania Audytu BRD dla początkowej fazy użytkownika drogi” [9]. Lista kontrolna do audytów BRD jest to zebrany zestaw pytań podzielonych na zagadnienia, które są rekomendowane do sprawdzenia w odniesieniu do bezpieczeństwa ruchu drogowego na drodze, na której przeprowadzany jest audyt BRD. Pytania zawarte w listach kontrolnych są jedynie pomocniczym zestawem pytań co oznacza, iż nie zostały w niej ujęte wszystkie niebezpieczeństwa z jakimi może spotkać się użytkownik drogi, dlatego w zależności od sytuacji można zadać inne pytania dotyczące problemów mogących mieć wpływ na bezpieczeństwo w konkretnym przypadku. W związku z powyższym, po przeanalizowaniu

sytuacji w bezpośrednim otoczeniu rozpatrywanych szkół, do ankiety ułożono również pytania, które sprawdzały zagadnienia mające wpływ na bezpieczeństwo ruchu drogowego w otoczeniu szkół, a których nie wymieniono w listach kontrolnych.

Przeprowadzone zostały trzy ankiety. Każda z ankiet dotyczyła innej z analizowanych szkół, jednak wszystkie ankiety zawierały te same pytania ułożone w tej samej kolejności. Pytania zwarte w ankiecie dotyczyły:

- przejezdności w korytarzach ruchu,
- dopuszczalnej prędkości i urządzeń ograniczających prędkość,
- wzajemnej widoczności na przejściach dla pieszych i przejazdach rowerowych,
- stanu i czytelności oznakowania pionowego i poziomego,
- widoczności w rejonie skrzyżowań, przejść dla pieszych i przejazdów rowerowych;
- oświetlenia przystanków, przejść dla pieszych i przejazdów rowerowych (lokalizacja, jakość);
- rozwiązań poprawiających bezpieczeństwo osób na przejściach dla pieszych,
- miejsc krótkotrwałego postoju,
- udogodnień dla osób z niepełnosprawnością.

Pierwszym etapem prowadzonego projektu było przeprowadzenie badania weryfikującego ankietę, czyli przeprowadzenie tzw. „ankiety testowej”. Celem ankiety testowej była weryfikacja czy zadane pytania są czytelne, logicznie ułożone oraz czy są one zrozumiałe dla osób ankietowanych. Ważnym założeniem przeprowadzonej ankiety było ułożenie pytań w taki sposób, aby nie zawierały one żargonu, który byłby charakterystyczny dla konkretnej grupy zawodowej, a co za tym idzie utrudniałby zrozumienie postawionego pytania dla osób spoza branży. Respondenci odpowiadali na pytania na podstawie dokumentacji fotograficznej dołączonej w folderze udostępnionym w postaci linku zamieszczonego w formularzu.



Rys. 1 Porównanie widoczności na przejściu dla pieszych w dzień i w nocy Źródło: Fotografia własna

Zdjęcia załączone jako dokumentacja fotograficzna wykonane zostały przez członków Koła Naukowego Drogowców i Mostowców Politechniki Lubelskiej biorących udział w projekcie BOS, w trakcie przeprowadzonej inwentaryzacji fotograficznej. Inwentaryzację przeprowadzono o różnych porach dnia tak, aby porównać widoczność elementów, na którą mogą mieć wpływ różne warunki oświetlenia. Zdjęcia wykonywano w ciągu dnia, kiedy jedynym oświetleniem jest naturalne światło dzienne oraz po zmroku, w porze, kiedy elementy infrastruktury ruchu drogowego, takie jak przejścia dla pieszych, przejazdy rowerowe, chodniki, itp. dla bezpieczeństwa użytkowników powinny być doświetlone za pomocą oświetlenia światłem sztucznym. Przykład porównania widoczności na przejściu dla pieszych w okresie dnia i nocy przedstawiono na rys. 1. W czasie przeprowadzonej inwentaryzacji skupiono się na elementach, których dotyczyły pytania zawarte w ankiecie (przejścia dla pieszych, przejazdy rowerowe, chodniki, oświetlenie, widoczność, lokalizacja).

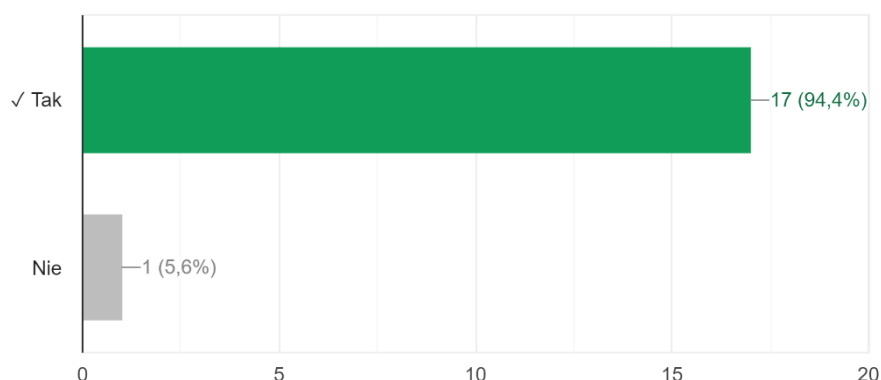
WYNIKI

W badaniu wzięło udział 24 ankietowanych udzielając odpowiedzi na 26 pytań dla każdej z trzech szkół. Wyniki analizowane były z uwzględnieniem czytelności i powtarzalności wyników oraz poprawność odpowiedzi. Na podstawie uzyskanych odpowiedzi wytypowano pytania z największą ilością powtarzających się odpowiedzi:

- Czy lokalne ograniczenia prędkości są dobrane odpowiednio do otoczenia szkoły?
- Czy są respektowane znaki i sygnały świetlne?
- Czy lokalizacja przystanków jest poprawna?
- Czy występuje obniżenie krawężnika w rejonie przejść dla pieszych i przejazdów rowerowych?
- Czy w obrębie szkoły znajduje się wystarczająca liczba przejść dla pieszych i przejazdów dla rowerów?
- Czy lokalizacja przejść dla pieszych i przejazdów rowerowych jest poprawna?

Czy lokalne ograniczenia prędkości są dobrane odpowiednio do otoczenia szkoły?

17/18 poprawnych odpowiedzi



Rys. 2 Odpowiedzi ankietowanych na pytanie o stosowanie lokalnych ograniczeń prędkości w otoczeniu szkół

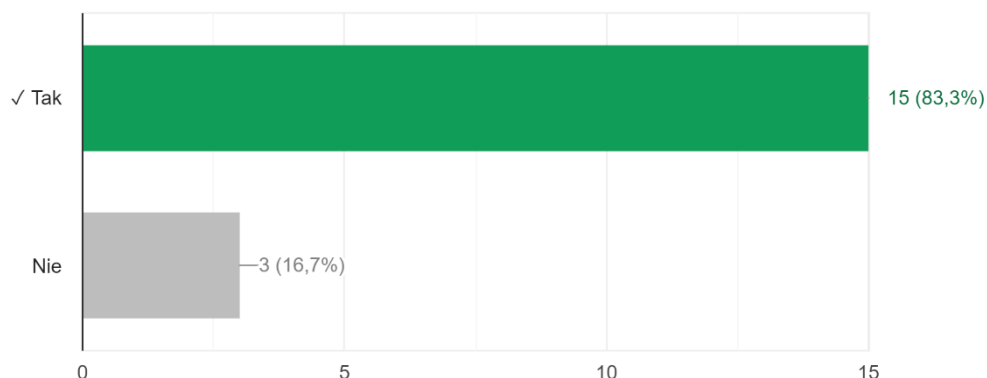
W analizie tej uwzględniono czy większość ankietowanych udzieliło takich samych odpowiedzi. Pytanie dotyczące lokalnych ograniczeń prędkości osiągnęło najbardziej jednolite odpowiedzi.

Na rys.2 przedstawiono wyniki dla jednej z analizowanych szkół. Większość ankietowanych odpowiedziało twierdząco na to pytanie.

Drugim pytaniem pod względem jednolitych odpowiedzi było czy respektowane są znaki i sygnały świetlne. Najlepszy wynik to ponad 80% jednakowych odpowiedzi. Wyniki dla jednej z analizowanych szkół przedstawiono na rys. 3.

Czy są respektowane znaki i sygnały świetlne?

15/18 poprawnych odpowiedzi



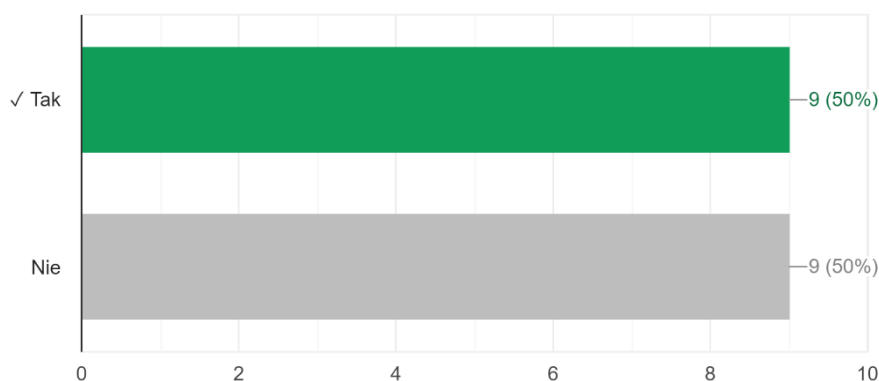
Rys. 3 Odpowiedzi ankietowanych na pytanie o znaki i sygnały świetlnej w otoczeniu szkół

Pozostałe wymienione pytania również osiągnęły powyżej 80% identycznych odpowiedzi. Sprawdzając poprawność odpowiedzi potwierdzono czytelność i zrozumienie pytania przez ankietowanych. Pytania te przyjęto jako element docelowej ankiety. W kolejnym kroku wytypowano pytania z największymi różnicami w odpowiedziach. Wybrano trzy pytania:

- Czy przystanki w otoczeniu szkoły są właściwie oświetlone?
- Czy występują urządzenia ograniczające prędkość poruszających się pojazdów?
- Czy dobrze oświetlone są przejścia dla pieszych?

Czy przystanki w otoczeniu szkoły są właściwie oświetlone?

9/18 poprawnych odpowiedzi



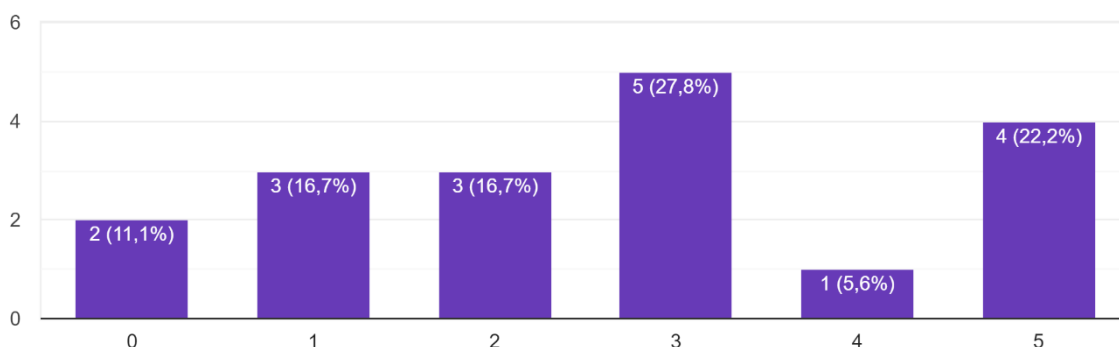
Rys. 4 Odpowiedzi ankietowanych na pytanie o oświetlenie przystanków w otoczeniu szkół

Najgorsze wyniki otrzymano dla pytania dotyczącego przystanków dla pieszych. Ankietowani odpowiedzieli po 50% na obie odpowiedzi. Wyniki przedstawiono na rys. 4. Wyniki ankiety wskazują na brak precyzyjnego sformułowania pytania. Autorzy ankiety zdefiniowali problem i zaproponowali zmianę formy pytania i podania przykładów poprawnych oraz negatywnych przykładów.

Innym przykładem pytania jest kwestia oświetlenia przejść dla pieszych. Głosy ankietowanych rozłożyły się równomiernie pomiędzy 5 odpowiedziami. Wyniki przedstawiono na rys. 5.

Czy dobrze oświetlone są przejścia dla pieszych?

18 odpowiedzi



Rys. 5 Odpowiedzi ankietowanych na pytanie o oświetlenie przejść dla pieszych w otoczeniu szkół

Wyniki badań pokazują, że należy przeanalizować i doprecyzować niektóre pytania. Autorzy zauważyli również potrzebę przygotowania przykładowych odpowiedzi i ilustracji. Wyniki dla poszczególnych szkół zebrano i przygotowano podstawowe parametry statystyczne jak średnia i mediana. Wszystkie szkoły uzyskały wynik powyżej 50%. Wyniki dla poszczególnych szkół:

- Szkoła nr 1: Średnia liczba punktów: 13,17 pkt; Mediana:13;
- Szkoła nr 2: Średnia liczba punktów: 12,89 pkt; Mediana:13;
- Szkoła nr 3: Średnia liczba punktów: 12 pkt; Mediana:12.

Najlepszy wyniki to średnio 13,17 pkt, a najgorszy to 12,89 pkt. Wszystkie szkoły charakteryzują się zbliżonymi wynikami. Ankieta wymaga dalszej pracy w celu ujednoczenia i poprawy czytelności.

PODSUMOWANIE

Celem projektu Bezpieczne Otoczenie Szkoły było przygotowanie kwestionariusza ankiety, która miała na celu możliwość oceny bezpieczeństwa ruchu drogowego przez pracowników szkoły lub urzędu miasta. W trakcie realizacji została stworzona ankieta na podstawie Podręcznika Audytów Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad. W ankiecie większość pytań uzyskała powtarzalne wyniki. Istniejąca grupa pytań z dużymi różnicami wyników. Na podstawie analizy wytypowano pytania do weryfikacji. Proponowanymi działaniami naprawczymi jest zmiana treści pytania (doprecyzowanie) lub przygotowanie przykładów dla poszczególnych pytań.

Celem zaplanowany działań jest ujednolicenie uzyskiwanych pytań. We wszystkich szkołach najgorzej było oceniane parkowanie w pobliżu szkół. Wszystkie szkoły uzyskały zbliżone wyniki. Na podstawie uzyskanych wyników określono, że średnio uzyskano około 50%. Stosując wymagania ze szkół byłaby to ocena dostateczna. Na podstawie takiej analizy można precyzyjnie zdefiniować zagrożenie, przeanalizować i wykonać środki naprawcze. Autorzy planują dalsze prace, aby przygotować dokładną i rzetelną ankietę do oceny bezpieczeństwa ruchu drogowego w otoczeniu szkoły.

PODZIĘKOWANIA

Wyniki badań powstały w wyniku realizacji projektu Bezpieczne Otoczenie Szkoły, którego pomysłodawcą był dr hab. inż. Janusz Bohatkiewicz. W projekcie brało udział wielu studentów Koła Naukowego Drogowców i Mostowców Politechniki Lubelskiej a w szczególności: Joanna Szczepańska, Bartosz Rosa, Dominik Śmiech, Inga Wicha-Mardofel, Konrad Czajka, Margareta Rakowska, Mateusz Gawin, Michał Budzyński. Dziękujemy za pomoc w realizacji projektu Pracownikom Urzędu Miasta Lublin.

LITERATURA

- [1] Bohatkiewicz J., Czarnecka W., Wpływ wprowadzenia środków uspokojenia ruchu na bezpieczeństwo użytkowników ruchu, na przykładzie Miasteczka Holenderskiego w Puławach, Logistyka 6, 2014
- [2] Bunn F, Collier T, Frost C, et al Traffic calming for the prevention of road traffic injuries: systematic review and meta-analysis Injury Prevention 2003;9:200-204
- [3] <https://www.cbsnews.com/news/japanese-young-children-solo-commute-subway-school/> [11.05.2023]
- [4] <http://www.walkingschoolbus.org/> [11.05.2023]
- [5] <https://www.islington.gov.uk/roads/people-friendly-streets/school-streets/what-are-school-streets> [11.05.2023]
- [6] <https://www.radiokrakow.pl/aktualnosci/krakow/jak-sie-sprawdzila>[11.05.2023]
- [7] https://www.royalgreenwich.gov.uk/info/200259/transport_and_travel/2047/school_streets [11.05.2023]
- [8] Jun Eun S. Effects of tougher school zone laws on road traffic safety in school zones for children in South Korea, Journal of Transport & Health, Volume 32, 2023.
- [9] Podręcznik audytu BRD, Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad
- [10] Raport Wypadki Drogowe w Polsce w 2022 roku, Komenda Główna Policji, Warszawa 2023 r
- [11] Singh R. Queensland multi-lane school zone trial, The Australasian Road Safety Research, Policing and Education Conference Perth, 6 – 9 November 2011
- [12] Swanson, J. M., Draisin, N., Krasnolucka, A., Vadillo, C., Medina, S., Pérez, B., Kalolo, S., Quyen, B. N. T., Minh, V. N., & Sauber-Schatz, E. (2022). Observing pedestrian-vehicle traffic conflicts in school zones to evaluate the effectiveness of road safety interventions and reduce injuries in Ghana, Vietnam, and Mexico, 2019-2021. Journal of injury & violence research, 14(3), 145–152

ALEKSANDRA FUKS¹, FAUSTYNA SMARZEWSKA¹, KAROL WARMIŃSKI¹, ANNA KUCZMASZEWSKA¹

Dlaczego nie umiemy przewidywać, czyli o niestabilności układów nieliniowych

Summary

This work takes into consideration a problem of models that contain non-linear equations and the consequences that occur while making a prediction using them. The problem described in the article concerns numerical errors that often appear while calculating, especially during computer-based solving process. The problem is also described from more theoretical side through an example of logistic map and Bifurcation phenomenon. In the last section we characterize tools in terms of phase space's and Poincaré space's section and describe ways of detecting and utilizing models with chaotic tendency.

Key words: chaos theory, non-linear models, butterfly effect, bifurcation, phase space

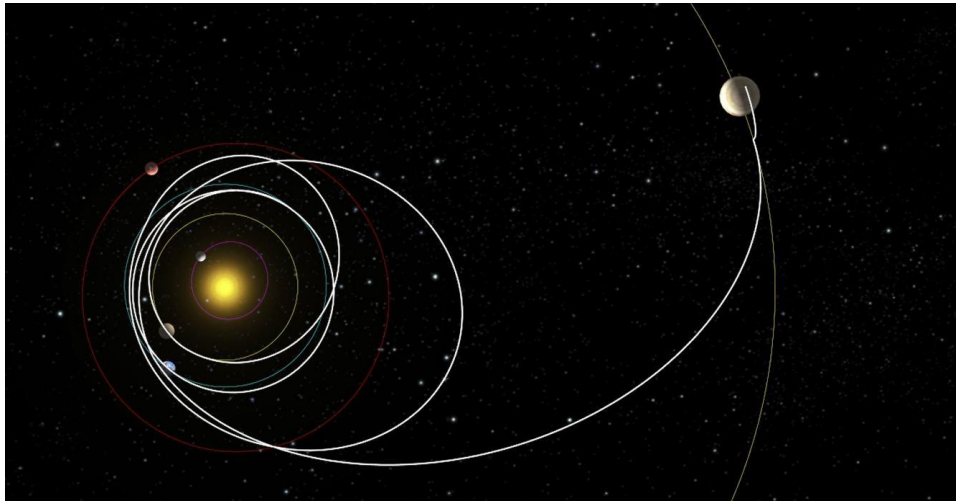
WSTĘP

Inspiracją do poniższej pracy była wiadomość o udanym starcie sondy badawczej JUICE będącej elementem misji Europejskiej Agencji Kosmicznej. Celem misji jest zbadanie lodowych księżyców Jowisza, a wyróżniającym, w stosunku do innych misji kosmicznych, elementem jest trajektoria lotu, którą prezentuje Rys.1. Jej złożoność jest spowodowana minimalizowaniem zużycia paliwa, które ma być wykorzystywane jedynie do "przeskoków" na kolejne orbity planet. Tak jak sam pomysł nie wydaje się zbyt skomplikowany, tak znalezienie optymalnej dla sondy trajektorii wymaga, aby planety były względem siebie w konkretnym położeniu. Przez to procedura wystrzelenia musiała być wykonana z dokładnością co do sekundy. Dokonano tego w drugiej próbie 14 kwietnia 2023 roku, gdyż poprzednia próba (13 kwietnia) została odwołana ze względu na złe warunki atmosferyczne. Sama sonda powinna osiągnąć orbitę Jowisza w październiku 2029 roku [5].

Nasuwa się pytanie, jak taką trajektorię zaplanować, skoro już układ zaledwie dwóch ciał jest nierozwiązywalny w sposób analityczny. Pozostają nam jedynie metody numeryczne, które jednak w większości przypadków dają nam przybliżone wyniki, a przy tak skomplikowanej operacji, obliczenia musiałyby być wykonywane z idealną precyzją.

Dzisiejsze komputery potrafią wykonywać, jak dotąd nieosiągalną dla człowieka liczbę obliczeń w ułamku sekundy, z dokładnością do kilkunastu miejsc po przecinku. Mowa tutaj jedynie o tych komputerach, które nosimy w kieszeni. Możliwości naukowych superkomputerów są o kilka rzędów wielkości większe od tych stosowanych w życiu codziennym. W czerwcu 2020 roku, za najmocniejszy superkomputer został uznany japoński komputer Fugaku [2] osiągający moc obliczeniową wynoszącą 415 petaflopów, gdzie jeden petaflop to biliard operacji zmiennoprzecinkowych na sekundę. Czy zatem jest sens poruszać temat dokładności obliczeniowej mając do dyspozycji takie maszyny?

¹ Studenckie Koło Naukowe Kwaternion, Politechnika Lubelska



Rys. 1. Trajektoria lotu sondy JUICE
Źródło: <https://sci.esa.int/s/84oM9mW>

Okazuje się, że tak. W momencie, gdy otaczająca rzeczywistość jest opisana za pomocą układów liniowych, a zatem takich w których występują jedynie proporcje proste, obliczenia prowadzą do wystarczająco precyzyjnych wyników. Jednak problem pojawia się, gdy interesująca nas zależność nie jest liniowa. Można przybliżać ją liniowo, jednak nie jest to efektywna i wiarygodna metoda. Rozwiązywanie zaś układów nieliniowych prowadzi często do dużo bardziej skomplikowanych obliczeń. Dodatkowo, nawet te problemy nieliniowe, które na pozór nie wydają się złożone kryją w sobie niestabilność.

BIFURKACJA [4]

Aby przedstawić problem niestabilności nieliniowych równań różnicowych i różniczkowych rozważmy odwzorowanie logistyczne, które jest jednym z podstawowych przykładów układów dynamicznych zachowujących się chaotycznie:

$$x_0 = c$$

$$x_{t+1} = kx_t(1 - x_t), \quad t \in \mathbb{N}, \quad k \in (0, 4) \quad (1)$$

Równanie opisuje kolejne wyrazy ciągu za pomocą wartości poprzedniej dla ustalonego warunku początkowego x_0 z przedziału jednostkowego $(0, 1)$. Parametr k jest stałą z przedziału $(0, 4)$.

Przeanalizujemy, jak zmienia się równanie w zależności od tego jaki będziemy wybierać parametr k :

- dla $k < 3$ otrzymujemy wartości, które dążą do stanu stacjonarnego, czyli takiego który nie zmienia swoich wartości bez względu na liczbę kolejnych iteracji,
- $k = 3$ jest wartością graniczną, po przekroczeniu której zaczynają pojawiać się rozgałęzienia,

- dla $k > 3$ pojawiają się rozgałęzienia. Rozgałęzienia te nie mogłyby się pojawić w przypadku rozważania równania liniowego i są przyczyną, że nawet delikatne zaburzenie wartości x może skutkować całkiem innym rezultatem i zmianą trajektorii równania z jednej gałęzi na drugą [2].

W Tabeli 1 przedstawiono początkowe i końcowe rozwiązania z 100 pierwszych wartości odwzorowania logistycznego, tzn. dla ustalonego warunku początkowego ($x_0 = 0.93$) zostały wykonane obliczenia wzoru (1). Zostały rozważone 3 przypadki w zależności od doboru parametru k obrazujące wyniki dla każdego z wymienionych wyżej przypadków:

- dla $k = 2$, obrazujący zbieżność trajektorii do punktu stałego,
- dla $k = 3$, który jest wartością graniczną, można dostrzec w wynikach oscylacje wokół wartości 0.71 i 0.61,
- dla $k = 3.3$, obserwujemy wyraźne pogrupowanie wartości, naprzemiennie pojawiają się wyniki oscylujące wokół 0.82 i 0.47.

Tabela 1. Wyniki dla odwzorowania logistycznego

Iteracja	k=2	k=3	k=3.3
1	0.93000000	0.93	0.93
2	0.13020000	0.1953	0.21483
3	0.22649592	0.47147373	0.55663763463
4	0.35039104	0.747558755759661	0.814414188533612
5	0.45523432	0.566143987340185	0.498774269560877
6	0.49599207	0.736874918816224	0.824995042030139
7	0.49996787	0.581670818507422	0.476448134764233
8	0.50000000	0.729989632212983	0.823169521824924
9	0.50000000	0.59131430722361	0.480352818539386
10	0.50000000	0.724985091888817	0.823726161260157
11	0.50000000	0.598145125283342	0.479164529302017
12	0.50000000	0.721102603149351	0.823567414430618
13	0.50000000	0.603340916641741	0.479503623451659
14	0.50000000	0.717961964842934	0.823613665209682
15	0.50000000	0.607477745645423	0.479404845775534
80	0.50000000	0.691132184256804	0.823603283206069
81	0.50000000	0.64040546442367 ...	0.479427019824235

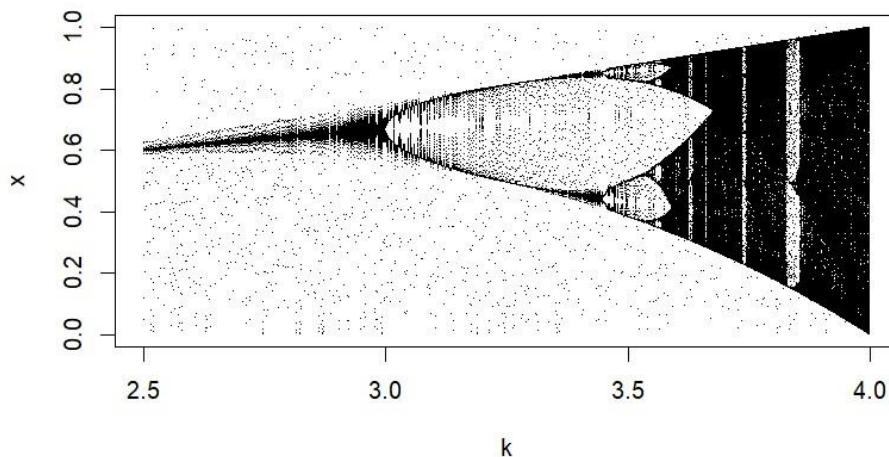
82	0.50000000	0.690858916679921	0.823603283206069
83	0.50000000	0.640718621771301	0.479427019824234
84	0.50000000	0.690594808460356	0.823603283206069
85	0.50000000	0.64102085696388	0.479427019824234
86	0.50000000	0.690339353703519	0.823603283206069
87	0.50000000	0.64131279129518	0.479427019824235
88	0.50000000	0.690092085049094	0.823603283206069
89	0.50000000	0.641594997605064	0.479427019824234
90	0.50000000	0.689852569959666	0.823603283206069
91	0.50000000	0.64186800503913	0.479427019824234
92	0.50000000	0.689620407438652	0.823603283206069
93	0.50000000	0.642132303248399	0.479427019824235
94	0.50000000	0.689395225119916	0.823603283206069
95	0.50000000	0.642388346105329	0.479427019824234
96	0.50000000	0.689176676680167	0.823603283206069
97	0.50000000	0.642636555000743	0.479427019824234
98	0.50000000	0.68896443953256	0.823603283206069
99	0.50000000	0.642877321776436	0.479427019824235
100	0.50000000	0.688758212765978	0.823603283206069

Źródło: Opracowanie własne.

Na Rys.2. przedstawiono, wartości odwzorowania logistycznego od współczynnika k zmieniającego się od wartości 2.5 do 4 . Można zauważyć wspomniane rozgałęzienia, które były również widoczne w wynikach tabeli. Zjawisko skokowej i naprzemiennej zmiany własności modelu przy drobnej zmianie czy zaburzeniu argumentu funkcji zwane jest bifurkacją.

Warto też zaznaczyć, że odwzorowanie logistyczne nie jest obiektem abstrakcyjnym funkcjonującym jedynie w teorii, a używane jest do budowy prostych modeli rozwoju populacji.

Bardziej niż do prognozowania dokładnej wielkości populacji, modele te służą do badania, czy dana populacja przetrwa lub do przewidywania jej tendencji rozwojowej.



Rys. 2. Bifurkacja
Źródło: Opracowanie własne

EFEKT MOTYLA

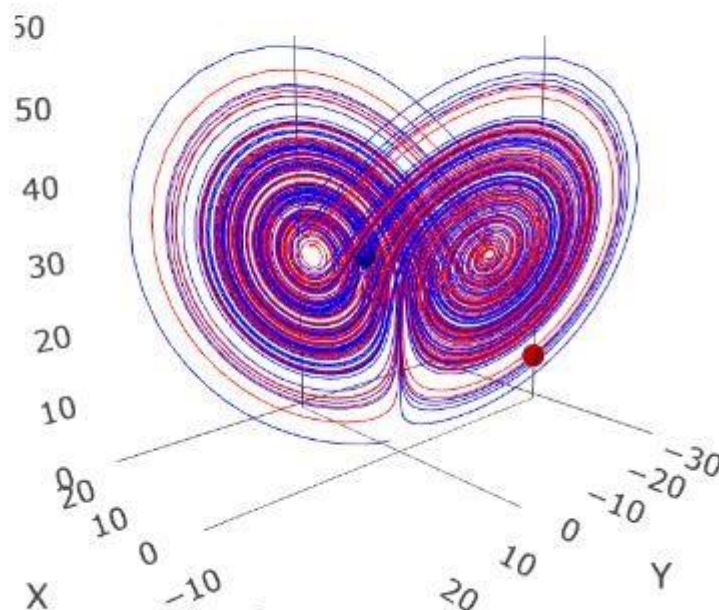
Niejako bardziej ogólnym zjawiskiem w stosunku do bifurkacji jest efekt motyla. Sano pojęcie przeniknęło on do pop-kultury do tego stopnia, że gdy wpisujemy frazę "Butterfly Effect" w wyszukiwarce IMDb dostaniemy listę kilkudziesięciu odcinków seriali i filmów tak zatytułowanych lub zawierających tę frazę. Sam motyw, w matematyce jak i dziełach kultury opiera się na wpływie drobnych, niemal niedostrzegalnych czynników, które prowadzą do nieprzewidywalnych i znaczących efektów. Tak oto zaczęto rozważać, czy trzepot skrzydeł motyla w Brazylii może doprowadzić do tornada w Texasie.

Określenie pojawiło się po raz pierwszy w pracy amerykańskiego meteorologa i matematyka Edwarda Lorenza w 1963 roku w czasopiśmie "Journal of the Atmospheric Sciences". Zaproponował w nim układ 3 równań opisujących konwekcję termiczną w atmosferze. Okazało się, że dla niektórych parametrów, model zachowuje się chaotycznie. Powtarzając pewne obliczenia, chcąc zmniejszyć czas obliczeń, Lorenz wprowadził jako wartości początkowe dane ze środka sekwencji poprzednich wyników. Niedługo potem zobaczył, że liczby, które tym razem otrzymał, zmieniły się i odbiegają od wyników jakie otrzymywał wcześniej [6].

Po skontaktowaniu się z producentem komputera, okazało się, że maszyna prowadzi obliczenia z dokładnością do 6 miejsc po przecinku, ale wyświetla zaledwie pierwsze 3 cyfry. Nieświadomy tego naukowiec, przy ponownym wprowadzaniu danych dokonywał ich zmiany, zwiększając błąd obliczeń o jedną tysięczną. Tyle wystarczyło, aby uzyskać całkowicie inne wyniki. Praca nie została jednak zauważona i dopiero kilka lat później matematycy zainteresowali się umieszczonymi tam obserwacjami.

W tym momencie może nasunąć się pytanie, jak aktualny pozostaje ten problem obecnie, skoro możemy wykonywać o rzędy wielkości dokładniejsze obliczenia. Odpowiedź na to pytanie sugeruje Rys. 3, który przedstawia dwie trajektorie dla układu Lorenza, dla parametrów powodujące chaotyczne zachowanie się układu. Trajektorie zostały zakreślone poprzez połączenie kolejnych wyników z układu równań różniczkowych, a jedyną rzeczą, jaka je różni jest warunek początkowy.

Warunek początkowy dla trajektorii niebieskiej wynosi $(x_0, y_0, z_0) = (1, 1, 1)$, zaś dla czerwonej $(x_0, y_0, z_0) = (1 + 1e^{-15}, 1, 1)$. Dodatkowo zaznaczone zostały dwa punkty, które są 9000tysięczną iteracją układu. Kolor odpowiada trajektorii, na której się dany punkt znajduje.



Rys. 3. Efekt motyla

Źródło: Opracowanie własne

Jakie zatem są namacalne efekty używania niestabilnych modeli do predykcji? 15 października 1987 roku przez Anglię przeszły największe burze od przeszło 250 lat. Nie zostały one przewidziane przez Control Data Cyber 205, komputer, który był w stanie sporządzić w pięć minut 24-godzinną prognozę na 15 poziomach wysokości. Z obliczeń wynikało, że burza, która spustoszyła Anglię miała mieć trasę przebiegającą 120 kilometrów na wschód nad Morzem Północnym [3]. Komputer ten był dużo bardziej zaawansowany od tego, z którego korzystał Lorenz, a mimo to nie udało się dokonać wystarczająco dokładnie prognozy, aby przewidzieć trajektorię burzy.

Odnieśmy się w tym miejscu do koncepcji XIX-wiecznego matematyka Pierre'a Simona Laplace'a, który przedstawił wszechświat jako wielką maszynę. Według niego, aby poznać przeszłość i przyszłość "wystarczyłoby" znać wszystkie warunki początkowe i prawa nimi rządzące [1]. Potem pozostaje nam

jedynie przeprowadzić perfekcyjne obliczenia, bez jakichkolwiek przybliżeń. Jak zatem widać, problem dokładności obliczeniowej był znany jeszcze przed erą komputerów. Jednym ze sposobów minimalizowania błędu było wykorzystanie narzędzi statystycznych. Jednakże, wiele układów nieliniowych, ze względu na swoją niestabilność, jest bardziej wrażliwe na zakłócenia liczbowe. Te zakłócenia wynikają z nieuwzględnienia w modelu, z pozoru mało wpływających na badane zjawisko, czynników. Z tego powodu stosowanie narzędzi wykorzystywanych w uproszczonych modelach liniowych nie jest już tak efektywne.

PRZESTRZEŃ FAZOWA

Benoit Mandelbrot, w czasie pracy nad teorią związaną z fraktalami, uznał, że do opisu ich nie jest potrzebny wzór jak w przypadku innych, prostych figur, a wystarczy opis sposobu, w jaki dany fraktal skonstruować [7]. Analogicznie możemy spojrzeć na problem badania układów nieliniowych. Bardziej niż na analitycznym rozwiązaniu takiego układu (o ile jest to możliwe), możemy skupić się nad zmiennością jego przebiegu w czasie, w zależności od różnych warunków początkowych.

Narzędziem, dzięki któremu to osiągniemy jest przestrzeń fazowa. Taka przestrzeń jest przypisana do danego układu dynamicznego, czyli takiego układu, gdzie stan w chwili t jest zależny od przeszłych stanów. Ilustracją tej koncepcji może być mrówka maszerująca po kartce papieru. Kartka będzie płaszczyzną, na której będziemy zaznaczać tor ruchu naszego obiektu (mrówki), a kolejnymi stanami będą punkty, w których obiekt znajdował się w kolejnych chwilach.

Pojawia się jednak pewien problem. Jako że jesteśmy uwięzieni w trójwymiarowej przestrzeni, to jest to maksymalna wielkość wymiaru jaką jesteśmy w stanie zwizualizować bez większych trudności. Jednak, gdy analizujemy układy, które składają się z większej liczby zmiennych, do ich pełnej wizualizacji potrzebowalibyśmy przestrzeni o liczbie wymiarów równej liczbie zmiennych. Na Rys.2. została przedstawiona wizualizacja układu złożonego tylko z trzech zmiennych. Co prawda, sama grafika jest dwuwymiarowa, przez co zostało utracona pewna ilość informacji, jednak jest to nadal dość dokładny obraz opisanego zjawiska. Zatem, im więcej zmiennych mamy w układzie, tym trudniej jest nam go zwizualizować. Wówczas, aby wykreślić trajektorię korzysta się z uproszczenia w postaci przekroju Poincar'ego. Jest to szczególnie przydatne narzędzie w momencie, gdy chcemy sprawdzić, czy dany układ jest chaotyczny. Jeśli chcemy sprawdzić czy trajektoria będzie zachowywać się nieprzewidywalnie wystarczy, odwołując się do pracy Lorenza zbadać, czy układ był nieokresowy. Wykrycie okresu w ruchu ciała, będzie wystarczającym dowodem na brak niestabilności układu.

Pomysł Poincar'ego polega na przecięciu trajektorii ciała płaszczyzną do niej prostopadłą i analizowaniu jedynie punktów przecięcia trajektorii z tą płaszczyzną. Jeśli dojdzie do sytuacji, w której punkt przebieje płaszczyznę w punkcie, w którym już kiedyś ją przebił, mamy wystarczający dowód na odrzucenie hipotezy o chaotyczności układu.

CHAOS

Ze względu na swoją obecność w wielu dziedzinach nauki, teoria chaosu nie została nadal jednoznacznie zdefiniowana, jednak można wymienić cechę charakterystyczną dla obiektów istniejących u podstaw dziedziny. Są to zjawiska deterministyczne i nieprzewidywalne. Tak jak mogłoby to brzmieć jak oksymoron, tak wcześniej przytoczone przykłady i definicje powinny dać do zrozumienia, że to jedynie pozorna sprzeczność. Determinizm wynika z jawnych postaci układów, których się używa, zaś nieprzewidywalność z ograniczeń dotyczących dokonywania prognoz.

Jak zauważył to w swojej pracy z 1963 roku Lorenz, przyczyną chaosu jest brak dokładnych obliczeń i wrażliwość na warunki początkowe. Taki układ jest wbrew pozorom dość łatwo stworzyć. Wyobraźmy sobie, że chcemy przewidzieć wynik rzutu monetą. Wystarczy, że nadamy jej odpowiednio duży ruch obrotowy wokół własnej osi. Znając wszystkie siły jakie na nią działają, ale nie będąc w stanie wykonać obliczeń z idealną precyzją, nie jesteśmy w stanie, z pewnością, stwierdzić, czy moneta wyląduje awersem, czy rewersem do góry, czy może wyląduje na brzegu, w końcu prawdopodobieństwo takiego wydarzenia jest niezerowe.

Kolejną ważną cechą układów zachowujących się chaotycznie, obok wrażliwości na warunki początkowe, jest nierozkładalność przestrzeni fazowej na oddzielne, niepowiązane dynamiczne części. Konsekwencją tego jest niestabilność i nieprzewidywalność układu. Przykład tej cechy możemy zauważyć w omawianej bifurkacji, gdzie dla parametru większego od 3 punkty "przeskakiwały" między gałęziami wykresu.

Ostatnim warunkiem jest to, aby punkty okresowe były gęste w przestrzeni fazowej. Nie zagłębiając się w szczegóły, jest to warunek powodujący, że układ posiada elementy regularności, dzięki czemu zachowuje on cechy deterministyczne. I utrudnia używanie narzędzi statystycznych, ponieważ nie jest to proces losowy.

CZY DA SIĘ OKIEŁZNAĆ CHAOS?

W roku 1985 kilku inżynierów z NASA, wykorzystując odkrytą przez Poincarego niestabilność orbity drobnego ciała w polu grawitacyjnym Ziemi i Księżyca, uratowali misję wysłania satelity ISEE-3/ICE w pobliże komety Giacconiego-Zinnera. Misja prawie zakończyła się niepowodzeniem z powodu niedostatecznej ilości paliwa potrzebnego na dotarcie do celu. Inżynierowie wyliczyli, że w pewnych punktach orbity, położonych blisko Księżyca, była ona niestabilna i wystarczy niewielka ilość paliwa, aby zmienić tor lotu satelity i sprowadzić ją w stronę komety [9]. A jaka była cena za mniejsze zużycie paliwa? Czas. Optymalna trasa, ze względu na zużycie paliwa, zajęłaby 10 000 lat, jednak dostępne możliwości były wystarczająco krótkie i efektywne, aby misja się udała. A zatem, odpowiadając na pytanie z tytułu rozdziału: najprawdopodobniej nie. Ale możemy go wykorzystać na swoją korzyść.

PODSUMOWANIE

Celem jest podkreślenie, jak ważnym dla efektów pracy jest rozumienie działania modeli matematycznych, które zostały wykorzystane w przeprowadzanych analizach. W szczególności uważamy, że jest to poważny problem w dzisiejszych czasach, gdy rozwój technologiczny, automatyzacja i moc obliczeniowa komputerów, nawet tych osobistych, niejako usypiają naszą czujność i pozwalają na przeprowadzanie obliczeń lub analizowanie zjawisk bez zwracania uwagi na to, co się dzieje po drodze przed wyświetleniem nam wyniku na ekranie.

LITERATURA

- [1] *A Philosophical Essay on Probabilities*, tłumaczenie własne, z przełożenia na język angielski przez Truscott, F.W. i Emory, F.L., Dover Publications (New York, 1951) p.4.
- [2] *Fugaku*, [https://pl.wikipedia.org/wiki/Fugaku_\(superkomputer\)](https://pl.wikipedia.org/wiki/Fugaku_(superkomputer))
- [3] *Great storm of 1987*, https://en.wikipedia.org/wiki/Great_storm_of_1987
- [4] Guckenheimer J., Holes P. *Nonlinear Oscillations, Dynamical Systems, and Bifurcations of Vector Fields*, Springer, New York 1986

- [5] Juice Journey to Jupiter, <https://sci.esa.int/web/juice/-/58815-juices-journey-to-jupiter>
- [6] Lorenz E. *Deterministic Nonperiodic Flow*
- [7] Mandelbrot B., *The Fractal Geometry of Nature*, W.H. Freeman, New York, 1982
- [8] Stewart I. *Czy Bóg gra w kości? Nowa matematyka Chaosu*, Wydawnictwo Naukowe PWN SP. z o.o. Warszawa 1994
- [9] Tempczyk M. *Teoria chaosu dla odważnych*, Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa 2002

MAGDALENA PAŚNIKOWSKA-ŁUKASZUK¹, ŁUKASZ ZAWADZKI², KACPER WITAK¹, KAROLINA KONIECZNA¹

Wykorzystanie druku 3D w kształceniu przyszłych inżynierów

Summary

This thesis focuses on topics related to the use of modern technologies in the education of engineers. The focus was on 3D technologies and its derivatives. The article presents the importance of teaching 3D technology in the teaching process. The focus was on the implementation of 3D printing and its derivatives in the education of future engineers. The importance of knowledge about 3D technologies on the current labor market was highlighted. Tools that can be used as teaching aids in the teaching process are presented. The need to carry out educational activities with the use of the aforementioned tools focusing on 3D printing and its technology was discussed. Applications of 3D printing in everyday teaching were shown. It describes how 3D printing affects the development of creativity among students. An exemplary process of 3D modeling and its printing was shown. An exemplary 3D modeling program and 3D printers that can be used during classes are presented. The work was summarized with final conclusions.

Key words: 3D print, 3D modeling, engineers, 3D printer, education, innovations, future.

WSTĘP

Dwudziesty pierwszy wiek postawił nowe oczekiwania wobec przyszłych inżynierów. Istotną zmianą w podejściu do kształcenia okazały się kompetencje miękkie, które muszą iść w parze z umiejętnościami twardymi. Inżynier dwudziestego pierwszego wieku to osoba komunikatywna, łącząca ze sobą myśl technologiczną oraz umiejętności interpersonalne w celu zapewnienia maksymalnego zadowolenia z pracy wykonywanej przez inżyniera. Mimo rozwijanych kompetencji miękkich warto przywrócić się nowym sposobom kształcenia wykorzystując kompetencje twarde. Szeroko rozumiana rewolucja związana z komputeryzacją pozwoliła skutecznie wspierać inżynierów w wykonywanych pracach. Wykorzystywanie narzędzi wspomagających proces projektowania znacznie przyspiesza czas pracy oraz przekłada się na nowatorskie rozwiązania, nowe spojrzenie na problem konstrukcyjny oraz ocenę możliwości i wykorzystania już na etapie tworzenia. Druk oraz modelowanie 3D są technologiami umożliwiającymi w pierwszej kolejności stworzenie modelu dla projektowanej części czy zespołu części, a następnie poprzez drukowanie ocenę zaprojektowanego rozwiązania i jego wykorzystanie jako prototypu dla przyszłej produkcji. Wykorzystanie tych narzędzi pozwala na eliminację błędów konstrukcyjnych, zmniejsza czas produkcji prototypu oraz koszt. Coraz

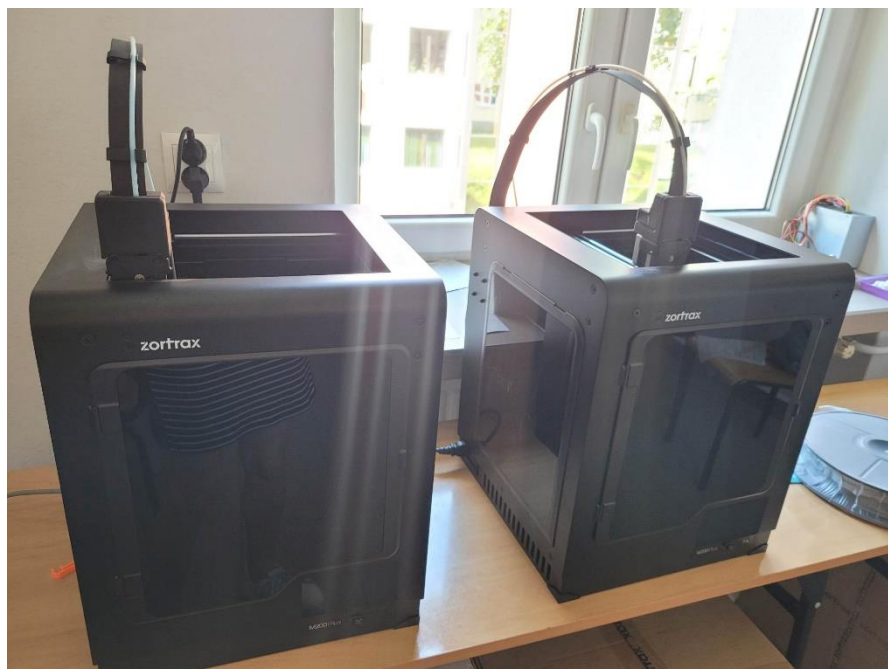
¹ Politechnika Lubelska, Wydział Podstaw Techniki, Katedra Podstaw Techniki, Opiekun Studenckiego Koła Naukowego Grafiki Inżynierskiej i Animacji Komputerowej "AnimGRAF", m.pasnikowska-lukaszuk@pollub.pl

² Politechnika Lubelska, Wydział Podstaw Techniki, Studenckie Koło Naukowe Grafiki Inżynierskiej i Animacji Komputerowej "AnimGRAF"

częściej spotyka się w programach kształcenia zagadnienia związane z technologiami 3D. Ma to związek przede wszystkim z rozrastającym się rynkiem pracy i potrzebą kształcenia osób w tej dziedzinie oraz wzrostem zainteresowania powszechnie stosowanymi metodami w przygotowywaniu procesu produkcyjnego. Technologie 3D są bardzo ważne dla inżyniera. Pozwalają na zrozumienie wielu aspektów. Obrazują proces myślowy, ale prowadzą także do zrównoważonego rozwoju co sprzyja również przemyślanym procesom produkcyjnym. Obecnie jednym z najpopularniejszych zagadnień w kształceniu inżynierów jest druk 3D [1].

DRUK 3D JAKO NARZĘDZIE WSPOMAGAJĄCE PROCES NAUCZANIA

Technologia druku 3D otworzyła nowe możliwości w edukacji. Wprowadzenie do procesu kształcenia zagadnień, bezpośrednich pomocy dydaktycznych wpłynęło pozytywnie na rozwój przyszłych inżynierów, ale także uczniów szkół podstawowych oraz ponadpodstawowych [2]. Coraz częściej można zauważyć, że placówki edukacyjne wyposażają sale komputerowe czy laboratoryjne w nowoczesne drukarki 3D oraz sprzęt komputerowy. Firmy branżowe zajmujące się oprogramowaniem do projektowania 2D oraz 3D udostępniają wersje edukacyjne programów, aby coraz więcej osób mogło poznać ich zastosowania. Nauczycielom i edukatorom zdecydowanie łatwiej przeprowadzać zajęcia mając możliwość fizycznie pracować na sprzęcie komputerowym oraz pokazywać budowę i zasady działania maszyn wykorzystywanych w technologiach 3D. Można zauważyć pewną zależność, że im wcześniej człowiek poznaje różne zagadnienia, nawet te mocno skomplikowane, tym łatwiej mu zrozumieć inne problemy z tychże dziedzin. Angażowanie uczniów, studentów w proces produkcyjny przy pomocy codziennych zajęć edukacyjnych pokazuje im również, że wiedza to nie tylko teoria, ale przede wszystkim praktyka, która w przyszłości ma ułatwić im wdrożenie się w rynek pracy lub też znaleźć pomysł na rozwój samego siebie.



Rys. 1 Stanowisko laboratoryjne drukarek 3D w sali komputerowej
Źródło: opracowanie własne

Prowadzenie zajęć z modelowania, a kolejno z druku 3D bardzo dobrze wpływa na kreatywność. Zajęcia mogą być prowadzone na wiele sposobów poprzez realizację zadań przygotowanych przez prowadzącego, ale także poprzez pozwolenie uczniom na swobodne korzystanie z pomocy dydaktycznych i wdrożenie swoich własnych pomysłów. Technologia druku 3D pozwala uczniom na bycie bardziej interaktywnymi uczestnikami lekcji czy też zajęć w przeciwieństwie do bardziej tradycyjnych form. Interakcja pomiędzy uczniem a nauczycielem, a także kolegami z grupy jest bardzo znacząca. Studenci są mocno zainteresowani tym co widzą, przede wszystkim projekty innych i uczą się o wiele więcej o tym procesie, dzieląc się swoimi uwagami i tym jak daną rzecz zrobili, przy okazji porównując techniki wykonania i zastosowane metody [3]. Na rysunku nr 1 przedstawiono wyposażenie sali laboratoryjnej w drukarki 3D.

Druk i modelowanie 3D jako narzędzia budujące kreatywność

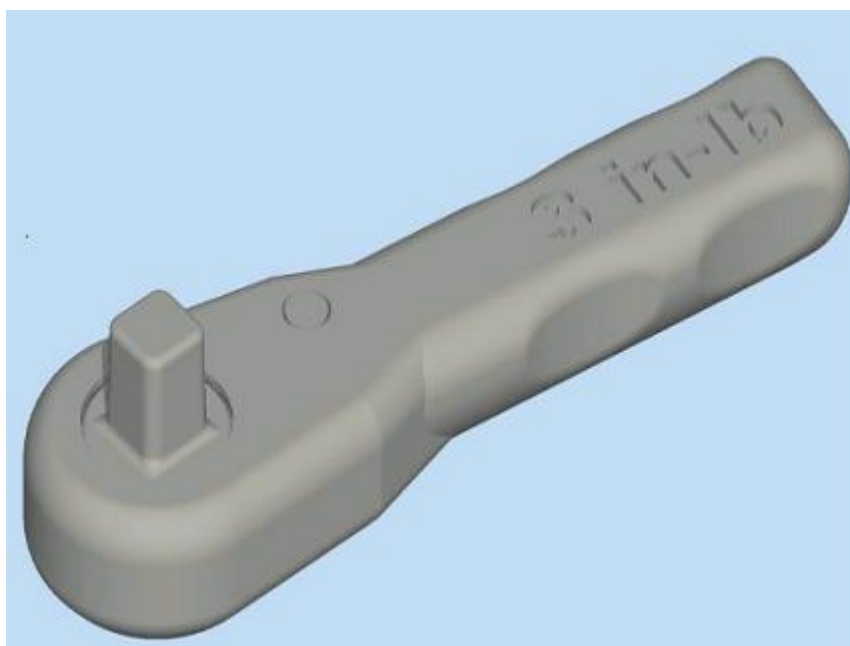
Wszelkie działania, które opierają się na wdrażaniu procesów myślowych są krokiem do rozbudowy kreatywności wśród uczniów oraz studentów. Przyjmuje się pewne zależności, które pozytywnie wpływają na proces zapamiętywania oraz własnego samorozwoju. Bez względu na etap wiekowy człowieka, na jego umysł wpływają te same czynniki tj. bodźce związane z kreatywnym myśleniem oraz te, które są przyporządkowane do myślenia logicznego. W całości pozwalają na synchronizację półkul mózgowych, a co za tym idzie, szybszemu zapamiętywaniu [4]. Wśród najmłodszych uczniów od samego początku pokazuje się takie pomoce dydaktyczne, które ułatwiają im proces uczenia się. Właśnie druk 3D bardzo w łatwy sposób może obrazować różne sposoby rozwiązywania problemów przy pomocy narzędzi technicznych. Na rysunku 2 przedstawiono jak jeden ze studentów próbuje w przestrzeni zbudować model za pomocą długopisu 3D. Druk 3D sprzyja również pomysłom związanych z budowaniem prototypów. Właśnie tu można tworzyć pierwsze części, które mogą później być już wykonane z prawidłowych materiałów. Za pomocą modelowania 3D, a dodatkowo wykorzystując do tego metodę elementów skończonych, możliwe jest sprawdzanie własności danego projektowanego elementu, ale także sprawdzenie obciążeń i wygenerowanie listy błędów, które można naprawić jeszcze na poziomie samego wstępnego projektowania. To właśnie w czasie modelowania również powstają różne ciekawe pomysły, które mogą znaleźć swoje odwzorowanie w rzeczywistości.



Rys. 2. Budowa przestrzennego modelu za pomocą długopisu 3D
Źródło: opracowanie własne

MOŻLIWOŚCI I WYZWANIA ZWIĄZANE Z WYKORZYSTANIEM DRUKU 3D

Wykorzystanie druku 3D w kształceniu niesie za sobą ogromne możliwości oraz wyzwania związane z usprawnieniem procesu modelowania czy wykorzystaniem innych materiałów niż popularne Polilaktyd (PLA), akrylonitrylo-butadieno-styren (ABS) czy Politereftalan etylenu (PET). Narodowa Agencja Aeronautyki i Przestrzeni Kosmicznej (NASA) przekonała się o możliwościach wykorzystania druku 3D już w 2014 roku, na Międzynarodowej Stacji Kosmicznej (ISS). W 2014 roku została wysłana drukarka przygotowana przez firmę Made In Space w celu przetestowania druku 3D w warunkach zerowej grawitacji [5]. Przełomowym aspektem wykorzystania drukarki w przestrzeni kosmicznej okazało się przekazanie modelu klucza (grzechotki) z Ziemi do drukarki 3D na stacji [6]. Na rysunku 3 przedstawiono model tego klucza.



Rys. 3. Klucz wymodelowany na Ziemi, wydrukowany na Międzynarodowej Stacji Kosmicznej
Źródło: <https://nasa3d.arc.nasa.gov/detail/wrench-mis>

Druk 3D w przypadku podróży kosmicznych otwiera nowe możliwości, szczególnie dla potrzeb załogi. Gdy dostarczenie nowego sprzętu może potrwać miesiące, a nawet lata, perspektywa zaprojektowania modelu z Ziemi, a następnie wysłania prosto do drukarki jest bardzo obiecująca. Szczególne znaczenia ma w tym przypadku oszczędność czasu, a gdyby przedmiot okazał się niezbędny dla przetrwania załogi, w tym dla zdrowia i życia, gwarancja bezpieczeństwa. Wskazuje to też pewne korzyści dotyczące przedmiotów, których dotychczas nie można było wynieść w kosmos. Dzięki zastosowaniu druku 3D będzie możliwe ich wydrukowanie bezpośrednio w przestrzeni kosmicznej. Jest to również myśl na przyszłość, w szczególności najpierw stworzenie bazy na Marsie, a następnie być może kolonizacja innych planet. Szczególnym wyzwaniem będzie stworzenie drukarek 3D opartych o nowe materiały, charakterystyczne dla danego ciała niebieskiego, dotychczas niewykorzystywane w druku. Jako cywilizacja nie jesteśmy w stanie podróżować jeszcze w odległe obszary naszego układu, jednak poczynienie znacznych postępów w pracę nad drukiem 3D na pewno zaowocuje w przyszłości dzięki odpowiedniemu kształceniu inżynierów w tych aspektach.

Druk 3D szeroko rozwija się także w innych dziedzinach życia człowieka, przez co powoli pozwala stwierdzić, że jest uniwersalną technologią zmieniającą życie człowieka na lepsze. Przekłada się to na przykład w wykorzystaniu druku 3D w medycynie. Aktualnie nie jesteśmy w stanie wydrukować w pełni funkcjonalnego organu z komórek pacjenta w celach ratowania życia takich jak przeszczepy czy urazy na skutek wypadków bądź niewydolności organów. Jest to pewien poziom zaawansowania, który być może będzie dostępny dla przyszłych pokoleń ze względu na aktualny wysiłek naukowców. Jednak druk 3D jest wykorzystywany już teraz w celach tworzenia protez kończyn, modeli edukacyjnych czy drukowaniu modeli narządów na podstawie zdjęć USG/RTG pacjenta przed operacją [7]. Pozwala to na lepsze i efektywniejsze operacje, bezpieczeństwo pacjenta, a przede wszystkim pozwala zobaczyć cechy ukryte narządu, które mogłyby umknąć w tradycyjnych formach badań. Wykonanie takiego modelu pozwala lekarzom lepiej przygotować się do zabiegu i uniknąć zaskoczenia w trakcie operacji [8].

Walory druku 3D otwierają także nowe możliwości na przetwarzanie odpadów. Idealnym materiałem w ujęciu druku 3D byłby materiał, który pozwala na wykonanie przedmiotu, a w przypadku gdy przedmiot nie jest dłużej potrzebny maksymalny odzysk i ponowne wykorzystanie materiału w druku 3D. Już teraz istnieją narzędzia służące do przetwarzania butelek po napojach, a następnie dzięki podgrzaniu materiału w postaci paska, w filament. Istnieją także rozdrabniarki, które stworzone wcześniej wydruki miały, otrzymany materiał rozgrzewają i przetwarzają z powrotem w filament.

Ważnym czynnikiem w druku 3D jest także precyzja wykonania wydruku, skalowalność oraz projektowanie modeli. Precyzja wykonania okaże się ważna w przypadku elementów, które muszą pracować razem w zespole, są składowymi częściami większego elementu czy maszyny, szczególnie względem części o wysokim stopniu szczegółowości. Jeżeli druk będzie posiadał znaczne niedoskonałości wpłynie to na jakość, czas i funkcjonalność wyrobu. Oprócz precyzji warto wziąć pod uwagę możliwości skalowania produkcji części. Druk 3D mimo iż umożliwia produkcję niestandardowych części, jest to nadal kwestia która wymaga usprawnienia w celu zwiększenia elastyczności produkcji, wydajności oraz zmniejszeniu kosztów. Ostatnią kwestią, którą należy wziąć pod uwagę są ograniczenia modelowania jakie niesie za sobą drukarka 3D jako urządzenie. W odróżnieniu od tradycyjnego projektowania należy sprawdzić parametry drukarki, jej ograniczenia technologiczne takie jak możliwość wykorzystania różnych materiałów, wymiary stołu roboczego, maksymalną wysokość druku czy wykorzystanie podpór. Na ostateczny wydruk mogą również wpływać czynniki atmosferyczne takie jak temperatura, wilgoć, lecz w tym wypadku problem można rozwiązać przez zastosowanie komory drukującej. W przypadku stwarzania podpór dla następnych warstw druku uciążliwe może okazać się ich usuwanie. Aktualnie możliwe jest wykorzystanie jednego materiału jako konstrukcyjnego dla podpór oraz drugiego do budowy wyrobu, dzięki zastosowaniu dwóch dysz dla filamentu. Umożliwiają to specjalne filamenty takie jak PVA, które rozpuszczają się w wodzie. Możliwe, że w niedalekiej przyszłości modele 3D wykorzystywane do druku będą projektowane przez Sztuczną Inteligencję wykorzystywaną przez inżyniera w celu opracowania wielu wariantów, wariacji na temat realizowanego problemu konstrukcyjnego czy minimalizacji podpór.

PRZYKŁADOWE WYKORZYSTANIE MODELOWANIA I DRUKU 3D

W kształceniu obejmującym różne nauki inżynierskie bardzo ważne jest pokazywanie od podstaw skomplikowanych zagadnień. Dlatego też już wśród najmłodszych grup przedstawia się za pomocą różnych pomocy dydaktycznych sposoby rozwiązywania różnych problemów albo działania

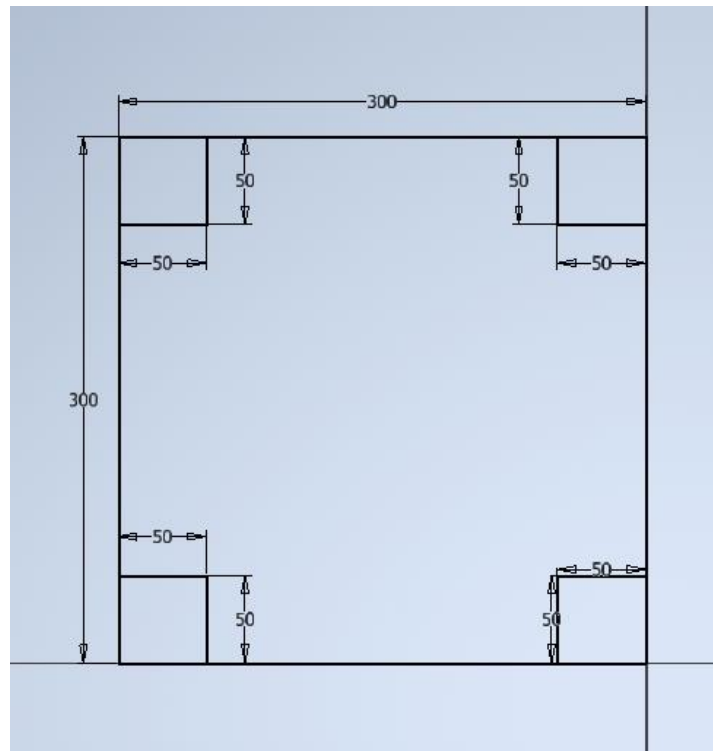
urządzeń, które mają swoje zastosowanie w bardziej zaawansowany sposób. Przykładem może być nauczanie druku 3D za pomocą długopisów 3D. Są to miniaturowe drukarki ręczne przypominające długopis. Mogą obsługiwać zarówno materiał PLA (poliaktyd) czy też ABS (terpolimer akrylonitrylo-butadieno-styrenowy). Jego temperatura nagrzewania wynosi od 190 do 210°C. Za pomocą ręki użytkownik może wykonywać elementy na płaszczyźnie lub rozbudowywać do postaci 3D budując warstwa po warstwie. Na rysunku 4 przedstawiono zajęcia z wykorzystaniem długopisów 3D.



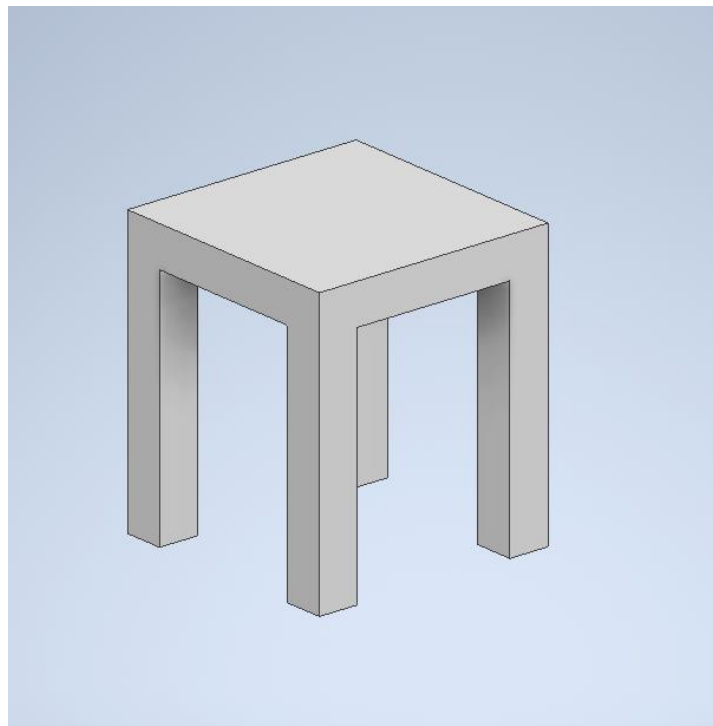
Rys. 4. Dziewczynka używająca długopisu 3D na zajęciach poświęconym ręcznemu drukowi 3D
Źródło: opracowanie własne

Na zajęciach edukacyjnych można pokazać również proces powstawania różnych obiektów. Przykładem jest model prostego stolika, powstały w kilku krokach z prostego rysunku 2D a następnie wymodelowanego do postaci 3D za pomocą np. programu Autodesk Inventor Professional. Na rysunku 5 oraz 6 przedstawiono proces powstawania takiego modelu.

Modelowanie jest ważnym aspektem w kształceniu inżynierów. Pozwala ono obrazować problematykę łączenia ze sobą wielu elementów, ale także ma możliwość przedstawić proces wyliczania obciążeń i innych nacisków wynikających z użytkowania. Użytkownik ma możliwość generacji analizy raportów. Takie działania należy jeszcze raz podkreślić, że sprzyjają zrównoważonemu rozwojowi.



Rys. 5. Szkic 2D stolika
Źródło: opracowanie własne



Rys. 6. Model 3D stolika
Źródło: opracowanie własne

PODSUMOWANIE

Nauczanie druku 3D na każdym poziomie edukacji niesie ze sobą ogromne korzyści. Rozwijając w ten sposób umiejętności uczniowie i studenci kształtują w sobie cechy, które są niezbędne w zawodzie inżyniera. Umiejętność łączenia ze sobą wielu aspektów, technologii, począwszy od projektu po efekt finalny produktu, pozwala zrozumieć jak ważna jest konsekwencja w postępowaniu i jaki jest ciąg przyczynowo-skutkowy działań inżynierskich. Ukształtowane kompetencje miękkie oraz twarde idealnie łączą się w działalność inżynierów na rynku pracy. Często przy projektach, modelowaniu i tworzeniu różnych prototypów jest niezbędna praca zespołowa. Jest to jedna z form kompetencji miękkich. Obecny rynek pracy ceni sobie umiejętność pracy w zespole, chęć kierowania zespołem oraz koordynację działań własnych i innych. Należy zauważyć, że technologie druku 3D mają zastosowanie w każdej dziedzinie życia. Dlatego też, ważne jest pokazywanie ich od każdego etapu edukacji. Nie jest kłamstwem stwierdzenie, że druk 3D jest przyszłością w każdej dziedzinie życia. Już dziś można zaobserwować domy, które powstają poprzez wydruk wykorzystujący mieszanki betonowe zastosowane w ogromnych przemysłowych drukarkach 3D wielkości żurawi budowlanych. Już dziś także powstają na drukarkach 3D implanty czy protezy, które mają swoje zastosowanie w medycynie. W branży przemysłowej drukowane są części i podzespoły do prototypów maszyn. Tych zastosowań jest bardzo wiele. Najważniejsze jest jednak to, że każde z nich sprzyja rozwojowi nauki i własnych umiejętności, w tym właśnie kompetencji inżynierskich.

LITERATURA

- [1] Urzędowski A., Paśnikowska-Łukaszuk M., Kapłon K., *Wykorzystanie modelowania 3D oraz druku 3D w przygotowaniu podmiotów wspomagających motorykę i rozwój sensoryczny. Wspomaganie komputerowe w dydaktyce.*- 2021, s. 124-132
- [2] Szulżyk-Cieplak J., Duda A., Sidor B., *3D printers – new possibilities in education*, Advances in Science and Technology Research Journal.- 2014, vol. 8, nr 24, s. 96-101
- [3] *Druk 3D w edukacji: dlaczego to istotna kwestia?* <https://get3d.pl>
- [4] Paśnikowska-Łukaszuk M., Urzędowski A., Korulczyk K., *Wykorzystanie technologii modelowania 3D w procesie twórczym materiałów pomocnych w stymulacji rozwoju dziecka*, Wybrane technologie informatyczne w aspektach zrównoważonego rozwoju.- 2020, s. 96-103
- [5] *Solving the Challenges of Long Duration Space Flight with 3D Printing* https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/news/3d-printing-in-space-long-duration-spaceflight-applications
- [6] *Space Station 3-D Printer Builds Ratchet Wrench To Complete First Phase Of Operations* https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/news/3Dratchet_wrench
- [7] *Zastosowania drukarek 3D w medycynie*, <https://cadxpert.pl/>
- [8] *Medycyna i druk 3D* <https://mlodytechnik.pl/technika/28781-medycyna-i-druk-3d>

PATRYCJA DADACZ¹, MAGDALENA OCHNIO¹

OPIEKUN: DR INŻ. AGNIESZKA BOJANOWSKA

Storytelling, czyli marketingowe opowieści

Streszczenie

This article reviews research on the impact of using storytelling in content marketing and narrative marketing. Storytelling allows you to capture the attention of your audience and provide them with consistent and creative promotional content that will not be seen as advertising. This activity will help to build awareness of the brand more widely as well as develop the brand's profile on social media. The conveyed stories will allow for the audience to identify with the story and become part of it. Properly conducted narrative and content marketing using storytelling has great power in particular in bypassing ad-blocking systems.

Słowa kluczowe: storytelling, marketing narracyjny, marketing treści, content marketing, komunikacja marki

1. Wstęp

Marketing to sztuka kreowania produktów i usług zaspokajające potrzeby i oczekiwania klientów. Jest to proces planowania, wdrażania i kontrolowania działań zmierzających do pozyskania, utrzymania i zwiększenia liczby lojalnych klientów, przez dostarczanie im odpowiednich produktów lub usług. Współczesny marketing stawia na pierwszym miejscu potrzeby i preferencje konsumentów, a nie tylko sprzedaż produktów. Proces ten nazywamy orientacją na klienta. Marketing wspiera także budowanie wartości dla klienta oraz budowanie silnych relacji z konsumentami. Jest kluczowym elementem biznesu, który umożliwia firmom skuteczne konkurowanie na rynku. W dobie rosnącej konkurencji i ciągle zmieniających się zachowań konsumentów marketing staje się coraz ważniejszym czynnikiem sukcesu dla wszystkich firm.

Jedną z technik marketingowych jest marketing narracyjny, której celem jest promocja marki lub produktu za pomocą ciekawej historii dla odbiorcy². Historie marketingowe umożliwiają firmom nawiązanie emocjonalnego kontaktu, zaangażowanie i przekonanie konsumentów do zakupu ich produktów i usług. Marketing narracyjny wykorzystuje storytelling, czyli opowiadanie historii do tworzenia spójnych i przekonujących historii, które przyciągają uwagę konsumentów i skłaniają ich do działania. W ramach tej strategii marki często tworzą postacie odzwierciedlające ich wartości i idee oraz budują wokół nich emocjonalne historie. Historie mogą przybierać różne formy, w tym prozę, poezję, dramat, film, animację i gry wideo. Jednym z głównych celów opowiadania historii jest przekazanie treści w sposób łatwy do zrozumienia dla odbiorców i przekonujący emocjonalnie. Opowiadanie historii może być wykorzystywane do rozrywki, edukacji, budowania marek oraz zmiany postaw i zachowań. Często wykorzystuje się w nich różnorodne techniki narracyjne, takie jak budowanie fabuły, tworzenie postaci, opisywanie scen i napięcie emocjonalne, aby zwiększyć zainteresowanie odbiorców. To bardzo ważna umiejętność w wielu dziedzinach, takich jak marketing, public relations, polityka czy edukacja.

¹ Pollub.my Marketing, Politechnika Lubelska

² E. Mistewicz, „Marketing narracyjny. Jak budować historie, które sprzedają”, Helion (2011), s-16-25

Wszystko to ma na celu budowanie pozytywnego wizerunku marki, pozyskanie nowych klientów oraz utrzymanie dotychczasowych. W ten sposób storytelling staje się narzędziem, za pomocą, którego firmy mogą docierać do konsumentów w przystępny, interesujący i skuteczny sposób.

2. Marketing treści

Marketing treści (*content marketing*) to strategia komunikacji marketingowej, której celem jest regularne tworzenie i publikowanie wartościowych treści, które angażują odbiorców przekazu (np.: artykuły, filmy, infografiki)¹. Powinien być przyjazny dla klienta, subtelnie eksponując konkretne produkty i uwypuklać przydatne informacje z perspektywy klienta. Ta popularna strategia, może zwiększyć retencję i lojalność klientów, budować z nimi trwałe relacje i pozytywny wizerunek marki².

Utworzenie treści można dokonać nawet bezpłatnie np. napisać artykuł. Jednak w sieci będzie on nieśmiertelny³. Interesujący kontent może sprawić, że potencjalny konsument sam będzie szukał takiego artykułu, a jeśli mu się spodoba istnieje szansa, że udostępni go dalej poszerzając tym samym zasięg treści. Jedyłą zapłatą za tę formę marketingu może być poświęcony czas⁴. Odpowiednio prowadzony marketing treści może pomóc w optymalizacji SEO, czyli dążenia do jak najwyższego pozycjonowania strony internetowej w wyszukiwarkach internetowych. Wysoka pozycja w wynikach wyszukiwania przyciąga większą liczbę użytkowników, którzy mogą stać się potencjalnymi klientami⁵.

Interesujące treści sprawiają, że internauci z chęcią będą reagować, komentować, a nawet wysyłać dalej interesujące go treści. Większość algorytmów w mediach społecznościowych widząc duże zaangażowanie opublikowaną treścią będzie proponował ją nowym użytkownikom. Zaangażowani odbiorcy oznaczają większą liczbę obserwujących w mediach społecznościowych. Zawsze będą szukać nowych treści i informacji o produktach: wtedy staną się prawdziwymi fanami. Prawdziwi fani udostępniają wszystko, co utworzysz i są niezwykle zaangażowani w Twoją markę. Z czasem pomagają też napędzić ruch w mediach społecznościowych⁶.

Marketing treści może pomóc w zwiększeniu świadomości marki, czyli zdolności potencjalnych nabywców do rozpoznania marki lub zapamiętania, że należy ona do określonej kategorii produktowej⁷.

Ludzie używają systemów blokujących wyskakujące reklamy. Marketing treści umożliwi ominięcie tej blokady, a nawet może sprawić, że potencjalny klient samodzielnie odszuka interesujące go treści⁸. Marki wykorzystują różne formy *content marketingu*, a rodzaje publikowanych przez nie treści stają się coraz bardziej powszechne. Artykuły zamieszczane na blogach firmowych oraz w mediach społecznościowych mogą być bardzo dobrze odbierane nie tylko przez klientów, którzy chcą kupić dany produkt, ale także przez tych, którzy chcą dowiedzieć się jak najwięcej o samym produkcie i sposobie jego stosowania. Dzięki temu ludzie, którzy chcieli zacerpnąć jedynie wiedzę na konkretny temat,

¹ „Content marketing”, wikipedia.pl [dostęp: 29.04.2023]

² J. Andelt i P. Chojnacka, „Marketing treści i jego wpływ na budowanie wizerunku firmy”, Trendy w zarządzaniu przedsiębiorstwem w ujęciu międzynarodowym (2019), s.137-147

³ J. Skurpel i M. Goszczycka, „13 błędów, które zabijają Twój kontent”, fabrykamarketingu.pl [dostęp: 29.04.2023]

⁴ F. Silvestrin „Marketing treści – Kompleksowy przewodnik”, amazon-affiliate.eu [dostęp: 29.04.2023]

⁵ „Co to jest content marketing? Cechy, zalety i przykłady”, agencjainteraktywna.pl [dostęp: 29.04.2023]

⁶ M. Dyrda, „Czym jest content marketing?”, promotree.pl [dostęp: 29.04.2023]

⁷ G. Mazurek i K. Nosalska, „Wykorzystanie marketingu treści na rynku przemysłowym B2B – badania empiryczne”, Marketing i rynek (4/2018), s. 405-416

⁸ A. Kozłowski, „Content marketing - 5 elementów strategii marketingu treści”, monday.prowly.com [dostęp: 29.04.2023]

podczas czytania artykułu zaznajamiają się z naszą marką, od początku mając przeświadczenie, że mają do czynienia z ekspertem w danej dziedzinie¹.

Drugą formą *content* marketingu są infografiki. Jest to bardzo przydatny format, szczególnie do przeglądania statystyk i procesów operacyjnych². Poprzez aspekt graficzny możesz przyciągnąć uwagę osób wrażliwych na formy wizualne. To samo dotyczy filmów. Filmy w mediach społecznościowych przyciągają większą uwagę i odwołują się do różnych zmysłów naszych odbiorców. Dobrze przygotowany film nie tylko pokazuje wyjątkowość Twojej marki, ale może również stać się wiralem i rozszerzyć zasięg wśród odbiorców.

E-mail marketing jest skuteczną formą tego rodzaju marketingu, zwłaszcza, gdy to klient decyduje się sam na dołączenie do newslettera. Najczęściej jest dodatkowo nagradzany otrzymaniem rabatu, e-booka lub dostępem do unikatowych artykułów. Jednym z najprężniej rozwijających się form marketingu treści są jednak podcasty. Coraz więcej firm decyduje się na przekazywanie swojej wiedzy poprzez formę angażującą nasz słuch. Większość ludzi może taki podcast przesłuchać jadąc do pracy, na uczelnie, robiąc coś czy gotując. Dodatkowo badania przeprowadzone dla Tandem Media przez Grupę Radiową Agora pokazują, że większość fanów podcastów uważa je za wiarygodniejsze od tradycyjnych mediów³.

Darmowe kursy i webinary pozwalają na obustronną komunikację na linii przedsiębiorstwo – firma. Możliwość nabycia nowej wiedzy oraz uczestnictwa w takich formach dla wielu klientów jest wyróżnieniem, oraz wiąże ich ze świadomością pozyskania nowej wiedzy. Dodatkowo mają często spore zasięgi i można je promować, jako wydarzenie, chociażby w tradycyjnych mediach.

E-booki są jedną z trudniejszych form do zrealizowania, ponieważ potrzeba znacznie więcej wiedzy i czasu niż w przypadku chociażby artykułu. Jednak dobrze napisany e-book sprawia, że może się dobrze rozprzestrzenić, a także być cytowany przez osoby zainteresowane i badające temat. Jeśli firmie zależy na dojściu nie tylko do klientów, ale także pasjonatów czy badaczy danego tematu, e-book wydaje się być najbardziej odpowiednią formą promocji.

Jednym z narzędzi wykorzystywanych do tworzenia *content* marketingu jest *storytelling*, którym zajmujemy się w tym artykule.

3. *Storytelling* w marketingu

W 2003 roku medioznawca – Henry Jenkins utworzył termin „*storytelling*”. Uważał, że jest to opowiadanie historii i opowieści w nowy angażujący odbiorców sposób. Narzędzie to jest stosowane w marketingu narracyjnym i komunikacyjnym oraz pozwala na przedstawienie idei przedsiębiorstwa w przekazie atrakcyjnym dla odbiorcy. Ten charakterystyczny przekaz często jest wielowymiarowy i nacechowany emocjonalnie kreując wizerunek marki⁴. Narzędzie to umożliwia przedstawienie narracji wizerunkowych marki w sposób spójny i konsekwentny, co pozwala na wyróżnienie się na tle konkurencji. Staniszewski twierdził, że *storytelling* zwiększa atrakcyjność i stopień zapamiętania

¹ J. Andelt i P. Chojnacka, „Marketing treści i jego wpływ na budowanie wizerunku firmy”, *Trendy w zarządzaniu przedsiębiorstwem w ujęciu międzynarodowym* (2019), s.137-147

² M. Krajewska, „Jak tworzyć treści, które zachwycają? Content marketing w pigułce”, *cary.one* [dostęp: 29.04.2023]

³ „Co czwarty internauta w Polsce słucha podcastów - wyniki badania przygotowanego na zlecenie Tandem Media”, *agora.pl* [dostęp:29.04.2023]

⁴ K. Stopczyńska, „Wykorzystanie *storytelling* w kreowaniu wizerunku marki w social media”, *„Handel wewnętrzny”*(3/2016), s. 317-325

komunikatów przez odbiorcę. Pomaga również w pozyskiwaniu lojalności klientów poprzez budowanie i umacnianie z nim emocjonalnej więzi. Narzędzie to angażuje konsumentów we wspólne tworzenie opowieści marki, a jej dodatkowym walorem jest rozrywkowy sposób komunikacji marki¹. Według Świąteczkiej wykorzystanie storytellingu sprawia, że odbiorca lepiej zrozumie większą ilość informacji. Czysty przekaz nastawiany na czynniki ilościowe, fakty oraz liczby uaktywnia znacznie mniej obszarów w mózgu, niż interesująca odbiorcę opowieść. Storytelling porządkuje fakty i w spójny sposób je przedstawia².

Ludzie słuchają historii automatycznie, gdyż na tym opiera się ich codzienność. Ciekawie napisana historia sprawia, że bierny słuchacz staje się jej bohaterem. Buduje to emocje, które ujmują odbiorcę i prowokują do tworzenia własnych odczuć wobec marki. Dobra historia cechuje się prostotą i łatwością do przekazania narracją, dlatego nie warto wykorzystywać specjalistycznych fraz, które nie są zrozumiałe dla odbiorcy. Oparcie opowiadania na prawdzie sprawi, że stanie się ona bliższa i w większym stopniu akceptowana przez odbiorcę³. Ważnym elementem jest odwołanie się do założycieli i ich historii, a także kluczowych momentów w życiu marki⁴. Opowieść ta może być przekazywana jak legenda – „z ust do ust” i rozpowszechni element wizerunku marki jednocześnie budując przywiązanie do niej. Poprawnie skonstruowana opowieść o marce pozwoli odbiorcy odpowiedzieć na trzy pytania:

1. Co marka chce po sobie pozostawić?
2. Jakie będzie jej ewentualne dziwactwo?
3. Jaka jest ideologia jej bytu na rynku⁵?

Siłą napędową opowieści stanowi konflikt. Historia marki może pomóc zrozumieć, jakie ideały i wartości reprezentuje oraz komu i czemu się przeciwstawia. Postacie storytellingu to przede wszystkim bohaterowie opowieści i ich wrogowie. Bohaterowie zazwyczaj chcą osiągnąć określony cel. W jego realizacji przeszkadzają im wrogowie. W opowieściach możemy dostrzec beneficjentów, którzy czerpią korzyści z osiągnięcia celu przez bohatera. Czasem możemy dostrzec również inne postaci wspierające bohatera lub jego przeciwnika. W historii marki bohaterem jest pracownik lub założyciel firmy. Klienci firmy to jej beneficjenci, a konkurenci rynkowi czy negatywna opinia publiczna to jej wrogowie.⁶

4. Wpływ storytellingu na postrzeganie marki

Narracje reklamowe oparte na mentalnej symulacji mają potencjał do skutecznego przekonania i budowania pozytywnych postaw wobec marki i produktu.⁷ Wyniki badania Jennifer Edson Escalas sugerują, że wykorzystanie storytellingu w reklamach może przynieść korzyści w budowaniu więzi emocjonalnych z odbiorcami i skuteczniejszym przekonywaniu ich do produktu. Kreowanie opowieści, w których odbiorcy mogą mentalnie symulować korzystanie z produktu i identyfikować się z bohaterem reklamy, może pomóc w kreowaniu bardziej angażujących i perswazyjnych treści reklamowych. Wyniki badania wskazują, że gdy odbiorcy wyobrażają sobie, że są bohaterami opowieści zawartej w reklamie

¹ M. Staniszewski, „7 zasad mitologizacji marki”, ican.pl (2013) [dostęp: 27.04.2023]

² A. Świąteczka, „Digital storytelling: Podręcznik dla edukatorów”, Fundacja Ad Hoc (2013), s. 8

³ E. Mistewicz, „Marketing narracyjny. Jak budować historie, które sprzedają”, Helion (2011), s. 16-25

⁴ G. Kosson, „Podaj dalej, czyli jak stworzyć porywającą opowieść dla marki”, Słowa i myśli (2014), s. 62-72

⁵ K. Stopczyńska, „Wykorzystanie storytellingu w kreowaniu wizerunku marki w social media”, „Handel wewnętrzny”(3/2016), s. 317-325

⁶ M. Hajdas, „Storytelling – nowa koncepcja budowania wizerunku marki w epoce kreatywnej”, Współczesne zarządzanie (1/211), s. 116-123

⁷ J. E. Escalas (2004) “Imagine yourself in the product”, Mental Simulation, Narrative Transportation, and Persuasion, Journal of Advertising, (33/2),s. 37-48

i mentalnie symulują korzystanie z produktu, doświadczają silniejszego zaangażowania emocjonalnego i psychicznego. Prowadzi to do większej skłonności do przekonania oraz pozytywnych postaw wobec marki.

Użycie storytellingu w promowaniu marki, aby mogło być skuteczne, musi wychodzić poza granice oferowanego produktu czy usługi¹. Narracja marki nie może opierać się tylko i wyłącznie na marce - chociaż wydaje się to sprzeczne ze sobą, to według Raymond'a Roker'a potrzeby i wartości powinny być głównym podmiotem efektywnego przekazu marketingowego, a sama marka powinna znajdować się na ich tle. Co w takim razie powinno cechować efektywny storytelling? Przede wszystkim trzeba zaznaczyć, że jest on zależny od kontekstu i celów marki, dlatego istotne jest dopasowanie opowiadanej historii do specyfiki marki i jej docelowej grupy odbiorców. Dobranie odpowiedniej narracji do komunikacji z konsumentem zależne jest od tego, jaką reakcją marka chce wywołać u odbiorcy i jaką wiadomość o samej sobie chce przekazać. W zależności od celu komunikatu można wyróżnić 8 wzorców narracji marketingowej²:

1. „Sparking action” („Iskrząca akcja”), czyli rodzaj komunikatu bazujący na zmianie, która przyczyniła się do pozytywnego rezultatu. Ten rodzaj narracji pozwala odbiorcy na wyobrażenie sobie jak podobne rozwiązanie mogłoby wpłynąć na jego sytuację.
2. Komunikowanie, kim się jest – przekaz bazujący na dramacie, ujawniający mocne strony i słabości z przeszłości.
3. Przekazywanie wartości – komunikat powodujący chęć utożsamiania się odbiorcy z marką lub wzbudzający potrzebę dyskusji na temat przedstawionych założeń. Komunikat podświadomie zmusza odbiorcę do obrania strony i bycia czynnym uczestnikiem dialogu.
4. Komunikowanie, kim jest firma – branding. Zwykle jest przekazywany przez sam produkt lub usługę, przez klienta lub przez wiarygodną osobę trzecią.
5. „Wspieranie współpracy” – przekaz, który mówi o sytuacji, której odbiorcy również doświadczyli. Zachęca ich on do podzielenia się własnymi doświadczeniami wynikającymi z danej historii i rozpoczyna narracyjną reakcję łańcuchową.
6. „Oswajanie winorośli”, czyli narracja bazująca na odrobinie humoru i zastosowania lekkiego przekazu, wskazująca i niwelująca nieprawdziwe aspekty plotek.
7. Dzielenie się wiedzą, czyli komunikat skupiający się na pomyłkach z przeszłości, opowiedzeniu jak zostały one naprawione i dlaczego zastosowane działania zadziałały. Odbiorca ma wrażenie, że przekaz jest autentyczny i szczerzy oraz postrzega daną markę, jako autorytet lub wzór.
8. „Kierowanie ludzi w przyszłość”, czyli narracja bazująca na opowieści o pożądanym przyszłości, której mogłaby doświadczyć dana marka i jaką chce wykreować nadawca wypowiedzi. Komunikat ma na celu poruszyć wyobraźnię odbiorców i postawić pozytywną wizję ponad obecną sytuację.

Niektóre z powyżej wymienionych wzorców narracji będą miały wydźwięk negatywny (np. dzielenie się wiedzą, komunikowanie, kim się jest) ze względu na przytaczane błędy i pomyłki. Niemniej jednak będą one najbardziej efektywne, jeśli marce zależy na wzbudzeniu autentyczności, ale też szczerości,

¹D. Shiao, (2019), „How to Do Brand Storytelling in Successful Ways, Content Marketing Institute”.: <https://contentmarketinginstitute.com/2019/12/brand-storytelling-examples/> [dostęp: 28.05.2023]

²S. Denning, (2006), "Effective storytelling: strategic business narrative techniques", Strategy & Leadership, (34/1), s. 42-48.

jako nadawcy, który nie boi się przyznać do popełnionych błędów. Z drugiej strony, wzorce narracji, takie jak np. *kierowanie ludzi w przyszłość* lub *sparking action*, które opierają cel historii na pozytywnym rezultacie, będą skuteczne w przypadku promowania marki, jako trwałego, rewolucyjnego podmiotu. Tego typu narracja jednak może naciskać zbyt mocno na pozytywny rezultat, a tym samym nie dostarczyć adekwatnych informacji dotyczących radzenia sobie z problemem. Odpowiednie dobranie wzorca narracji może pomóc w budowaniu wiarygodności i zaangażowania odbiorców, jednocześnie dostarczając im wartościowych informacji i inspiracji do działania.

5. Podsumowanie

Marketing to działania wspierające sprzedaż produktów i usług, wykonywane przy użyciu różnorodnych metod i technik wpływania na kupujących¹. Marketing narracyjny jest jedną z technik marketingowych mających na celu promowanie marki lub produktu poprzez opowiadanie publiczności ciekawej historii². Wykorzystuje on opowiadanie historii. Innymi słowy, Tworzy historię, która przykuwa uwagę konsumenta i inspiruje go do działania. To narzędzie pomaga budować pozytywny wizerunek marki, przyciągać nowych klientów i zatrzymywać dotychczasowych. Ten charakterystyczny przekaz jest często wielowymiarowy i emocjonalny, kształtując wizerunek marki³. Narzędzie angażuje konsumentów we współtworzenie historii marki i oferuje dodatkową korzyść w postaci zabawy z komunikacją marki⁴. Tworzenie historii, które pozwalają widzom symulować w myślach użycie produktu i rezonować z głównym bohaterem reklamy, może pomóc w tworzeniu bardziej angażujących i atrakcyjnych treści promocyjnych. Wyniki badań pokazują, że widzowie doświadczają większego zaangażowania emocjonalnego i psychicznego, gdy wyobrażają sobie siebie, jako bohatera historii zawartej w reklamie i symulują w swoich umysłach użycie produktu. To buduje zaufanie do marki i tworzy pozytywne nastawienie. Skuteczne wykorzystanie storytellingu do promocji marki musi wykroczyć poza oferowany produkt lub usługę⁵.

Historia marki nie powinna opierać się wyłącznie na Twojej marce. Może się to wydawać sprzecznością, ale według Raymonda Rokera potrzeby i wartości powinny być głównymi tematami skutecznego przekazu marketingowego, zostawiając samą markę na drugim planie. Storytelling opiera się na kontekście i celach marki. Dlatego ważne jest, aby dopasować opowiadaną historię do specyfiki Twojej marki i jej grupy docelowej. Wybór odpowiedniej narracji do komunikowania się z konsumentami zależy od reakcji, jaką marka chce wywołać u swoich odbiorców oraz od komunikatu, jaki chce przekazać o sobie. Możemy wyróżnić 8 wzorców narracji marketingowych: *Sparking action*, *Komunikowanie, kim się jest*, *Przekazywanie wartości*, *Komunikowanie, kim jest firma*, *Wspieranie współpracy*, *Oswajanie winorośli*, *Dzielenie się wiedzą*, *Kierowanie ludzi w przyszłość*⁶.

Według Świąteckiej opowiadanie historii pomaga odbiorcom lepiej zrozumieć więcej informacji. Jasny przekaz, który koncentruje się na elementach ilościowych, faktach i liczbach, aktywuje znacznie mniej

¹M. Barysz, M. Wiernusz, "Definicja Marketingu", Encyklopedia Zarządzania, <https://mfiles.pl> [dostęp: 27.04.2023]

²E. Mistewicz, „Marketing narracyjny. Jak budować historie, które sprzedają”, Helion (2011), s-16-25

³K. Stopczyńska, „Wykorzystanie storytelling w kreowaniu wizerunku marki w social media”, „Handel wewnętrzny”(3/2016), s. 317-325

⁴M. Staniszewski, „7 zasad mitologizacji marki”, ican.pl (2013) [dostęp: 27.04.2023]

⁵Shiao, D. (2019), „How to Do Brand Storytelling in Successful Ways, Content Marketing Institute”, <https://contentmarketinginstitute.com/2019/12/brand-storytelling-examples/> [dostęp: 28.05.2023]

⁶S. Denning, (2006), "Effective storytelling: strategic business narrative techniques", *Strategy & Leadership*, (34/1), s. 42-48.

obszarów w mózgu niż ciekawa historia. Opowiadanie historii porządkuje i ostatecznie przedstawia fakty¹.

Kolejną strategią marketingową wykorzystującą storytelling jest marketing treści, którego celem jest regularne tworzenie i publikowanie wartościowych treści, które angażują odbiorców przekazu². Ta popularna strategia zwiększa retencję i lojalność klientów, buduje trwałe relacje z klientami i tworzy pozytywny wizerunek marki. Marki stosują różne formy content marketingu, a rodzaje publikowanych przez nie treści cieszą się coraz większą popularnością.

Ciekawe treści motywują internautów do reagowania, komentowania i przesyłania dalej interesujących ich treści. Większość algorytmów w mediach społecznościowych widząc duże zaangażowanie opublikowaną treścią będzie ją proponowała nowym użytkownikom. Zaangażowana publiczność to większa liczba obserwujących, która z czasem może stać się prawdziwymi fanami naszej marki. Prawdziwi fani, z kolei dzielą się wszystkim, co stworzysz i są głęboko zaangażowani w działalność naszej marki. Marketing treści pomaga, także budować świadomość marki, czyli umiejętności rozpoznania naszej marki i rozróżnienia jej kategorii produktowej przez konsumenta.

Ludzie często używają programów do blokowania wyskakujących reklam. Dzięki content marketingowi można ominąć tę blokadę sprawiając, że potencjalni klienci sami będą szukać naszych treści. Storytelling pomaga przyciągnąć uwagę i sprawić, że materiały promocyjne produktu nie będzie postrzegana, jako reklama dla odbiorcy i z mniejszą awersją zapozna się z jej treścią.

Podsumowując storytelling pozwala na przyciągnięcie uwagi odbiorcy i przekazanie mu spójnej i kreatywnej treści promocyjnej, która nie będzie traktowana, jako reklama. Działanie to pozwoli na szersze budowanie świadomości o marce jak i rozwoju profilu marki na mediach społecznościowych. Przekazywane opowiadania pozwolą odbiorcy utożsamiać się z historią i stać się jej częścią. Powyższy przegląd literatury przedstawia, jaką siłę ma odpowiednio prowadzony marketing narracyjny i marketing treści z wykorzystaniem storytellingu.

Bibliografia

- M. Barysz, M. Wiernusz, „Definicja Marketingu”, Encyklopedia Zarządzania, <https://mfiles.pl> [dostęp: 27.04.2023]
- J. Andelt i P. Chojnacka, „Marketing treści i jego wpływ na budowanie wizerunku firmy”, *Trendy w zarządzaniu przedsiębiorstwem w ujęciu międzynarodowym* (2019), s.137-147
- S. Denning, (2006), "Effective storytelling: strategic business narrative techniques", *Strategy & Leadership*, (34/1), s. 42-48.
- M. Dyrda, „Czym jest content marketing?”, promotree.pl [dostęp: 29.04.2023]
- J. E. Escalas (2004) IMAGINE YOURSELF IN THE PRODUCT : Mental Simulation, Narrative Transportation, and Persuasion, *Journal of Advertising*, 33/2,s. 37-48
- M. Hajdas, „Storytelling – nowa koncepcja budowania wizerunku marki w epoce kreatywnej”, *Współczesne zarządzanie* (1/211), s. 116-123

¹ A. Świątecka, „Digital storytelling: Podręcznik dla edukatorów”, Fundacja Ad Hoc (2013), s. 8

² „Content marketing”, [wikipedia.pl](https://pl.wikipedia.org/wiki/Content_marketing) [dostęp: 29.04.2023]

G. Kosson, „Podaj dalej, czyli jak stworzyć porywającą opowieść dla marki”, Słowa i myśli (2014), s 62-72

A. Kozłowski, „Content marketing - 5 elementów strategii marketingu treści”, monday.prowly.com [dostęp: 29.04.2023]

M. Krajewska, „Jak tworzyć treści, które zachwycają? Content marketing w pigułce”, cary.one [dostęp: 29.04.2023]

G. Mazurek i K. Nosalska, „Wykorzystanie marketingu treści na rynku przemysłowym B2B – badania empiryczne”, Marketing i rynek (4/2018), s. 405-416

E. Mistewicz, „Marketing narracyjny. Jak budować historie, które sprzedają”, Helion (2011), s-16-25

D. Shiao, (2019), „How to Do Brand Storytelling in Successful Ways, Content Marketing Institute”, : <https://contentmarketinginstitute.com/2019/12/brand-storytelling-examples/> [dostęp: 28.05.2023]

F. Silvestrin „Marketing treści – Kompleksowy przewodnik”, amazon-affiliate.eu [dostęp: 29.04.2023]

J. Skurpel i M. Goszczycka, „13 błędów, które zabijają Twój kontent”, fabrykamarketingu.pl [dostęp: 29.04.2023]

M. Staniszewski, „7 zasad mitologizacji marki”, ican.pl (2013) [dostęp: 27.04.2023]

K. Stopczyńska, „Wykorzystanie storytelling w kreowaniu wizerunku marki w social media”, „Handel wewnętrzny”(3/2016), s. 317-325

A. Świątecka, „Digital storytelling: Podręcznik dla edukatorów”, Fundacja Ad Hoc (2013), s. 8

„Co czwarty internauta w Polsce słucha podcastów - wyniki badania przygotowanego na zlecenie Tandem Media”, agora.pl [dostęp:29.04.2023]

„Content marketing”, wikipedia.pl [dostęp: 29.04.2023]

„Co to jest content marketing? Cechy, zalety i przykłady”, agencjainteraktywna.pl [dostęp: 29.04.2023]

MARTA WASILEWSKA¹, WERONIKA STEFANIAK¹, EWELINA STĘPNIK¹, PIOTR BRZEŚ¹

Ocena właściwości warstw kompozytowych na bazie asfaltu porowatego i kolorowych zapraw

Assessment of the properties of composite layers based on porous asphalt and colored mortars

Streszczenie

W rozdziale przedstawiono wyniki badań właściwości warstw kompozytowych zaprojektowanych na bazie asfaltu porowatego i zapraw. w pierwszym etapie przedstawiono wyniki lepkości kinematycznej, wytrzymałość na ściskanie i zginanie po 2 i 28 dniach testowanych zapraw różniących się kolorem (biały, niebieski, czerwony). W drugim etapie zaprezentowano wyniki odporności na deformacje trwałe i wrażliwość na działanie wody próbek z warstw kompozytowych. Dowiedziono, że to rozwiązanie powinno być stosowane w celu poprawy widoczności tych elementów dróg o ruchu ciężkim np. zatoki autobusowe, skrzyżowania.

Słowa kluczowe: nawierzchnia drogowa, asfalt porowaty, kompozyt, deformacje trwałe

Summary

The paper presents the results of testing the properties of composite layers designed on the basis of porous asphalt and mortars. In the first stage, the results of kinematic viscosity, compressive and flexural strength after 2 and 28 days of tested mortars differing in color (white, blue, red) were presented. In the second stage, the results of resistance to permanent deformation and sensitivity to water of composite layer samples were presented. It has been proven that this solution should be used in order to improve the visibility of these road elements with heavy traffic, e.g. bus bays, intersections.

Key words: road pavement, porous asphalt, composite, permanent deformations

1. Wprowadzenie

Nawierzchnia jest to warstwa lub zespół warstw, których celem jest rozłożenie obciążeń od kół pojazdów lub ruchu pieszych oddziałujących na podłoże gruntowe lub konstrukcję drogowego obiektu inżynierskiego przy zagwarantowaniu bezpieczeństwa i komfortu ruchu [3]. Ponad 95 % nawierzchni drogowych w Polsce jest budowanych jako nawierzchnie podatne, których warstwy są wykonywane z mieszanek mineralno-asfaltowych lub / i kruszywa stabilizowanego mechanicznie. Nawierzchnie sztywne z górną warstwą z betonu cementowego są budowane zdecydowanie rzadziej niż nawierzchnie podatne – głównie na odcinkach dróg krajowych, gdzie występuje bardzo duże obciążenie ruchem ciężarowym. Wybór technologii wykonania nawierzchni podatnej czy też sztywnej powinien uwzględniać charakterystykę pracy nawierzchni w układzie drogowym (obszar skrzyżowań, przystanki autobusowe, ciągi pieszo-rowerowe itp.) oraz obciążenie ruchem [2]. W przypadku nawierzchni podatnych dróg niższych klas warstwa ścieralna jest projektowana z betonu asfaltowego AC (*Asphalt Concrete*), natomiast wyższych klas – SMA (*Stone Mastic Asphalt*) oraz BBTM (*Beton Bitumineuse Tres Mince*). SMA i BBTM są to mieszanki o nieciąglym uziarnieniu, które odznaczają się bardzo dobrą

¹ Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku, Studenckie Koło Naukowe DROGOWIEC

odporności na deformacje trwałe. Jednak nie są one zalecane na obszary, gdzie ruch pojazdów ciężkich jest bardzo wolny tj. przystanków autobusowych i placów postojowych. W tych miejscach zaleca się wykonanie nawierzchni betonowych. W przypadku budowy w tych obszarach nawierzchni podatnych lub z kostki kamiennej można zaobserwować deformacje zarówno w przekroju podłużnym i poprzecznym (koleina). Jednak wybór nawierzchni z betonu cementowego wymaga zaprojektowania i wykonania innego rodzaju podbudowy nawierzchni, niż podbudowa na pasy ruchu jezdni z nawierzchnią podatną. Pielęgnacja tego typu nawierzchni wydłuża też okres oddania odcinka do użytkowania, a wykonane teksturowanie i spoiny dylatacyjne wymagają dodatkowego utrzymania. Bardzo dobrym rozwiązaniem jest budowa takich nawierzchni, które łączyłyby korzyści mieszanek mineralno-asfaltowych i betonowych. Są to warstwy kompozytowe. W pierwszej kolejności na podbudowie nawierzchni podatnej wykonuje się warstwę z przepuszczalnej mieszanki typu asfalt porowaty, a po osiągnięciu odpowiedniej temperatury, aplikuje się specjalną zaprawę wypełniając wolne przestrzenie. Taka technologia powstała we Francji i Niemczech [1]. W Polsce również są stosowane tego typu rozwiązania. Miastem z najliczniejszymi nawierzchniami kompozytowymi w obszarze przystanków autobusowych jest Białystok. W 2011 roku zostały zbudowane pierwsze tego typu nawierzchnie. Aktualnie są stosowane również na pasach dla komunikacji zbiorowej. Jednak, mimo korzyści: redukcji czasu budowy i kosztów na etapie użytkowania, wciąż nie są popularne w kraju.

W ramach projektu „Innowacyjna nawierzchnia hybrydowa jako efektywne rozwiązanie do budowy parkingów, przystanków autobusowych, obszarów skrzyżowań i ścieżek rowerowych” dofinansowanego przez Ministra Edukacji i Nauki ze środków z budżetu państwa w ramach programu „Studenckie koła naukowe tworzą innowacje” Studenckie Koło Naukowe DROGOWIEC podjęło prace nad opracowaniem kompozytu z zaprawą kolorową. Miało to na celu zwiększenie widoczności tych miejsc, gdzie istnieje potencjalnie udział niechronionych użytkowników ruchu i utrzymania trwałości rozwiązania w aspekcie wystąpienia ruchu ciężkiego.

Celem referatu jest przedstawienie wyników badań nad warstwą kompozytową wykonaną z porowatej mieszanki mineralno-asfaltowej typu asfalt porowaty, której wolne przestrzenie wypełnione są kolorową zaprawą.

2. Program badań

Program badawczy został podzielony na dwie fazy. W pierwszej oceniono podstawowe właściwości zapraw. Wybrane zaprawy różniły się pigmentem. Do testów wytypowano następujące zaprawy: biała, niebieska i czerwona. Określono następujące właściwości:

- lepkość kinematyczną zgodnie z ASTM 06910,
- wytrzymałość na ściskanie zgodnie z PN-EN 196-1,
- wytrzymałość na zginanie zgodnie z PN EN 196-1.

Zgodnie z zaleceniami producenta do suchej zaprawy koloru niebieskiego i białego dodano 20 % wody, natomiast czerwonego – 22%.

W drugim etapie wykonano badania na próbkach z warstw kompozytowych. W tym celu zaprojektowano asfaltu porowaty o maksymalnym wymiarze kruszywa D wynoszącym 11 mm. Stosowano asfalt modyfikowany PMB 45/80-55 i kruszywo grube wyprodukowane z trachybazaltu. Właściwości fizyczne kruszywa grubego przedstawiono w tabeli 1. Skład asfaltu porowatego PA 11

ustalono zgodnie z Wytycznymi Technicznymi WT-2:2014 [4]. Zestawianie parametrów objętościowych zamieszczono w tabeli 2.

Tabela 1. Właściwości fizyczne kruszywa grubego

Właściwość	Metoda	Wynik
Odporność na polerowanie, PSV [-]	PN-EN 1097-8	52
Odporność na ścieranie, M_{DE} [%]	PN-EN 1097-1	10
Odporność na rozdrabnianie, LA [%]	PN-EN 1097-2	12
Mrozoodporność kruszywa w obecności soli, F_{NaCl} [%]	PN-EN 1367-6	1
Gęstość kruszywa, ρ_a [Mg/m^3]	PN-EN 1097-6	2.70
Nasiąkliwość kruszywa, WA_{24} [%]	PN-EN 1097-6	0.5

Tabela 2. Parametry objętościowe mieszanki PA 11

Parametry	Metoda	Wynik
Gęstość ρ_{mv} [Mg/m^3]	PN-EN 12697-5	2.454
Gęstość nasypowa $\rho_{b,dim}$ [Mg/m^3]	PN-EN 12697-6	1.702
Zawartość wolnych przestrzeni V_m [%]	PN-EN 12697-8	30.7
Wolne przestrzenie wypełnione lepiszczem VFB [%]	PN-EN 12697-8	40.7
Zawartość wolnych przestrzeni w mieszance mineralnej VMA [%]	PN-EN 12697-8	24.5

W celu oceny właściwości warstw kompozytowych przeprowadzono następujące badania:

- wrażliwość na wodę zgodnie z załącznikiem 1 WT-2:2014 [4]
- odporność na deformacje trwałe zgodnie z normą EN 12697-22.

W celu przygotowania próbek do poszczególnych badań, wykonano płyty z asfaltu porowatego przy użyciu zagęszczarki płytowej o grubości 63 mm – do oceny na wrażliwość na wodę oraz o grubości 40 mm do oceny odporności na deformacje trwałe. Po dwóch dniach na ich powierzchnię starannie aplikowano zaprawę tak, aby wniknęła wewnątrz płyty z mieszanki i wypełniła wolne przestrzenie.

3. Opis procedur badań

Lepkość dynamiczna

Lepkość dynamiczną sprawdzano zgodnie z normą ASTM 06910. Za pomocą lepkościomierza Marsha w kształcie lejka (rys. 1), w temperaturze pokojowej 22°C, określano czas wypływu zaprawy do oznaczonego naczynia o pojemności 1000 cm³. Czas wypływu jest konwencjonalną miarą lepkości.



Rys. 1. Lejek wypływowy Marsha

Wytrzymałość na ściskanie i zginanie

Badanie wytrzymałości na zginanie i ściskanie testowanych zapraw przeprowadzono zgodnie z normą EN 196-1 (rys. 2 i 3). Wykonane zostały próbki o wymiarach 40×40× 160 mm, które poddawane były badaniom po różnym czasie dojrzewania – po 2 i 28 dniach. Test wytrzymałości na zginanie został przeprowadzony na 3 próbkach przy użyciu metody trzy-punktowego obciążenia. Próbki zostały umieszczone w maszynie tak, aby oś podłużna była prostopadła do podpory. Obciążenie było stopniowo zwiększane pionowo za pomocą wałka obciążającego na przeciwną stronę próbki, z prędkością 50±10 N/s, aż do złamania. Wytrzymałość na zginanie została obliczona zgodnie z równaniem (1). Wynik stanowi średnią wartość z 3 próbek. Do badania wytrzymałości na ściskanie wykorzystano uszkodzone próbki użyte wcześniej do testów wytrzymałości na zginanie. Próbki zostały ułożone bocznie na pomocniczych płytach ze stali hartowanej, które dokładnie określają obszar ściskania. Obciążenie było równomiernie zwiększane z prędkością 2400±200 N/s do momentu uszkodzenia. Wytrzymałość na ściskanie została obliczona zgodnie z wzorem (2). Jako wynik końcowy podano średnią z 6 wyników.

$$R_f = \frac{1,5 \cdot F_f \cdot l}{b^3} \quad (1)$$

gdzie:

R_f – wytrzymałość na zginanie [MPa];
 b – szerokość próbki [mm];
 F_f – maksymalne obciążenie [N];
 l – odległość pomiędzy podporami [mm].

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (2)$$

gdzie:

R_c – wytrzymałość na ściskanie [MPa];
 F_c – maksymalne obciążenie w czasie uszkodzenia [N];
 1600 jest to powierzchnia stalowych płyt (40×40 mm) [mm²]



Rys. 2. Wytrzymałości na zginanie



Rys. 3. Wytrzymałość na ściskanie

Wrażliwość na wodę

Test przeprowadzono zgodnie z załącznikiem 1 WT-2 : 2014. Próbkę o średnicy $101,6 \pm 0,1$ mm zostały wycięte za pomocą wiertarki rdzeniowej z płyty wykonanej z warstwy kompozytowej o grubości $63,5 \pm 2,5$ mm (rys. 4). Dziesięć próbek dla każdej mieszanki podzielono na dwie części: „suche” i „mokre”. Próbkę „suche” dojrzewały w temperaturze $20 \pm 5^\circ\text{C}$. Próbkę „mokre” były nasączone destylowaną wodą pod próżnią ($6,7 \pm 0,3$ kPa, 30 minut) i pozostawiane w wodzie przez 30 minut pod ciśnieniem atmosferycznym. Następnie próbki przechowywano w wodzie o temperaturze 40°C przez 72 godziny. W kolejnym etapie zafoliowane plastikiem próbki były zamrażane w temperaturze -18°C przez 16 godzin, a następnie umieszczone w wodzie o temperaturze 25°C przez 24 godziny. Ostatecznie przeprowadzono test wytrzymałości na rozciąganie pośredniej (ITS – *Indirect Tensile Strength*) zgodnie z normą PN-EN 12697-23 na obu zestawach próbek. Wartości ITSR (*Indirect Tensile Strength Resistance*) zostały obliczone zgodnie z równaniem (3).

$$ITSR = \frac{ITS_w}{ITS_d} \cdot 100\% \quad (3)$$

gdzie:

ITS_d – wartość ITS próbek „suchych” [kPa];

ITS_w – wartość ITS próbek „mokrych” [kPa].



Rys. 4. Próbkki do badania ITS

Odporność na deformacje trwałe

Badanie odporności na koleinowanie mieszanki kompozytowej przeprowadzono zgodnie z normą EN 12697-22 w małym urządzeniu (metoda B), na powietrzu. Przygotowano dwie próbki z każdej mieszanki kompozytowej. Próbki miały wymiary 300×400×40 mm. Przed przeprowadzeniem testu próbki dojrzewały przez 4 godziny w temperaturze 60 °C. Urządzenie składa się z obciążonego koła, które wielokrotnie przechodzi po powierzchni próbki testowej. Obciążenie koła wynosiło 700 N, częstotliwość wynosiła 26,5±1,0 cykli obciążenia na minutę. Test został przeprowadzony w temperaturze 60 °C. Ocena odporności na koleinowanie jest dokonywana na podstawie:

- RD (*rut depth*) głębokość kolein po 10 000 cykli [mm];
- PRD (*proportional rut depth*) proporcjonalnej głębokości koleiny po 10 000 cykli jako procent grubości próbki[%];
- WTS (*wheel-tracking slope*) nachylenie krzywej koleinowania [mm/10 000 cykli obciążenia].

4. Wyniki i ich analiza

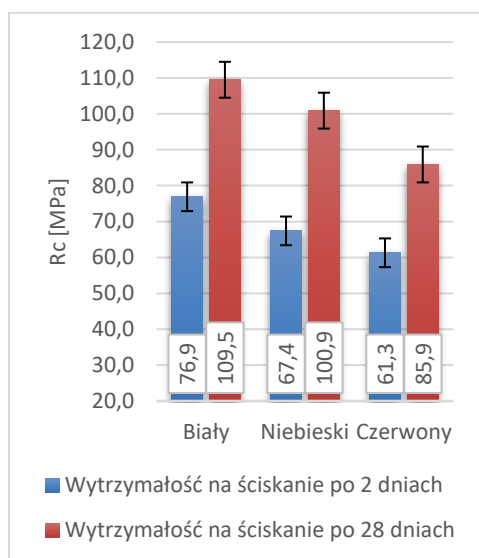
4.1. Ocena właściwości zapraw

Ocena lepkości kinematycznej jest bardzo istotna w przypadku wykonania warstw kompozytowych, gdyż od niej zależy właściwe wypełnienie wolnych przestrzeni. Wyniki testu zostały przedstawione w tabeli 3. Zarówno biała, jak i niebieska zaprawa osiągnęły podobny czas wypływu z lepkościomierza Marshalla. Jedynie wynik zaprawy z czerwonym pigmentem znacząco różnił się od pozostałych. Czas wypływu czerwonej zaprawy był prawie 2 razy krótszy niż pozostałych materiałów.

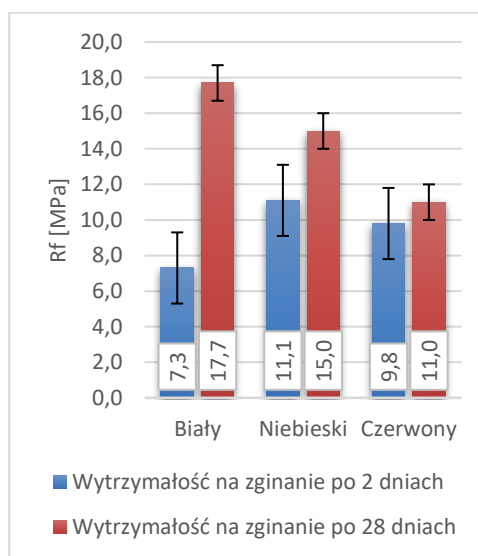
Tabela 3. Wyniki badań lepkości

Zaprawa	Czas wypływu [s]	Odchylenie standardowe σ [s]
Biała	35	4
Niebieska	37	5
Czerwona	15	5

Na rysunkach 5 i 6 przedstawiono porównanie wytrzymałości na zginanie i ściskanie po 2 i 28 dniach. Kontrola wytrzymałości po 2 dniach jest istotna ze względu na fakt, że warstwa zaprawy powinna być oddana do użytku drogowego po 2 dniach od wykonania. Stwierdzono, że wyniki wytrzymałości na zginanie dla próbek czerwonych i niebieskich są na porównywalnym poziomie po 2 dniach. Wyniki próbek białych są znacząco niższe. Jednak otrzymana wartość po 28 dniach wykazała, że próbki białe miały największy wzrost wytrzymałości na ściskanie (140%) i najwyższy wynik (17,7 Mpa). Najniższy wzrost wytrzymałości (12%) i najniższą wartość R_f odnotowano dla próbek czerwonych (11,0 Mpa). Wytrzymałość na ściskanie po 2 i 28 dniach jest zadowalająca, ponieważ wartości są wyższe niż 60 Mpa. Wzrost wytrzymałości poszczególnych próbek mieści się na porównywalnym poziomie, wynoszącym około 30%. Najwyższe wyniki odnotowano dla próbki białej, a najniższe dla próbki czerwonej. Prawdopodobną przyczyną niższych wartości zaprawy czerwonej może być wyższa zawartość wody niż w przypadku zaprawy białej i niebieskiej. Jednak weryfikacja tej tezy jest możliwa po analizie wyników właściwości wykonanych w drugim etapie badań z warstwami kompozytowymi.



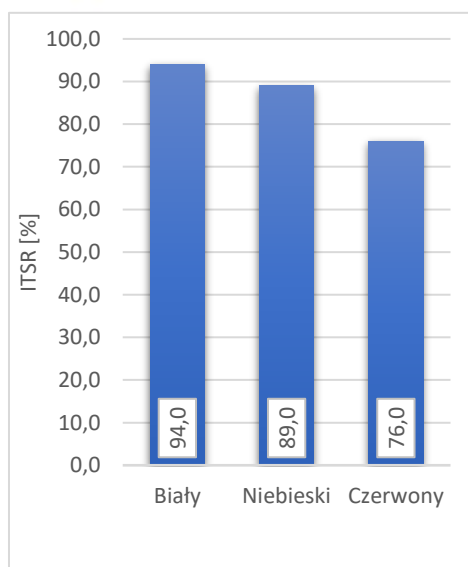
Rys. 5. Wytrzymałość na zginanie testowanej zaprawy



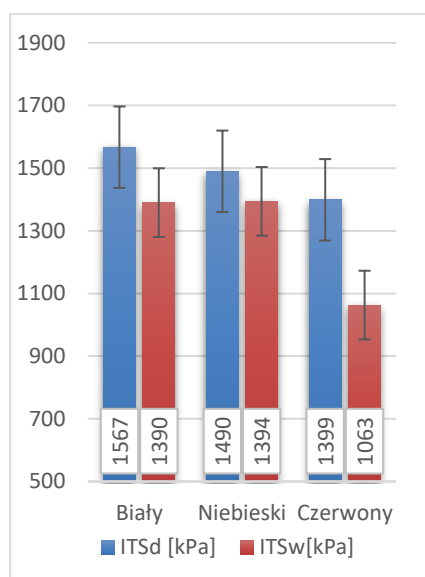
Rys. 6. Wytrzymałość na ściskanie testowanej zaprawy

4.2. Ocena właściwości warstw kompozytowych

Wyniki testu wrażliwości na wodę zostały przedstawione na rysunkach 7 i 8. Próbkę z czerwoną zaprawą osiągnęły wartości ITSR < 80%. Różnica między wartościami ITS dla zestawu mokrego i suchego wynosi około 24%. Ponadto, te wartości są niższe niż wyniki ITS uzyskane dla mieszanek z niebieską i białą zaprawą. Zauważono, że istnieje zależność między wzrostem wyższych wartości wytrzymałości na zginanie i ściskanie zapraw, a wzrostem uzyskanych wartości ITS.



Rys. 7. Średnie wartości wyników ITSR



Rys. 8. Średnie wartości wyników ITS z odchyleniami standardowymi

W tabeli 4 przedstawiono wyniki parametrów charakteryzujących odporność na deformacje trwałe warstw kompozytowych. Korzystne wyniki potwierdzają, że są one odporne na trwałe odkształcenia w przekroju jezdni. Jest to efektem bardzo dobrego wypełnienia wolnych w porowatym asfalcie zaprawą o wysokiej wytrzymałości na ściskanie po 2 dniach (powyżej 60 Mpa). W konsekwencji warstwy zachowują się tak jak nawierzchnie sztywne.

Tabela 4. Wyniki badania odporności na deformacje trwałe

Parametry	Biała	Niebieska	Czerwona
RD _{AIR} [mm]	0,26	0,07	0,04
PRD _{AIR} [%]	0,7	0,2	0,1
WTS _{AIR} [mm/10 000 cykli obciążenia]	0	0	0

4. Podsumowanie

Na podstawie badań wykazano, że warstwy kompozytowe wykonane na bazie asfaltu porowatego i kolorowych zapraw są odporne na deformacje trwałe. Dowodzi to, że to rozwiązanie technologiczne odznacza się cechami takimi jak nawierzchnie sztywne, które na terenie zabudowanym są głównie stosowane w rejonie przystanków autobusowych. W przypadku zaprawy w kolorze czerwonym zauważono, że niższe wartości wytrzymałości na ściskanie w odniesieniu do próbek z zaprawą niebieską i białą, mogą mieć związek z różnicą w zawartości wody w poszczególnych zaprawach. Należy zaznaczyć, że pigment obecny w zaprawie powoduje, że obszar nawierzchni, gdzie zastosowano takie rozwiązanie, jest widoczny dla użytkowników dróg. Szczególnie ma to znaczenie w miejscach, gdzie występują tzn. piesi, rowerzyści. Dodatkowo zastosowanie kolorowej zaprawy gwarantuje utrzymanie koloru w czasie, w przeciwieństwie do stosowania farby. W konsekwencji przyczyni się do redukcji kosztów związanych z jego przywróceniem w wyniku zużycia przez ruch i warunki atmosferyczne. Testowane warstwy kompozytowe są trwałym i bezpiecznym rozwiązaniem dedykowanym do budowy nawierzchni w rejonie przystanków autobusowych i skrzyżowań.

LITERATURA

[1] Davoodi A. Esfahani M. A., Bayat M. a, Mohammadyan S. E. *Evaluation of performance parameters of cement mortar in semi-flexible pavement using rubber powder and nano silica additives Construction and Building Materials Vol. 302 (4)2021*

[2] Judycki J. *Porównanie grubości typowych nawierzchni podatnych i półsztywnych Polski i wybranych krajów Europy*. Drogownictwo nr 5 , 2012 str. 159-164

[3] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 24 czerwca 2022 r. w sprawie przepisów techniczno-budowlanych dotyczących dróg publicznych (Dz. U. z dnia 20 lipca 2022r. poz.1518)

[4] Załącznik do zarządzenia 54 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 18 listopada 2014 r. Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych. WT-2 2014 część I. Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wytyczne Techniczne

Badania dofinansowano przez Ministra Edukacji i Nauki ze środków z budżetu państwa w ramach programu „Studenckie koła naukowe tworzą innowacje”

DRAGUN ŁUKASZ¹, POŁONOWICZ DOMINIK¹, TARASIUK NORBERT¹, TUR MAGDALENA¹

Kluczowe kompetencje inżyniera 4.0 w dobie czwartej rewolucji przemysłowej

Summary

An article devoted to the issues of competence problems that should be assessed Engineers 4.0 in the era of the fourth industrial revolution. Its purpose will be the substantive identification of employees and the entire organization, which should be implemented in accordance with the idea of Industry 4.0. In order to enter the digitization exchange at the threshold of entering the industry technical criteria, e.g., for handling robots increases with losses in the production process and increases the extension of its commissioning period. The authors will try to recommend which Engineers 4.0 should be used.

Key words: Industry 4.0, Engineer 4.0, technical competences, human digital competences

Wstęp

Jednym z podstawowych elementów oraz fundamentem związanym z działalnością i funkcjonowaniem przedsiębiorstwa są jego pracownicy i ich kompetencje do zajmowanych stanowisk. Posiadane kompetencje przez poszczególnych pracowników w sposób pośredni bądź też bezpośredni wpływają na charakter i specyfikę całego systemu zarządzania przedsiębiorstwem zarówno produkcyjnym jak i usługowym. Funkcjonowanie współczesnych przedsiębiorstw często wymaga elastycznego dopasowania się do panujących warunków otoczenia biznesowego. Firmy rodzinne często lekceważą wagę posiadanych kompetencji przez poszczególne osoby w firmie.

Dynamika rozwoju idei Przemysłu 4.0 znacząco wpływa na świadomość pracodawców w zakresie poszukiwań pracowników z odpowiednimi kompetencjami. Obecnie poszukuje się pracowników (co również w znacznym stopniu uwidoczniła pandemia COVID-19) posiadających umiejętności do pracy zdalnej [25]. Cyfryzacja i ciągła digitalizacja miejsc pracy są przyczynkiem do rozszerzenia posiadanych kompetencji przez przyszłych pracowników przedsiębiorstwa. Znajomość języka angielskiego i obsługa pakietu MS Office często jest już niewystarczająca do zaspokojenia potrzeb cyfrowych przyszłego pracodawcy. Przede wszystkim poszukiwani są ludzie potrafiący łatwo adoptować się do zmieniającego się otoczenia cyfrowego. Ceniona jest umiejętność świadczenia pracy w często stresujących warunkach. Kluczowa staje się kreatywność podejmowanych działań oraz swobody reagowania na sytuacje awaryjne.

Zarówno czas pandemii COVID-19 jak i galopującej idei Przemysłu 4.0 w znacznym stopniu zmienił spojrzenie pracodawców na kompetencje przyszłych pracowników. Wiele dotąd lekceważonych kompetencji technicznych stało się często priorytetem [25].

Celem niniejszego artykułu jest podjęcie próby uwidocznienia tych kompetencji, które są najczęściej oczekiwanymi od przyszłych Inżynierów 4.0. Celem poznawczym przeprowadzonego badania było

¹ Politechnika Białostocka, Wydział Inżynierii Zarządzania, Koło Naukowe Industry 4.0

dokonanie identyfikacji kompetencji pożądaných przez pracodawców u pracowników zatrudnionych w MŚP oraz firmach rodzinnych.

PRZEORIENTOWANIE SYSTEMU ZARZĄDZANIA ORGANIZACJAMI W WARUNKACH PRZEMYSŁU 4.0

Przemysł 4.0 wspiera przedsiębiorstwa zapewniając dostęp do prawie każdej informacji w dowolnym czasie z dowolnego miejsca na świecie dzięki swobodnemu dostępowi do Internetu. Dzięki Big Data oraz usieciowieniu przedsiębiorstwa mogą pracować ekonomiczniej oraz szybciej. Przemysł 4.0 jest znacznie efektywniejszy od swoich poprzedników z powodu optymalizacji oraz inteligentnej analizie danych. Jest także konkurencyjny przez niskie koszty produkcji, duży potencjał innowacyjny oraz zabezpieczenie aktualnych lokacji fabryk. Na ten moment wystarczy odpowiednio zastosować polecenie programu, aby narzędzia produkcyjne same zmodyfikowały swoje działanie. Dzięki temu zabiegowi można zrealizować zamówienie NISKOSERYJNE po kosztach produkcji seryjnej. Przemysł 4.0 jest połączeniem świata fizycznego z wirtualnym, gdzie ludzie, maszyny i systemy są połączone poprzez Internet i komunikują się w czasie rzeczywistym optymalizując procesy. W związku z tym Przemysł 4.0 pozwala tworzyć nowe modele biznesowe. Pozwala na budowanie Smart Factory, inteligentnych fabryk.

Z nadejściem Przemysłu 4.0 organizacje stanęły przed wyzwaniem przystosowania się do nowych technologii i zmian [5,6]. Nowinki technologiczne stały się przyczynkiem do rozwoju in. parków maszynowych a ich pracownicy przed barierą wejścia w świat cyfrowy zarządzania tymi maszynami. Przemysł 4.0 zwany również czwartą rewolucją przemysłową oparty jest na Internecie Rzeczy (*ang. Internet of Things*), sztucznej inteligencji (*ang. Artificial Intelligence*), automatyzacji, robotyzacji, Big Data, druku 3D, cyberbezpieczeństwie [2] oraz wirtualnej i rozszerzonej rzeczywistości, które wprowadzane są w celu zwiększenia konkurencyjności, wydajności oraz innowacyjności przedsiębiorstwa.

Hierarchiczna struktura i sztywne procedury będą niewystarczające w dynamicznie rozwijającym się środowisku Przemysłu 4.0. Powinny one uwzględnić elastyczność, innowacyjność oraz zdolność szybkiego reagowania na zmiany w danym procesie produkcyjnym.

Jednym z kluczowych źródeł jest raport opracowany przez Światowe Forum Ekonomiczne z 2015 roku, pod tytułem „*The Future of Jobs: Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution*”. W raporcie przedstawiono prognozy dotyczące zmian na rynku pracy spowodowanych Przemysłem 4.0 oraz omówiono umiejętności, które będą wymagane w nowym środowisku biznesowym. Raport koncentruje się na przyszłości zatrudnienia, umiejętnościach oraz strategii zarządzania zasobami ludzkimi w kontekście przemian w Przemysle 4.0. Autorzy raportu prognozują, że IoT, AI oraz automatyzacja i robotyzacja będą miały znaczący wpływ na rynek pracy, zmieniając wymagania dotyczące kompetencji oraz umiejętności pracowników. Raport analizuje przewidywane zmiany w strukturze zatrudnienia, wskazując na możliwość utraty niektórych tradycyjnych miejsc pracy. Jednak prognozuje także, że nowe zawody z tego powodu będą powstawać. W kontekście umiejętności, raport pokazuje konieczność rozwijania zdolności do pracy w środowisku cyfrowym, umiejętności analitycznych, kreatywności, elastyczności i umiejętności współpracy w zespołach wirtualnych. Implementacja idei Przemysłu 4.0 w MŚP oraz firmach rodzinnych będzie wymagało także zmian w strategii zarządzania zasobami ludzkimi, takich jak rekrutacja, szkolenia i rozwój pracowników [3].

Kenney i Zysman poświęcają swoją uwagę rosnącej roli gospodarki platformowej w dzisiejszym świecie biznesu [12]. Gospodarka platformowa odnosi się do modelu biznesowego, w którym platforma cyfrowa łączy różne grupy użytkowników, umożliwiając wymianę dóbr, usług i informacji [22]. W przedmiotowej pracy wskazano, że kluczowym elementem gospodarki platformowej jest tworzenie wartości poprzez połączenie różnych grup użytkowników (dostawcy, konsumenci, producenci) na jednej platformie. Wykazano także, że gospodarka platformowa wciąż rośnie. Wskazuje na to postęp technologiczny, rozwój Internetu, komunikacji mobilnej oraz baz danych. Podkreślono także, że następują zmiany w preferencjach konsumentów, którzy coraz chętniej korzystają z platform cyfrowych ze względu na wygodę i łatwość dostępu.

Kolejnym aspektem poruszonym w pracach naukowych jest wpływ gospodarki platformowej na tradycyjne przedsiębiorstwa. Platformy cyfrowe mocno zakłócają istniejące już modele biznesowe, powodując zmiany w dystrybucji, relacjach z klientami i konkurencyjności [23]. Przykładem takich zmian może być aplikacja Free Now, która bardzo mocno wypiera tradycyjne taksówki, albo aplikacje, poprzez które można zamawiać jedzenie, Uber Eats zmniejszając przepływy kapitału w mniejszych sklepach. Artykuł sugeruje, aby przedsiębiorstwa tworzyły własne aplikacje, dążyły do współpracy z nimi lub dostosować swój model biznesowy do aktualnych warunków.

Rewolucja przemysłowa 4.0 pozwoli na budowę nowego i lepszego stanowiska pracy w centrum, którego znajdować się będzie pracownik. Badania firmy Boston Consulting Group wskazują na pozytywny efekt koncepcji Przemysłu 4.0. Opierać się będzie na rosnącym zapotrzebowaniu na wykwalifikowaną siłę roboczą w przemyśle maszynowym i automotive. Firma przewiduje także, że wiele czynności wykonywanych manualnie zostanie zastąpione przez autonomiczne maszyny i programy. Zastosowanie okularów z funkcją wyświetlania danych lub tabletów sprawi, że nawet mało wykwalifikowany pracownik będzie mógł wykonywać prace wymagające wysokich kwalifikacji. Wszystkie badania oraz prognozy pokazują, że coraz bardziej postępuje informatyzacja oraz koncentracja na zaawansowanych technologiach [5]. Wiąże się to ze zmianami w wymogach dotyczących kwalifikacji pracowników. Postępująca informatyzacja może spowodować, że procesy staną się bardziej wymagające i złożone. Według J. Bendkowskiego dominuje pogląd, że informatyzacja i automatyzacja gospodarki będzie skutkowałą koniecznością podwyższenia kwalifikacji. W takim przypadku na znaczeniu zyskuje wiedza procesowa w połączeniu z umiejętnościami wykorzystania dostępnych informacji. Wśród kompetencji znajdują się również elastyczność wykonywania działań, uczenie się w miejscu pracy, zdolność rozwiązywania kompleksowych problemów, a także zdolność do współpracy z innymi. Rozwój kwalifikacji i kompetencji wymaga stworzenia organizacji pracy wspierającej horyzontalne uczenie się w oparciu o nowe interaktywne formy. Pozytywami koncepcji Przemysłu 4.0 należy zaliczyć możliwość rozwoju kompetencji jednostkowych, zwiększenie autonomii działania pracowników oraz autonomiczną sieć współpracy [1].

W pracy [16] skupiono uwagę na szansach i zagrożeniach dla małych i średnich przedsiębiorstw, gdzie to autor wskazuje na aspekty technologiczne takie jak koszty wdrożenia technologii, brak wiedzy i umiejętności oraz ograniczenia związane z infrastrukturą technologiczną. Z powodu Czwartej Rewolucji Przemysłowej należy także pamiętać o restrukturyzacji przedsiębiorstwa, zmianie kultury organizacyjnej firmy, a także o integracji procesów i systemów. Zmiany mają potencjał na zwiększenie efektywności i wydajności produkcji poprzez automatyzację, na dostosowanie się pod aktualnie panujące trendy. Ważną rolę spełnia współpraca pomiędzy przedsiębiorstwami, budowanie ekosystemów, w których będą wymieniane informacje, zasoby i innowacyjne rozwiązania. Przemysł 4.0 jest nieunikniony. Jak każdy typ przemysłu lub biznesu posiada swoje wady i zalety, szanse

i zagrożenia. Autor zachęca jednak do podejmowania działań mających na celu przyspieszenie adaptacji do panujących aktualnie trendów i technologii, inwestowanie w rozwój umiejętności pracowników, budowanie elastyczności i zdolności adaptacji.

Lorenzmeier skupia się na kluczowych elementach i aspektach, które należy uwzględnić przy dostosowywaniu lub zmianie swoich systemów zarządzania [16]. Autorzy proponują zintegrowany framework adaptacji obejmujący 4 kluczowe aspekty, którymi są infrastruktura IT (AI, systemy informatyczne, IoT i cyfrowe przetwarzanie danych), zarządzanie wiedzą (gromadzenie, analiza i wykorzystywanie danych), organizacja pracy (przekształcania procesów produkcyjnych, integracja procesów, elastyczność i personalizacja produkcji) oraz regulacje i standardy, które będą wspierać rozwój Przemysłu 4.0 oraz zapewnią bezpieczeństwo danych. Ważnym aspektem jest także współpraca międzynarodowa i partnerska na poziomie zewnętrznym i wewnętrznym. Autor podkreśla, że ważna jest elastyczność, adaptacja i ciągłe doskonalenie w celu wykorzystania pełnego potencjału Przemysłu 4.0.

ZMIANA STRUKTURY OBOWIĄZKÓW PRACOWNIKÓW I WYMAGAŃ PRACODAWCÓW. ZMIANA MOŻLIWOŚCI ROZWOJU PRACOWNIKÓW W WARUNKACH CZWARTEJ REWOLUCJI PRZEMYSŁOWEJ

Wszystkie rewolucje przemysłowe były swego rodzaju kamieniami milowymi dla przemysłu. Każda rewolucja wносиła coś nowego bądź usprawniała już aktualna rzecz. Aktualna rewolucja przemysłowa zautomatyzowała linie produkcyjne, przez co zmniejszyło się zapotrzebowanie na niewykwalifikowaną siłę roboczą. Z drugiej strony skomplikowane i zautomatyzowane linie produkcyjne zmusiły przedsiębiorstwa do szukania specjalistów właśnie z tych dziedzin. W 2016 roku w Polsce funkcjonowało 15% przedsiębiorstw produkcyjnych całkowicie zautomatyzowanych i 76% deklarujących częściową automatyzację. Jedynie 6% polskich przedsiębiorstw produkcyjnych już rozpoczęło implementację technologii i metod charakterystycznych dla Przemysłu 4.0 [10]. Według badań najbardziej narażonymi zawodami na zastąpienie przez systemy i technologie są głównie stanowiska osób, które wykonują proste zadania administracyjne, a w przypadku przedsiębiorstw produkcyjnych, stanowiska osób wykonywujących proste czynności przy procesie produkcyjnym. Zawodami najmniej podatnymi na zastąpienie w najbliższej przyszłości są kierownicy projektów, menedżerowie operacyjni, inżynierowie, lekarze i członkowie zarządów firm. Największym problemem cyfryzacji przedsiębiorstw okazuje się właśnie brak wykwalifikowanej kadry, która mogłaby wspomóc automatyzację linii produkcyjnych. Zawodami, które aktualnie są pożądane na rynku pracy jest: mechatronik, automatyk, informatyk [7]. Wszystkie tradycyjne kompetencje będą zastępowane przez maszyny, które będą wymagały otwartej na zmiany, chętnej do nabywania nowych umiejętności kadry pracowniczej. W związku z cyfryzacją przemysłu należy się liczyć ze zmianami strukturalnymi w całej gospodarce. Dużym wpływem na zmiany w zasobach ludzkich, ekonomii i organizacji procesów wytwórczych będą miały aspekty zautomatyzowane i zrobotyzowane, systemy wizyjne i laserowe umożliwiające dostosowanie urządzenia. Digitalizacja fabryk, automatyzacja procesów produkcyjnych dają możliwość pracy zdalnej także osobom niepełnosprawnym, specjalistom, którzy są oddaleni od miejsca zatrudnienia. Generuje to, także dodatkowe problemy związane z pracą na odległość dla przedsiębiorstwa. Jednym z nich może być podatność na ataki hackerskie co jest związane z pracą on-line, monitorowaniem realizowanych projektów. Hakerzy włamując się do naszych urządzeń mogą

wykradać poufne dane firmy, ale także włamując się do konkretnych urzędów mogą przejmować nad nimi kontrole. Przejmując kontrolę nad urządzeniami mogą doprowadzić do zniszczenia mienia, ale i materiałów. Bezpieczeństwo podczas pracy powinno zostać dalej na pierwszym miejscu, dlatego firmy powinny zadbać o własne cyberbezpieczeństwo [2].

Grupa robocza Platformy Przemysłu 4.0, która została powołana w jednym z europejskich miast w 2012 roku i koordynowana przez zespół Niemieckiej Akademii Nauk Technicznych miała na celu opracowanie strategii i rekomendacji do wdrażania programu Industrie 4.0. Grupa wskazała, że do sukcesu potrzebne jest działanie w 8 kluczowych obszarach [11, 12]:

- Standaryzacja i architektura referencyjna,
- Zarządzanie złożonymi systemami,
- Kompleksowa infrastruktura szerokopasmowa dla przemysłu,
- Bezpieczeństwo ludzi i danych,
- Organizacja i projektowanie pracy,
- Szkolenia i ciągły rozwój kompetencji specjalistycznych,
- Ramy prawne,
- Efektywność wykorzystania zasobów.

Analizując powyższe strategie i rekomendacje do wdrażania programu Industrie 4.0 możemy zauważyć, że aż 3 z nich dotyczą pracowników przedsiębiorstw [11, 24, 25]. W szczególności dotyczy to menadżerów, których ciężko zastąpić sztuczną inteligencją. Kluczowymi zadaniami menadżerów są organizacja i projektowanie pracy, tworzenie programów szkoleniowych dla kadry pracowniczej [7].

Idące za postępem technicznym i technologicznym przedsiębiorstwa stawiają nowe wyzwania dla menadżerów. Głównymi wymaganiami pracodawców i pożądanymi kompetencjami w kontekście Przemysłu 4.0 jest [9]:

- Międzyoperacyjność,
- Wirtualizacja,
- Decentralizacja,
- Zdolność decyzji w czasie rzeczywistym,
- Orientacja na usługi,
- Modułowość.

Menedżerowie przedsiębiorstw odgrywają znaczącą rolę w rozwoju przedsiębiorstwa, ale też kadry pracowniczej. Często to właśnie menedżerowie dają impuls do zmian w przedsiębiorstwie. To właśnie dzięki odpowiedniemu przygotowaniu i doświadczeniu oraz otwarciu na zmiany, możliwe jest szybkie generowanie efektów pochodzących z wdrażania nowych technologii. Do zdolności, które muszą nabyć menedżerowie, aby stawić czoła wymaganiom przedsiębiorstwa zaliczamy [7]:

- Zdolności percepcyjne,
- Zdolności organizacyjne,
- Duża komunikatywność,
- Zdolności intelektualne,
- Zdolności motywacyjne,
- Zdolności decyzyjne,
- Zdolności prognostyczne,
- Zdolności intuicyjne.

Jak możemy zauważyć menedżerowie Przemysłu 4.0 powinni posiadać szereg różnych zdolności, które pomogą im wdrażać Przemysł 4.0 w swoich organizacjach. Menedżerowie z takim wachlarzem

zdolności pomogą przedsiębiorstwu w dążeniu do sukcesu i generowania przez organizację wymiernych korzyści finansowych.

KOMPETENCJE PRACOWNIKÓW – ZNACZENIE DLA ORGANIZACJI I PODSTAWOWA KLASYFIKACJA

Na przestrzeni zmieniającego się czasu postrzegano różnorodnie pracowników danych rewolucji przemysłowych. Zmieniające się technologie wymuszały do przekwalifikowania swoich umiejętności, dostosowania do nowych modeli pracy czy też organizacji. Obserwowana dynamika wprowadzanych zmian jest konsekwencją pojawiania się zupełnie nowych obszarów technologicznych, które wymagają rozwoju nowych umiejętności [24]. W poniższej tabeli przedstawiono charakterystykę pracowników w poszczególnych rewolucjach przemysłowych.

Tabela 1. Pracownicy od 2.0 do 4.0

Charakterystyka	Druza rewolucja przemysłowa Przemysł 2.0	Trzecia rewolucja przemysłowa Przemysł 3.0	Czwarta rewolucja przemysłowa Przemysł 4.0
Kogo zatrudniamy?	Posłusznych	Mądrych	Kreatywnych
Kto jest zaangażowany w codzienne podejmowanie decyzji?	Szef	Zespół	Algorytm
Co powinniśmy zrobić?	Dokładnie to co ci powiemy...	Wykonywać zadania...	Rozwiązywać problemy i ulepszać algorytmy
Co dostajemy w zamian?	Stałe kary i nagrody (takie same dla wszystkich)	Spełnianie indywidualnych potrzeb	Ciekawe wyzwania

Źródło: Więcek-Janka E., Warner-Lewandowska K., Radecki A., *Expert's Model of Managerial Competencies for Engineer 4.0 (EMMCE), Management and Production Engineering Review, Poznań 2023.*

Przez nieustannie zmieniającą się codzienność wiedza, umiejętności, a także kompetencje jakie powinni posiadać pracownicy w dobie czwartej rewolucji przemysłowej, Agencja Wykonawcza ds. Małych i Średnich Przedsiębiorstw będąca częścią Komisji Europejskiej opracowała dokument *Umiejętności dla przemysłu, Wytyczne dotyczące programu nauczania 4.0: Przyszłościowe kształcenie i szkolenie dla przemysłu wytwórczego w Europie*. Dzięki owemu dokumentowi wykonocypowano jak sprostać wyzwaniom Przemysłu 4.0 dla pracowników i pracodawców przez omówienie Wytycznych Programowych 4.0. Dokument ten przedstawia profil docelowy dla Inżynierów 4.0, który składa się z 5 elementów [4]:

- Podstawowa wiedza specjalistyczna z dziedziny inżynierii,
- Umiejętności metodologiczne, zwłaszcza myślenie procesowe i systemowe,
- Wiedza multidyscyplinarna, taka jak inżynieria mechaniczna, inżynieria elektroniczna i elektryczna, informatyka i nauki o danych oraz podstawowa wiedza z zakresu inżynierii mechanicznej, elektrycznej i elektronicznej i informatyki na potrzeby nauk o informatyce,
- Wiedza kontekstowa, tj. znajomość uwarunkowań, wymagań i perspektyw w innych dziedzinach i dyscyplinach

- Umiejętności interdyscyplinarne, w szczególności umiejętność pracy w zespole, samodzielność, motywacja, umiejętności rozwiązywania problemów, umiejętność uczenia się i adaptacji, otwartość i umiejętności komunikacyjnych.

Kluczowe kompetencje ulegają zmianie i muszą ewoluować tak, aby organizacja wypracowała właściwe odpowiedzi strategiczne na przeobrażenia warunków funkcjonowania i rozwoju. Dynamiczne ujęcie kompetencji przedsiębiorstwa wyróżnia cztery poziomy siły konkurencyjnej [17]:

- Wyróżniający (konkurencja nie potrafi łatwo skopiować danej kompetencji i dzięki temu daje ona przewagę na rynku, pozwala na osiąganie ponadprzeciętnej rentowności),
- Kluczowy (kompetencja jest powszechna wśród bezpośrednich konkurentów, ale niezbędna do utrzymania się w danym sektorze przemysłu i związana zazwyczaj z odpowiednimi zdolnościami, procesami, umiejętnościami, zachowaniami),
- Rutynowy (kompetencja jest właściwa dla większości przedsiębiorstw i związana z działaniami, które muszą być wykonane, np. sporządzenie listy płac),
- Zlecenie działalności, których wykonanie jest nieopłacalne.

Przewaga konkurencyjna	Konieczność konkurencyjna	Konieczność wykonania	Działania niechciane
Co wyróżnia nas od konkurentów?	Co musimy posiadać, aby móc konkurować?	Jakie rutynowe działania musimy sami wykonywać lub zakontraktować?	Jakie działania należy zakontraktować?
Wyróżniająca kompetencja	Kluczowa kompetencja	Kompetencja rutynowa	Zlecenie prac na zewnątrz

Rys. 1. Dynamiczne ujęcie kompetencji

Źródło: Łupicka A., Grzybowska K., *Kompetencje menadżerów w łańcuchach dostaw dla Przemysłu 4.0, Gospodarka Magazynowa i Logistyka, Warszawa 2017.*

Czwarta rewolucja przemysłowa niesie za sobą liczne wyzwania dla inżynierów poza wspomnianym wcześniej postępem technologicznym i cyberbezpieczeństwem, które jest w kluczowe w obliczu globalnego dostępu do danych i integracji urządzeń w ramach IIoT (Przemysłowego Internetu Rzeczy) [2]. Wyzwaniem dla przedsiębiorstw, które chcą się automatyzować, będzie również wykształcenie kadry inżynierskiej oraz budowania programów rozwoju kadry inżynierskiej. W obecnej sytuacji, zaledwie 1/3 polskich firm buduje programy rozwoju dla kadry inżynierskiej, a 55% przedsiębiorstw nie wspiera procesu poszukiwania szkoleń dla inżynierów [10].

Jarosław Gracel twierdzi, że potrzeba rozwoju szerokiego zakresu nowych „twardych umiejętności” i bezprecedensowa liczba zmian w procesie prowadzenia produkcji oznacza, że „miękkie” umiejętności nabrają wagi większej niż kiedykolwiek [8]. Obserwatorium Językowe Uniwersytetu Warszawskiego definiuje podział na:

- Kompetencje miękkie, które oddziałują za umiejętności psychospołeczne, czyli takie jak komunikatywność, kreatywność, dynamizm działania czy też elastyczność.
- Kompetencje twarde mają odpowiadać za wiedzę oraz umiejętności potrzebne do wykonania określonej pracy, może być to zarówno znajomość języków obcych, znajomość obsługi komputera [14,15].

Cechy osobowościowe w dużej mierze określają różnicę między Inżynierem 3.0 a Inżynierem 4.0. Inżynier 3.0 to logiczna, analityczna i systematyczna osoba, która działa według procedur. Ma wrodzoną potrzebę poprawnego wykonywania zadań i koncentrowania się raczej na zagadnieniach, niż na

ludziach. Potrafi współpracować z ludźmi, ale tylko w zespole, który zna. Nie lubi także zmian i nowych sytuacji. Pracuje od początku do końca w sposób spokojny, rozważny oraz posiada umiejętności doprowadzania spraw do końca. Jest bardzo uprzejmy, uważny, zorganizowany, przewidywalny i metodyczny. Z kolei Inżynier 4.0 to osoba otwarta i aktywna, która lubi różnorodność, zarówno w zakresie kontaktów z ludźmi, jak i wykonywanych zadań. Ma zdolności komunikowania innym bardzo technicznych/szczegółowych informacji z entuzjazmem i optymizmem, czym wzbudza u słuchaczy pozytywne odczucia odnośnie do idei, którymi się dzieli. Przywiązuje także dużą wagę i dąży do perfekcji. Zapewnia wysoką jakość wykonywanej pracy i przestrzeganie norm, stosuje się do zasad i poleceń [21]. Inżynier 4.0 zaopatrzone w kluczowe kompetencje techniczne ma świadomość wartości umiejętności miękkich i tak bez obaw może wychodzić na przekór wyzwaniom jakie stwarza era Przemysłu 4.0.

PODSUMOWANIE

Dynamika otoczenia przedsiębiorstwa oraz nieustanny rozwój pracowników jest efektem nieustannych zmian, które dokonują się w przedsiębiorstwach. Do najważniejszych kompetencji polskich przedsiębiorstw na podstawie literatury naukowej zaliczono m.in. umiejętność zarządzania różnorodnością pokoleniową [18] oraz zarządzanie kompetencjami inżynierskimi – Inżynier 4.0.

Koncentrując uwagę na pożądanym kompetencjach na szczególną uwagę zasługuje podkreślenie podziału wyróżnionego przez Parlament Europejski i Radę Europy w 2006 roku na: kompetencje matematyczne, naukowo-techniczne, informatyczne, społeczne i obywatelskie, inicjatywność, przedsiębiorczość oraz umiejętności uczenia się. Od 2006 roku podział kompetencji nieustannie ewoluuje i należy dodać takie kompetencje jak współpraca w zespołach wirtualnych, praca online [19, 22].

Konkludując podkreślić należy, że wykaz poświadczonych u pracowników kompetencji ciągle się zmienia w zależności od branży, wieku pracowników, ich doświadczenia zawodowego, a także dynamiki rozwoju przedsiębiorstwa, w którym zostali zatrudnieni.

Kompetencje, które doceniają pracodawcy to głównie: logiczne myślenie, chęć uczenia się, otwartość na internacjonalizację i poszerzanie kontaktów biznesowych, kompetencje językowe, kompetencje cyfrowe, efektywna i skuteczna komunikacja, praca w zespole, umiejętność adaptacji do trudnych warunków pracy pod względem napięcia emocjonalnego.

Kolejny podział kompetencji Inżyniera 4.0 powinien skupić się na ścisłych umiejętnościach technicznych: automatyzacja i robotyzacja [20], programowanie robotów, programowanie maszyn sterowanych numerycznie, kompetencje w zakresie obsługi systemów CAD, CAM CAE.

Podsumowując, należy stwierdzić, że pojawia się interesujące zagadnienie poznawcze, które może świadczyć o tym, że wraz z poziomem wykształcenia i posiadanymi kompetencjami technicznymi kadry pracowniczej, która często mimo wieku pracowników jest w stanie utrzymywać tempa zmianom technologicznym, jest ściśle powiązana ze stabilnością i ciągłością utrzymania przedsiębiorstwa w danej branży produkcyjnej w dobie galopującego Przemysłu 4.0.

LITERATURA

- [1] Bendkowski J. (2017), *Zmiany w pracy produkcyjnej w perspektywie koncepcji Przemysł 4.0*, Politechnika Śląska.

- [2] Bielawski K., Chmieliński M., Pabich M. (2017), *Zagrożenia bezpieczeństwa informacji oraz rozwiązania IT w zakresie wsparcia produkcji i logistyki w przedsiębiorstwie*, Problems Mechatronics Armament, Aviation, Safety Engineering, 8, 4 (30), s. 151-166.
- [3] Bosman L., Hartman N., Sutherland J. (2020), *How manufacturing firm characteristics can influence decision making for investing in Industry 4.0 technologies*, Journal of Manufacturing Technology Management, Vol. 31, Nr. 5, s. 1117-1114.
- [4] Dervojeda K., Koonstra A., Andresen M. (2019), *Skills for industry curriculum guidelines 4.0 Futures-proof education and training for manufacturing in Europe*, Publication Office.
- [5] Enke, J. i in. (2018), *Industrie 4.0 — Competencies for a modern production system. A curriculum for Learning Factories*, Procedia Manufacturing, 23, s. 267-272.
- [6] Glas, A. H., Kleemann, F. C. (2016), *The Impact of Industry 4.0 on Procurement and Supply Management: A Conceptual and Qualitative Analysis*, International Journal of Business and Management Invention, 5(6), s. 55-66.
- [7] Gracel J., Makowiec M. (2017), *Kluczowe kompetencje menedżera w dobie czwartej rewolucji przemysłowej – Przemysłu 4.0*, Acta Universitatis Nicolai Copernici. Zarządzanie, Vol. 44(4), s. 105-129.
- [8] Gracel J., Stoch M., Biegańska A. (2017), *Inżynierowie Przemysłu 4.0 (nie)gotowi do zmian?*, ASTOR Whitepaper, Kraków.
- [9] Hermann M., Pentek T., Otto B. (2015), *Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: Working Paper A Literature Review*, Technische Universität Dortmund Fakultät Maschinenbau.
- [10] Iwański T., Gracel J. (2016), *Przemysł 4.0. Rewolucja już tu jest. Co o niej wiesz?*, ASTOR Whitepaper, Kraków.
- [11] Kagermann, H., Wahlster, W., Helbig, J. (2013a), *Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0*. Frankfurt: Acatech-National Academy of Science and Engineering.
- [12] Kagermann, H., Wahlster, W., Helbig, J. (2013b), *Securing the future of German manufacturing industry. Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0*, Frankfurt: Acatech-National Academy of Science and Engineering.
- [13] Kenney M., Zysman J. (2016), *The Rise of the Platform Economy*, Issues in Science and Technology, Vol. 32(3), s. 61-69.
- [14] Kiełtyka L. (2016), *Rola menedżera we współczesnych organizacjach*, Przegląd Organizacji, Nr 8.
- [15] Kożuch B., Sienkiewicz-Małyjurek K. (2013), *Kompetencje menedżerskie i czynniki sukcesu w zarządzaniu projektami*, Przedsiębiorczość i Zarządzanie, t. XIV, z. 11, cz. I., Łódź.
- [16] Lorenzmeier S. (2018), *Przemysł 4.0: wyzwania i szanse dla małych i średnich przedsiębiorstw*, Journal of Small Business Management.
- [17] Łupicka A., Grzybowska K. (2017), *Kompetencje menadżerów w łańcuchach dostaw dla Przemysłu 4.0*, Gospodarka Magazynowa i Logistyka, Warszawa.
- [18] Moczydłowska J. M. (2021), *Kluczowe kompetencje zmieniających się organizacji – nowe wyzwania na rynku pracy*, Marketing i Rynek, t. XXVIII, Nr 1.
- [19] NCB. *Polskie wytyczne kompetencji IPMA. Wersja 3.0. IPMA Polska* (red.) Dałkowski B., Staśto L., Zalewski M., International Project Management Association Polska, Warszawa 2009.
- [20] Olszewski M. (2016), *Mechatronizacja produktu i produkcji*, Pomiary, Automatyka, Robotyka, Nr 3.

- [21] Piątek Z., *Jak rozwijać kompetencje Inżyniera 4.0?*, [Dokument elektroniczny] <https://przemysl-40.pl> [09.06.2023].
- [22] Rakowska A., Sitko-Lutek A. (2016), *Kluczowe kompetencje pracowników przyszłości w opinii ekspertów międzynarodowych – wyniki badań*, Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Nr 429.
- [23] Śledziwska K., Włoch R. (2020), *Gospodarka Cyfrowa. Jak nowe technologie zmieniają świat*, Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.
- [24] Więcek-Janka E., Werner-Lewandowska K., Radecki A. (2023), *Expert's Model of Managerial Competencies for Engineer 4.0 (EMMCE)*, Management and Production Engineering Review, Poznań.
- [25] World Economic Forum (2015), *The Future of Jobs: Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution*.
- [26] Woźniak J. (2021), *Pożądane kompetencje u młodych pracowników zatrudnionych w polskich przedsiębiorstwach. Perspektywa pandemii COVID-19*, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa.

Metoda Hellwiga w ocenie zjawiska komputeryzacji i rozwoju cyfrowego UE

Summary

The purpose of this paper is to present the Hellwig method in assessing the position of European Union countries on the phenomenon of computerization and digital development. Based on the data of the European Statistical Office (Eurostat) from 2013 – 2019, an analysis of the studied phenomenon was carried out using a program operating on the classical Hellwig method. It was noted that there are clear differences between member states changing over the years. The multi-criteria method used was an effective and convenient tool for studying various areas of the economy of EU countries.

Key words – *Hellwig method, Eurostat, Computerization, Digital development*

1. Wstęp

Badając różne obszary gospodarki, wykorzystuje się liczne metody opierające się na metodach statystycznych pozwalających na otrzymanie jednoznacznego, interpretowalnego uplasowania wybranych obiektów, takich jak firmy, rozwiązania technologiczne czy też państwa będące częścią określonej wspólnoty. Jednym z takich obszarów, który stanowi istotny element rozwoju gospodarki światowej, jest sektor ICT (*Information and Communication Technologies*) związany z wprowadzaniem nowych technologii w celu przechowywania danych w formie cyfrowej oraz unowocześniania sfer życia człowieka. Istota tego obszaru wynika z tempa, w jakim postępuje zjawisko komputeryzacji (*computerization*) i rozwoju cyfrowego (ang. *digital development*), co też zostało dostrzeżone przez Komisję Europejską oraz wyrażone w postaci komunikatu „Cyfrowy kompas na 2030 r.: europejska droga w cyfrowej dekadzie” [1]. Podkreślono w nim potrzebę dokonania zmian w infrastrukturze cyfrowej Unii Europejskiej (UE) w czterech głównych kierunkach, czyli potencjale cyfrowym w zakresie infrastruktury, w zakresie edukacji i umiejętności, transformacji cyfrowej przedsiębiorstw oraz cyfryzacji usług publicznych.

Warte uwagi jest zróżnicowanie państw członkowskich UE pod względem wyróżnionych czynników, uwidocznione również w rezultacie pojawienia się pandemii wirusa COVID-19. Wymuszona potrzeba zwiększenia użycia infrastruktury internetowej oraz uzyskania kompetencji niezbędnych do wykonywania swoich obowiązków, bądź też codziennych czynności w formie zdalnej wskazała na potrzebę monitorowania rozwoju krajów UE w omawianym zakresie. Taka analiza pozwala zauważyć dysproporcje między każdym z członków tej wspólnoty, a także wskazuje, którzy z nich wymagają wsparcia w celu zniwelowania występujących różnic.

Celem pracy jest zastosowanie klasycznej metody Hellwiga do oceny państw UE w kwestii zjawiska komputeryzacji i rozwoju cyfrowego na przestrzeni lat 2015 – 2019 w oparciu o dane Europejskiego Urzędu Statystycznego (Eurostat) [2]. Metoda porządkowania liniowego opracowana przez polskiego ekonomistę prof. Zdzisława Hellwiga [3], wykorzystująca wzorzec rozwoju do wyznaczenia odległości między nim a analizowanymi obiektami, umożliwia utworzenie rankingu państw UE pod względem badanego zjawiska. W celu zobrazowania klasyfikacji krajów członkowskich, utworzono aplikację

¹ Politechnika Białostocka, Math4You

generującą rankingi krajów członkowskich w poszczególnych latach. Zastosowanie tak napisanego programu może także być niezbędnym zasobem informacji dla władz, które podejmują decyzje o dofinansowaniu wybranych państw. Przedstawiona metoda ma szerokie zastosowanie w wielu obszarach życia, m.in. przy badaniu stanu i ochrony środowiska [4], ocenie uczelni wyższych [5] czy też poziomie edukacji obywateli UE [6].

Rozdział składa się z pięciu zasadniczych punktów. W punkcie drugim opisano zjawisko komputeryzacji i rozwoju cyfrowego na podstawie zaleceń podanych przez Komisję Europejską (KE). W punkcie trzecim zaprezentowano metodologię badań, w której omówiono algorytm metody Hellwiga. Punkt czwarty obejmuje opis danych poddanych analizie, zaś piąty zawiera informacje o programie tworzącym rankingi badanych państw i wyniki otrzymane po jego zastosowaniu. Pracę kończy podsumowanie uzyskanych rezultatów.

2. Zjawisko komputeryzacji i rozwoju cyfrowego zgodnie z zaleceniami Komisji Europejskiej

Pojęcie komputeryzacji oznacza w głównej mierze proces wprowadzania komputerów i związanego z nimi oprogramowania do licznych przedsiębiorstw oraz jednostek państwowych, prowadzący do zastąpienia dotychczas wykorzystywanych rozwiązań, takich jak papierowe nośniki, ich cyfrowymi odpowiednikami, wygodniejszymi do przetwarzania w czasie rzeczywistym i gromadzenia w jednym miejscu. Obecnie, zjawisko to stanowi ważny element funkcjonowania społeczeństwa, które staje się coraz bardziej zależne od technologii, na co ma też wpływ skala cyfryzacji wielu obszarów życia. Wśród nich można wyróżnić m.in. zakupy e-commerce, pracę zdalną czy korzystanie z serwisów streamingowych.

Dopasowanie się do standardów upowszechnionych w krajach wysoko rozwiniętych, takich jak USA, Korea Południowa czy Japonia, nie jest proste do zrealizowania na terenie Unii Europejskiej. Wynika to z faktu, iż zapotrzebowanie na specjalistów z branży ICT jest znacznie większe niż liczba osób wykształconych w tej dziedzinie. Ponadto, poziom dostępu do Internetu wciąż pozostaje nierówny nie tylko względem państw, ale też terenów miejskich i wiejskich, co zostało też dostrzeżone przez KE w komunikacie opublikowanym w 2021 r.

Wytyczne przekazane przez Komisję Europejską zobowiązują państwa członkowskie do wprowadzenia zmian w procesie unowocześniania infrastruktury sieciowej, zwiększenia liczby osób ze specjalizacją w sektorze ICT oraz uniezależnienia się całej wspólnoty od rozwiązań technologicznych krajów pochodzących spoza UE. Według przyjętej strategii, przepaść uwidoczniła w efekcie pandemii COVID-19 ma zostać zniwelowana do roku 2030 r. do takiego stopnia, aby cztery główne filary, czyli potencjał cyfrowy w zakresie infrastruktury oraz edukacji i umiejętności, a także transformacja cyfrowa przedsiębiorstw i usług publicznych, zostały zmodernizowane i pozwalały na pełną cyfrową suwerenność.

Cele postawione przez KE sygnalizują potrzebę monitorowania zjawiska komputeryzacji i cyfryzacji na terenie UE. Wynika to z konieczności zaspokojenia poziomu ambicji w obszarach wyróżnionych w komunikacie, co wymaga regularnej analizy tempa transformacji cyfrowej i realizacji założonej wizji w pełni niezależnej wspólnoty.

3. Metodologia badań

Pośród dostępnych metod wielowymiarowej analizy porównawczej, umożliwiającej ocenę obiektów i zjawisk złożonych, czyli takich, na których stan i zachowanie wpływa jednocześnie wiele cech

(zmiennych) i czynników [4], można wyróżnić propozycję przedstawioną przez Hellwiga w 1968 r. jako pierwszą metodę porządkowania liniowego.

ETAP 1:
<p>Określenie skończonego zbioru obiektów $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ związanych z badanym zjawiskiem oraz zbioru zmiennych (wskaźników) charakteryzujących to zjawisko $C = \{C_1, C_2, \dots, C_m\}$</p>
ETAP 2:
<p>Określenie wektora ewaluacji dla każdego obiektu</p> $A_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}]$ <p>gdzie x_{ij} jest wartością j-tego wskaźnika dla i-tego obiektu, $i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m$</p>
ETAP 3:
<p>Normalizacja zmiennych (standaryzacja)</p> $z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{s_j}$ <p>gdzie \bar{x}_j oznacza średnią arytmetyczną obserwacji j-tej zmiennej, s_j – odchylenie standardowe obserwacji j-tej zmiennej</p>
ETAP 4:
<p>Wyznaczenie współrzędnych wzorca rozwoju</p> $z_{0j} = \begin{cases} \max_i \{z_{ij}\} & \text{dla stymulant} \\ \min_i \{z_{ij}\} & \text{dla destymulant} \end{cases}$
ETAP 5:
<p>Wyznaczenie odległości obiektów od wzorca</p> $d_{i0} = \sqrt{\sum_{j=1}^m (z_{ij} - z_{0j})^2}$
ETAP 6:
<p>Obliczenie wartości zmiennej syntetycznej s_i</p> $s_i = 1 - \frac{d_{i0}}{d_0}, \text{ gdzie } d_0 = \bar{d}_0 + 2S(d_0),$ $\bar{d}_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_{i0}, S(d_0) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (d_{i0} - \bar{d}_0)^2}$
ETAP 7:
<p>Budowanie rankingu obiektów w oparciu o zmienną syntetyczną</p> $s_i \in [0; 1]^5$ <p>$\max_i \{s_i\}$ – najlepszy obiekt, $\min_i \{s_i\}$ – najgorszy obiekt</p>

Rys. 1. Algorytm klasycznej metody Hellwiga,
 opracowanie własne na podstawie [3, 4, 6]

Powstał również rozszerzony wariant tego algorytmu [6], w którym wzorec (ideał) jest zastępowany indywidualnymi wzorcami dla każdego z analizowanych obiektów. Na potrzeby niniejszego artykułu ograniczono się jednak do podstawowej, oryginalnej metody Hellwiga w celu uproszczenia obliczeń i implementacji algorytmu w wybranym języku programowania.

Procedura porządkowania liniowego oparta jest na wyznaczaniu zmiennej syntetycznej, której wartości są obliczane na podstawie zebranych zmiennych diagnostycznych opisujących badane obiekty. Podobny proces ma miejsce również przy wykorzystaniu metod wielokryterialnych, takich jak TOPSIS [7], PROMETHEE [8] czy też SAW [9], gdzie otrzymana wartość miary syntetycznej determinuje pozycję obiektu w tworzonym rankingu. Jest to tzw. zmienna ukryta, gdyż jej wartości nie są obserwowane bezpośrednio i są wyliczane na podstawie wybranej funkcji agregującej.

Wyznaczenie zmiennej syntetycznej wymaga przejścia przez poszczególne etapy postępowania, wśród których wyróżnia się określenie charakteru zmiennych (stymulanty, destymulanty i nominanty), ustalenie wag zmiennych oraz ich normalizacja, wyznaczenie współrzędnych wzorca i utworzenie końcowego rankingu analizowanych obiektów [3, 4]. W niniejszej pracy obiekty można utożsamiać z państwami członkowskimi UE, zaś zmienne – ze wskaźnikami opisującymi obszar cyfrowej gospodarki i społeczeństwa (*digital economy and society*) pochodzącymi z zasobów Eurostatu [2]. Kolejne etapy algorytmu klasycznej metody Hellwiga zostały zaprezentowane na rysunku 1.

4. Charakterystyka danych

Do realizacji postawionego w rozdziale celu, wykorzystano dane dostępne w bazie Europejskiego Urzędu Statystycznego (Eurostatu) zebrane w latach 2015 – 2019 [2], na podstawie których oceniono poziom zjawiska komputeryzacji i rozwoju cyfrowego 27 krajów UE. W ramach badania przyjęto cztery wskaźniki z obszaru cyfrowej gospodarki i społeczeństwa (*digital economy and society*), wybrane ze względu na wytyczne KE na rok 2030 i opisane w tabeli 1.

Tabela 1. Metryczka wskaźników opisujących obszar komputeryzacji, opracowanie własne na podstawie [2]

Nazwa wskaźnika w języku angielskim	Nazwa wskaźnika w języku polskim	Przyjęte oznaczenie	Jednostka
Broadband internet coverage by speed (over 100 Mb/s)	Występowanie łącza szerokopasmowego pod względem prędkości (powyżej 100 Mb/s) [w gospodarstwach domowych]	C_1	% wszystkich gospodarstw domowych
Employed ICT specialists – total	Zatrudnienie w sektorze ICT ogółem	C_2	% wszystkich osób zatrudnionych
E-government activities of individuals via websites	E-urzędowe czynności wykonane przez osoby fizyczne poprzez strony internetowe	C_3	% osób wykonywujących te czynności
Internet purchases by individuals	Zakupy internetowe osób fizycznych	C_4	% osób kupujących przez Internet

W analizie wstępnej dokonując doboru zmiennych zastosowano kryteria statystyczne w oparciu o współczynniki zmienności i współczynniki korelacji [10, 11], które pozwoliły na przyjęcie do dalszych badań cztery wybrane wskaźniki.

5. Implementacja algorytmu oraz wyniki badań

Implementacja algorytmu została wykonana w języku Python z wykorzystaniem narzędzia Jupyter Notebook, biblioteki Pandas umożliwiającej przetwarzanie i analizę danych. Ponadto wykorzystano bibliotekę do wizualizacji danych Plotly. Kod zaprezentowano w załączniku 1.

Pierwszym etapem analizy było wczytanie plików pobranych z bazy Europejskiego Urzędu Statystycznego (Eurostatu) [2] i grupowanie danych dotyczących analizowanych wskaźników ze względu na rok, z którego pochodziły. Następnie, dla każdego roku zostały obliczone średnie i odchylenia standardowe w obrębie każdego ze wskaźników, a dane zostały poddane normalizacji. W kolejnym etapie, możliwe było wyznaczenie współrzędnych wzorca rozwoju dla poszczególnych wskaźników i obliczenie odległości obiektów od wzorca, które posłużyły do wyznaczenia wartości zmiennej syntetycznej, stanowiącej końcową wartość rankingu.

6. Wyniki

Otrzymane wartości zmiennej syntetycznej dla państw Unii Europejskiej oraz ich ranking ze względu na badane zjawisko z podziałem na lata przedstawione zostały w tabelach 2 – 3.

Otrzymane wartości zmiennej syntetycznej wskazują na duże zróżnicowanie państw Unii Europejskiej pod względem badanego zjawiska. Na podstawie otrzymanych wyników, można również stwierdzić, iż poziom badanego zjawiska w państwach UE zmieniał się wraz z biegiem lat. Zmiany te nie były jednak diametralne, co zostało uwidocznione w rankingach krajów członkowskich, gdzie państwa ulokowane na najwyższych pozycjach oraz na najniższych krążyły wokół tych samych miejsc. Największe różnice można odnotować dla Luksemburga, który z 4. pozycji obejmowanej w latach 2015-2017 spadł na miejsce 6. w roku 2018 i 8. w 2019, oraz Czech, które zaczynając na 18. miejscu w latach 2015-2016, do roku 2019 awansowały łącznie o 5 pozycji.

W pierwszym roku obserwacji (rok 2015) najwyższe miejsca w rankingu zajmowane były przez państwa skandynawskie (Dania na 2. i Szwecja na 3. miejscu) oraz kraje Beneluksu (Holandia na 1. i Luksemburg na 4. miejscu). W ostatnim roku obserwacji (rok 2019) skład pierwszej trójki nie uległ zmianie, zmieniła się natomiast kolejność – 1. miejsce w rankingu przypadło Szwecji, na 2. miejscu uplasowała się Holandia, a na 3. Dania. Czwartym krajem w rankingu z 2019 roku okazała się natomiast Estonia, która awansowała z 6. miejsca w porównaniu do roku 2015.

Trzy najniższe miejsca w rankingu były takie same zarówno w pierwszym, jak i w ostatnim roku obserwacji i należały kolejno do Grecji (25. miejsce), Bułgarii (26. miejsce) i Rumunii (27. miejsce). Polska w rankingu z 2015 roku znalazła się na czwartym miejscu od końca. Do roku 2019 Polska awansowała w rankingu o 2 pozycje, wyprzedzając Włochy i Chorwację, i uplasowała się finalnie na 22. pozycji. Niemniej jednak, pomimo wzrostu pozycji w rankingu, wynik ten dalej znajduje się poniżej dolnego kwartyła. Warta uwagi jest również lokata Włoch, które pomimo przynależności do UE od początku istnienia tej wspólnoty, wciąż cechują się niskim poziomem badanego zjawiska, oscylując między 23. a 24. miejscem w utworzonych rankingach.

Tabela 2. Wartości zmiennej syntetycznej dla poszczególnych lat

Kraj	S_i (2015)	S_i (2016)	S_i (2017)	S_i (2018)	S_i (2019)
Holandia	0,789	0,786	0,790	0,801	0,809
Dania	0,770	0,786	0,799	0,783	0,784
Szwecja	0,738	0,806	0,827	0,817	0,825
Luksemburg	0,662	0,714	0,683	0,588	0,556
Finlandia	0,626	0,602	0,659	0,649	0,631
Estonia	0,611	0,631	0,632	0,657	0,665
Niemcy	0,560	0,552	0,536	0,542	0,565
Belgia	0,538	0,554	0,591	0,577	0,574
Malta	0,498	0,493	0,511	0,524	0,518
Austria	0,494	0,516	0,530	0,529	0,495
Irlandia	0,479	0,470	0,490	0,477	0,511
Hiszpania	0,429	0,447	0,466	0,466	0,467
Słowenia	0,416	0,399	0,455	0,464	0,440
Łotwa	0,402	0,430	0,446	0,349	0,385
Francja	0,395	0,420	0,422	0,429	0,375
Węgry	0,382	0,405	0,387	0,392	0,377
Słowacja	0,353	0,370	0,368	0,368	0,353
Czechy	0,312	0,331	0,391	0,421	0,446
Portugalia	0,305	0,305	0,310	0,280	0,288
Litwa	0,257	0,279	0,312	0,309	0,306
Cypr	0,237	0,250	0,268	0,256	0,281
Chorwacja	0,222	0,249	0,195	0,234	0,152
Włochy	0,163	0,154	0,149	0,129	0,173
Polska	0,154	0,196	0,189	0,206	0,185
Grecja	0,111	0,104	0,091	0,082	0,127
Bulgaria	0,098	0,085	0,093	0,112	0,112
Rumunia	0,068	0,058	0,062	0,046	0,042

Tabela 3. Rankingi państw UE pod kątem zjawiska komputeryzacji i rozwoju cyfrowego w latach 2015 – 2019

Kraj	Ranking (2015)	S_i (2016)	S_i (2017)	S_i (2018)	S_i (2019)
Holandia	1	2	3	2	2
Dania	2	3	2	3	3
Szwecja	3	1	1	1	1
Luksemburg	4	4	4	6	8
Finlandia	5	6	5	5	5
Estonia	6	5	6	4	4
Niemcy	7	8	8	8	7
Belgia	8	7	7	7	6
Malta	9	10	10	10	9
Austria	10	9	9	9	11
Irlandia	11	11	11	11	10
Hiszpania	12	12	12	12	12
Słowenia	13	16	13	13	14
Łotwa	14	13	14	18	15
Francja	15	14	15	14	17
Węgry	16	15	17	16	16
Słowacja	17	17	18	17	18
Czechy	18	18	16	15	13
Portugalia	19	19	20	20	20
Litwa	20	20	19	19	19
Cypr	21	21	21	21	21

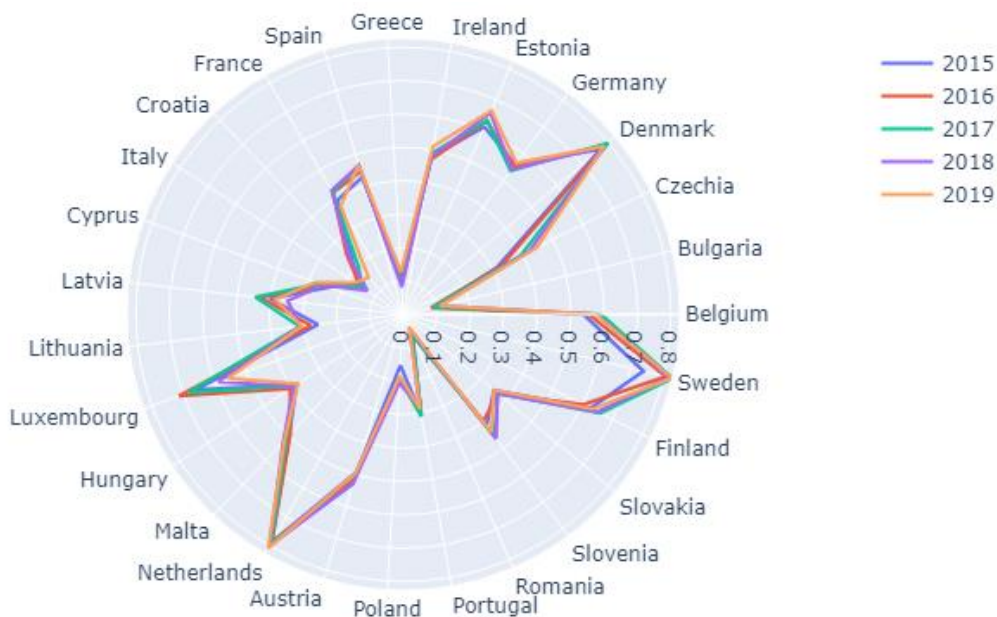
Chorwacja	22	22	22	22	24
Włochy	23	24	24	24	23
Polska	24	23	23	23	22
Grecja	25	25	26	26	25
Bułgaria	26	26	25	25	26
Rumunia	27	27	27	27	27

Uzyskane rankingi krajów członkowskich UE zostały również zobrazowane w formie wykresu radarowego na rysunku 2.

7. Podsumowanie

Na potrzeby pracy zaprezentowano rezultaty otrzymane przy użyciu metody Hellwiga, które pozwoliły na ocenę krajów członkowskich UE na tle zjawiska komputeryzacji i rozwoju cyfrowego. Uzyskane wyniki potwierdziły występowanie wyraźnych dysproporcji pod względem czynników opisujących badane zjawisko zgodnie z wytycznymi Komisji Europejskiej. Wskazały one również potrzebę czynnego monitorowania procesu transformacji cyfrowej w Unii Europejskiej w najbliższej przyszłości.

Utworzony skrypt w języku Python stanowił łatwe i użyteczne narzędzie w zobrazowaniu zróżnicowania badanych państw pod kątem wybranego zjawiska. Przedstawione rozwiązanie należy potraktować jako jeden ze sposobów implementacji metod wielokryterialnych wykorzystujących metodę porządkowania liniowego, wykorzystujących szeroki zasób literatury przedmiotu.



Rys.2. Wykres radarowy oceny zjawiska komputeryzacji i rozwoju cyfrowego państw UE

Załącznik 1

Implementacja klasycznej metody Hellwiga przeprowadzona w środowisku Python

Wczytywanie niezbędnych bibliotek do wczytania danych oraz implementacji metody Hellwiga
`import pandas as pd # biblioteka Pandas była wymagana do porządkowania danych i tw`
`orzenia tzw. ramek danych`

```
import math # biblioteka math była wymagana do wykonywania podstawowych działań ma
tematycznych, wykorzystywanych
# przy implementacji algorytmu metody Hellwiga
import plotly.graph_objects as go # biblioteka plotly.graph_objects była wymagana
do utworzenia wykresu radarowego,
# obrazującego poziomy zmiennych syntetycznych dla poszczególnych państw UE w wybr
anych latach
```

Wczytywanie danych do przeprowadzenia badania

- Ramka danych c1 zawiera wartości pierwszego wskaźnika dla wszystkich wyszczególnionych lat.
- Ramka danych c2 zawiera wartości drugiego wskaźnika dla wszystkich wyszczególnionych lat.
- Ramka danych c3 zawiera wartości trzeciego wskaźnika dla wszystkich wyszczególnionych lat.
- Ramka danych c4 zawiera wartości czwartego wskaźnika dla wszystkich wyszczególnionych lat.

```
c1 = pd.read_csv("c1.csv", header=0, sep=';')
c2 = pd.read_csv("c2.csv", header=0, sep=';')
c3 = pd.read_csv("c3.csv", header=0, sep=';')
c4 = pd.read_csv("c4.csv", header=0, sep=';')
```

```
# Utworzenie ramek danych zawierających wartości wskaźników dla wybranego roku
```

```
df15 = c1[['country']]
df15.insert(1, 'c1', c1['2015'])
df15.insert(2, 'c2', c2['2015'])
df15.insert(3, 'c3', c3['2015'])
df15.insert(4, 'c4', c4['2015'])
```

```
df16 = c1[['country']]
df16.insert(1, 'c1', c1['2016'])
df16.insert(2, 'c2', c2['2016'])
df16.insert(3, 'c3', c3['2016'])
df16.insert(4, 'c4', c4['2016'])
```

```
df17 = c1[['country']]
df17.insert(1, 'c1', c1['2017'])
df17.insert(2, 'c2', c2['2017'])
df17.insert(3, 'c3', c3['2017'])
df17.insert(4, 'c4', c4['2017'])
```

```
df18 = c1[['country']]
df18.insert(1, 'c1', c1['2018'])
df18.insert(2, 'c2', c2['2018'])
df18.insert(3, 'c3', c3['2018'])
df18.insert(4, 'c4', c4['2018'])
```

```
df19 = c1[['country']]
df19.insert(1, 'c1', c1['2019'])
df19.insert(2, 'c2', c2['2019'])
df19.insert(3, 'c3', c3['2019'])
df19.insert(4, 'c4', c4['2019'])
```

```
criteria = ['c1', 'c2', 'c3', 'c4']
df_array = [df15, df16, df17, df18, df19]
```

```
# Zamiana przecinka dziesiętnego na kropkę dziesiętną (ze względu na zgodność z bi
blioteką Pandas)
```

```
for df in df_array:
    for criterion in criteria:
        df[criterion] = pd.to_numeric(df[criterion].str.replace(',', '.'))
```

Implementacja metody Hellwiga zgodnie z przedstawionym algorytmem

```
for df in df_array:
    z_min = {}
    z_max = {}
    for criterion in criteria:
        # Obliczanie średniej wartości każdego kryterium
        avg_df = df[criterion].mean()
        # Obliczanie odchylenia standardowego każdego kryterium
        std_df = df[criterion].std()
        # Normalizacja danych
        df[criterion] = (df[criterion]-avg_df)/std_df
        # Wyznaczenie wartości maksymalnych i minimalnych w zależności od charakt
        eru wybranego kryterium
        z_min[criterion] = df[criterion].min()
        z_max[criterion] = df[criterion].max()
    for i in range(len(df)):
        # Wyznaczenie odległości obiektów od wzorca
        di0 = 0.0
        for criterion in criteria:
            di0 += ((df.at[df.index[i], criterion]-z_max[criterion])**2)
        df.at[df.index[i], 'di0'] = math.sqrt(di0)
        # Obliczenie wartości zmiennej syntetycznej s_i
        _d0 = df['di0'].sum()/27
        Sd0 = math.sqrt(((df['di0'] - _d0)**2/27).sum())
        d0 = _d0 + 2*Sd0
        df['si'] = 1 - df['di0']/d0
```

Wypisanie rankingów krajów członkowskich UE w poszczególnych latach

```
df_19 = df19.sort_values('si', ascending=False)
df_19 = df_19[['country', 'c1', 'c2', 'c3', 'c4', 'si']]
df_19['place'] = range(1, len(df_19) + 1)
df_19
```

	country	c1	c2	c3	c4	si	place
26	Sweden	0.515360	2.216884	1.539000	1.462442	0.825025	1
18	Netherlands	1.336359	1.132819	1.381339	1.437538	0.808684	2
3	Denmark	1.245807	0.745653	2.084944	1.681114	0.784175	3
5	Estonia	0.038456	1.287685	1.035915	0.612662	0.664627	4
25	Finland	-0.704065	2.062017	1.786971	0.547668	0.631375	5
0	Belgium	1.378616	0.668220	-0.172306	0.510008	0.573630	6
4	Germany	0.491213	-0.106112	0.461908	1.506177	0.565134	7
15	Luxembourg	1.263918	1.519985	-0.830501	1.002018	0.558507	8
17	Malta	1.589903	0.358487	-0.309557	0.202653	0.518279	9
6	Ireland	-0.275455	0.590787	-0.108527	0.788206	0.510730	10
19	Austria	-0.510888	0.126187	0.554769	0.499074	0.494513	11
8	Spain	0.925859	-0.338412	0.013417	0.043509	0.466614	12
2	Czechia	0.080714	-0.106112	0.149648	-0.221933	0.446021	13

23	Slovenia	0.436882	-0.183545	-0.184551	-0.086479	0.440057	14
13	Latvia	0.962080	-0.880444	0.463949	-0.750389	0.385158	15
16	Hungary	0.322184	-0.570711	0.075665	-0.680535	0.377491	16
9	France	-1.410365	0.048754	-0.032503	0.713494	0.375366	17
24	Slovakia	-0.987792	-0.338412	-0.069240	0.033183	0.352778	18
14	Lithuania	-0.752359	-0.803011	0.035867	-0.506206	0.306237	19
21	Portugal	0.177302	-0.493278	-0.703964	-1.092974	0.288452	20
12	Cyprus	-0.160757	-1.112744	-0.016176	-0.916214	0.281346	21
20	Poland	-1.349997	-0.803011	-1.210621	-0.293001	0.185416	22
11	Italy	-0.764432	-0.493278	-1.505022	-1.097225	0.173305	23
10	Croatia	-1.814828	-0.725578	-0.980508	-0.682965	0.152089	24
7	Greece	-1.935563	-1.577343	0.040459	-0.837250	0.127059	25
1	Bulgaria	-0.341859	-0.803011	-1.466245	-1.953688	0.111686	26
22	Romania	0.243706	-1.422477	-2.034129	-1.920887	0.041804	27

```
df_18 = df18.sort_values('si', ascending=False)
df_18 = df_18[['country', 'c1', 'c2', 'c3', 'c4', 'si']]
df_18['place'] = range(1, len(df_18) + 1)
df_18
```

	country	c1	c2	c3	c4	si	place
26	Sweden	0.552843	2.178770	1.463371	1.291768	0.816543	1
18	Netherlands	1.171261	0.983104	1.544186	1.649612	0.800962	2
3	Denmark	1.154318	0.664259	2.223462	1.842944	0.783197	3
5	Estonia	0.133504	1.062815	1.157010	0.495626	0.657391	4
25	Finland	-0.573864	2.099059	1.607571	0.531651	0.649185	5
15	Luxembourg	1.213618	1.461370	-0.497865	1.048603	0.588358	6
0	Belgium	1.277154	0.903393	-0.089561	0.400762	0.577100	7
4	Germany	0.040318	-0.132852	0.430196	1.531331	0.541593	8
19	Austria	-0.332427	0.345415	0.441817	0.619911	0.529423	9
17	Malta	1.463527	0.584548	-0.292921	0.212834	0.523725	10
6	Ireland	-0.421378	0.584548	-0.267038	0.583286	0.477390	11
8	Spain	0.925588	-0.371985	0.086861	0.066934	0.465641	12
23	Slovenia	0.595200	-0.053141	0.064148	-0.206252	0.464129	13
9	France	-0.760237	-0.132852	-0.049417	0.779620	0.428801	14
2	Czechia	-0.302777	-0.053141	0.140210	-0.299315	0.421187	15
16	Hungary	0.535900	-0.292274	0.046189	-0.816267	0.392208	16
24	Slovakia	-0.451028	-0.690830	-0.091673	0.093953	0.367770	17
13	Latvia	0.946766	-1.248807	0.294447	-0.573101	0.348541	18
14	Lithuania	-0.201119	-1.089385	-0.090617	-0.496249	0.308906	19
21	Portugal	0.205512	-0.850252	-0.589245	-0.932146	0.279755	20
12	Cyprus	-0.103697	-0.690830	-0.461947	-1.359637	0.255728	21
10	Croatia	-1.171104	-0.451696	-0.659497	-0.919537	0.234302	22
20	Poland	-1.056739	-0.850252	-1.216228	-0.316727	0.206309	23
11	Italy	-1.755636	-0.371985	-1.468711	-0.998191	0.128897	24
1	Bulgaria	-0.692465	-0.611119	-1.603404	-1.764913	0.111902	25
7	Greece	-2.751035	-1.487941	-0.006632	-0.733410	0.082219	26
22	Romania	0.357998	-1.487941	-2.114710	-1.733091	0.045894	27

```
df_17 = df17.sort_values('si', ascending=False)
df_17 = df_17[['country', 'c1', 'c2', 'c3', 'c4', 'si']]
df_17['place'] = range(1, len(df_17) + 1)
df_17
```

	country	c1	c2	c3	c4	si	place
26	Sweden	0.526696	2.182272	1.509409	1.487848	0.826872	1

3	Denmark	1.248624	0.889074	2.077444	1.570137	0.799037	2
18	Netherlands	1.317187	0.969899	1.415686	1.526738	0.790066	3
15	Luxembourg	1.063101	1.050724	0.272885	1.602827	0.682764	4
25	Finland	-0.679207	2.263097	1.685981	0.932676	0.658955	5
5	Estonia	0.034655	1.131549	0.934125	0.292397	0.631824	6
0	Belgium	1.369618	0.808249	-0.108740	0.427667	0.591109	7
4	Germany	0.208079	-0.080825	0.275474	1.428103	0.536407	8
19	Austria	-0.162968	0.404124	0.177608	0.688062	0.529945	9
17	Malta	1.599506	0.323300	-0.378517	0.140218	0.510584	10
6	Ireland	-0.320260	0.889074	-0.248030	0.192635	0.489780	11
8	Spain	0.942107	-0.323300	-0.008803	-0.053106	0.465829	12
23	Slovenia	0.567027	-0.080825	-0.017088	-0.352955	0.455484	13
13	Latvia	1.075200	-0.889074	1.119500	-0.443135	0.445574	14
9	France	-0.848598	-0.080825	-0.016570	0.730898	0.422215	15
2	Czechia	-0.175067	-0.242475	-0.175019	-0.386773	0.391312	16
16	Hungary	0.490398	-0.242475	-0.216444	-0.833728	0.387243	17
24	Slovakia	-0.287995	-0.889074	-0.090616	0.299160	0.368020	18
14	Lithuania	-0.235564	-0.969899	-0.076636	-0.653368	0.312478	19
21	Portugal	0.135483	-0.889074	-0.262011	-0.874309	0.310458	20
12	Cyprus	-0.614677	-0.808249	-0.364019	-0.931799	0.267657	21
10	Croatia	-1.280142	-0.484949	-0.910823	-1.139214	0.194916	22
20	Poland	-1.001857	-0.889074	-1.363905	-0.442572	0.189485	23
11	Italy	-1.554394	-0.404124	-1.414132	-1.011834	0.148911	24
1	Bulgaria	-1.191414	-0.646599	-1.666823	-1.673531	0.092739	25
7	Greece	-2.413449	-1.535673	-0.084403	-0.837110	0.091062	26
22	Romania	0.187914	-1.454848	-2.065534	-1.685931	0.062425	27

```
df_16 = df16.sort_values('si', ascending=False)
df_16 = df_16[['country', 'c1', 'c2', 'c3', 'c4', 'si']]
df_16['place'] = range(1, len(df_16) + 1)
df_16
```

	country	c1	c2	c3	c4	si	place
26	Sweden	0.470027	2.122063	1.488187	1.409126	0.806325	1
18	Netherlands	1.354900	1.118343	1.339256	1.402231	0.786205	2
3	Denmark	1.237673	0.867413	2.060507	1.889512	0.785570	3
15	Luxembourg	1.267925	1.118343	0.450457	1.747005	0.713723	4
5	Estonia	0.095658	1.118343	1.067457	0.390318	0.631073	5
25	Finland	-0.895097	2.372993	1.661585	0.555235	0.602306	6
0	Belgium	1.426749	0.365552	-0.036760	0.466169	0.553806	7
4	Germany	0.330112	-0.052664	0.372268	1.503364	0.551948	8
19	Austria	-0.252241	0.365552	0.338227	0.542019	0.515595	9
17	Malta	1.634732	0.114622	-0.317601	0.215633	0.492927	10
6	Ireland	-0.426190	0.951056	-0.313878	0.178857	0.469604	11
8	Spain	0.867086	-0.303594	0.047280	-0.191775	0.446766	12
13	Latvia	1.158262	-0.889098	1.077563	-0.411856	0.430008	13
9	France	-0.842156	-0.136308	0.032387	0.806346	0.420319	14
16	Hungary	0.462464	-0.136308	-0.046866	-0.670437	0.405028	15
23	Slovenia	0.606162	-0.219951	-0.296325	-0.498050	0.399140	16
24	Slovakia	-0.271148	-0.721811	-0.112821	0.151850	0.369618	17
2	Czechia	-0.441316	-0.052664	-0.686737	-0.530803	0.330997	18
21	Portugal	-0.248459	-0.638168	-0.240476	-0.860063	0.305009	19
14	Lithuania	-0.229551	-1.056385	-0.160160	-0.802600	0.278934	20
12	Cyprus	-0.429971	-0.889098	-0.548444	-0.924995	0.250342	21
10	Croatia	-1.167365	-0.387238	-0.659610	-0.736519	0.248657	22

20	Poland	-1.038794	-0.889098	-1.256930	-0.434841	0.194669	23
11	Italy	-1.413163	-0.387238	-1.435115	-1.041644	0.154207	24
7	Greece	-2.108961	-1.641888	-0.106970	-0.850294	0.103912	25
1	Bulgaria	-1.420726	-0.638168	-1.665958	-1.551910	0.085126	26
22	Romania	0.273389	-1.474602	-2.050519	-1.751879	0.057710	27

```
df_15 = df15.sort_values('si', ascending=False)
df_15 = df_15[['country', 'c1', 'c2', 'c3', 'c4', 'si']]
df_15['place'] = range(1, len(df_15) + 1)
df_15
```

	country	c1	c2	c3	c4	si	place
18	Netherlands	1.420753	1.208920	1.470889	1.375644	0.789409	1
3	Denmark	1.238315	0.779435	2.284398	1.847108	0.769834	2
26	Sweden	0.139965	2.153787	1.387833	1.188245	0.737630	3
15	Luxembourg	1.260654	1.208920	0.161793	1.618789	0.662188	4
25	Finland	-0.746161	2.411478	1.594098	0.775493	0.625679	5
5	Estonia	0.169751	0.521745	1.462088	0.572082	0.611056	6
4	Germany	0.363359	0.092260	0.460465	1.639545	0.559532	7
0	Belgium	1.465431	0.521745	-0.111027	0.360368	0.538315	8
17	Malta	1.699994	0.178157	-0.322792	0.469486	0.498023	9
19	Austria	-0.425964	0.349951	0.388410	0.602326	0.493806	10
6	Ireland	-0.388732	0.865332	-0.166031	0.448137	0.479436	11
8	Spain	0.761743	-0.337225	0.069937	-0.244528	0.428841	12
23	Slovenia	0.556966	0.006363	-0.157230	-0.489452	0.416123	13
13	Latvia	1.215976	-0.766710	0.428013	-0.522069	0.402373	14
9	France	-0.943491	-0.165431	0.018233	0.784981	0.394752	15
16	Hungary	0.519734	0.006363	-0.298040	-0.779446	0.381907	16
24	Slovakia	-0.325437	-0.680813	-0.014770	-0.098049	0.352954	17
2	Czechia	-0.388732	-0.079534	-0.734772	-0.600350	0.312402	18
21	Portugal	-0.243526	-0.594916	-0.240286	-0.804354	0.305121	19
14	Lithuania	-0.154169	-1.282092	-0.091775	-0.844680	0.257061	20
12	Cyprus	-0.340330	-0.766710	-0.713871	-1.040975	0.237222	21
10	Croatia	-1.181777	-0.766710	-0.645666	-0.583745	0.221624	22
11	Italy	-1.390278	-0.251328	-1.302963	-1.073592	0.163024	23
20	Poland	-1.181777	-0.852607	-1.370068	-0.718364	0.153663	24
7	Greece	-1.985993	-1.711577	-0.096726	-0.741492	0.110577	25
1	Bulgaria	-1.416340	-0.594916	-1.536730	-1.447204	0.097762	26
22	Romania	0.300064	-1.453886	-1.923409	-1.693907	0.068223	27

Wykres radarowy wartości zmiennych syntetycznych w poszczególnych latach

```
# Lista lat do wykorzystania w Legendzie
```

```
years = [2015, 2016, 2017, 2018, 2019]
```

```
# Tworzenie danych dla wykresu
```

```
fig = go.Figure()
```

```
for i, df in enumerate(df_array):
    first_row = df.iloc[0]
    combined_df = pd.concat([df, pd.DataFrame(first_row).T], ignore_index=True)
    fig.add_trace(go.Scatterpolar(
        r=combined_df['si'].tolist(),
        theta=combined_df['country'].tolist(),
        name=str(years[i])
    ))
```

fig.show()

LITERATURA

- [1] EUR-Lex, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0118>, dostęp dnia 09.03.2021 roku
- [2] Eurostat, <https://ec.europa.eu/eurostat/web/digital-economy-and-society/data/database>, dostęp dnia 02.06.2023 roku
- [3] Hellwig Z., *Zastosowanie metody taksonomicznej do typologicznego podziału krajów ze względu na poziom ich rozwoju oraz zasoby i strukturę wykwalifikowanych kadr*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 1968
- [4] Bąk A., *Zastosowanie metod wielowymiarowej analizy porównawczej do oceny stanu środowiska w województwie dolnośląskim*, Wiadomości Statystyczne 1 (680) 7-20, 2018
- [5] Hamerska M., *Wykorzystanie metod porządkowania liniowego do tworzenia rankingu jednostek naukowych*, Wrocław, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, 2015
- [6] Roszkowska E., Filipowicz-Chomko M., *Measuring Sustainable Development Using an Extended Hellwig Method: A Case Study of Education*, Social Indicators Research, 2020
- [7] Hwang C. L., Yoon K., *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*, New York, Springer-Verlag, 1981. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9>
- [8] Brans J. P., *L'ingénierie de la décision: l'élaboration d'instruments d'aide à la décision*, Québec, Université Laval, 1982
- [9] Churchman C. W., Ackoff R. L., Smith N. M., *An Approximate Measure of Value*, Journal of the Operations Research Society of America 2(2), 1954. <http://www.jstor.org/stable/166603>
- [10] Młodak A., Józefowski T., Wawrowski Ł., *Zastosowanie metod taksonomicznych w estymacji wskaźników ubóstwa*, Wiadomości Statystyczne 2 (657), 2016
- [11] Malina A., Zeliaś A., *O budowie taksonomicznej miary jakości życia*, Taksonomia, 1997

MATEUSZ KARANOWSKI¹, TEODORA DIMITROVA-GREKOW¹

Rozpoznawanie wzorców 2D przez edukacyjnego robota mobilnego

Summary

The aim of the article is to present the proprietary method of recognizing selected 2D patterns by the LEGO Mindstorms EV3 educational robot. The design is adapted to scanning an A4 card, and the machine learning algorithm implements a decision tree and allows you to recognize Arabic numerals. The basic concepts of the subject, the selection of hardware and programming tools as well as the results of experiments with an accuracy of 96% are described. The robot can be used in the education of children and to work with people with disabilities as a cognitive tool.

Key words – mobile robots, pattern recognition, machine learning, decision tree

1. Wstęp

Edukacja młodego społeczeństwa od zawsze zajmowała ważne miejsce w rozwoju ludzkości. Człowiek wraz z postępem technologicznym tworzył coraz to bardziej skomplikowane przedmioty, maszyny, które miały pomóc mu w nauce nowego pokolenia obywateli. Powstawały przedmioty takie jak liczydła, zabawki sensoryczne. Po jakimś czasie pojawiły się komputery, a sam człowiek coraz dokładniej definiował różne dziedziny nauk. Technologia cały czas szła do przodu, aż pojawiły się różnego rodzaju roboty mobilne. Zostały one również wykorzystane w dziedzinie edukacji w różnych celach – od nauki dzieci w wieku wczesnoszkolnym, aż po osoby dorosłe, które potrzebują pomocy w niektórych aspektach swojego życia. Potrafią wykonywać one różne czynności. Od zwykłego poruszania się lub wykonywania tej samej powtarzalnej czynności, aż po zaawansowane zadania takie jak rozpoznawanie wzorców 2D. Rozróżniają one kształty, cyfry lub litery napisane przez ludzi według określonych wcześniej reguł i zasad.

Rozdział przedstawia edukacyjnego robota mobilnego z wykorzystaniem czujników zestawu LEGO Minstorms, który potrafi rozpoznawać wzorce 2D, na przykładzie cyfr 0 – 9. W dalszej części pracy przedstawione zostaną podstawowe sposoby rozpoznawania wzorców, dobór sprzętu, narzędzi i technologii oraz proces budowy edukacyjnego robota na bazie LEGO Mindstorms EV3. Konstrukcja powstała w Politechnice Białostockiej w ramach koła naukowego Mobilne Systemy Inteligentne, działającego przy Wydziale Informatyki. Zaimplementowano utworzony algorytm pozwalający na rozpoznawanie cyfr od 0 do 9. Przedstawiono eksperymenty, wyniki i ich analizę.

2. Metody rozpoznawania wzorców 2D

Wzorec 2D jest to zbiór pomiarów i obserwacji. Znajduje się on na płaskiej nawierzchni takiej jak np. kartka, podłoga. Mogą to być np. cyfry, litery, figury, cyfrowe przedstawienie wypowiedzianych przez człowieka słów itp. Rejestrowanie i analiza danych w nich zawartych, pozwala na dekodowanie informacji, którą przechowują [1].

Istnieje wiele metod pozwalających na rozpoznanie wzorców 2D. Każda z nich ma swoje wady i zalety. Niektóre są lepsze w zastosowaniu do pewnego rodzaju danych, inne są dokładniejsze do

¹ Politechnika Białostocka, Wydział Informatyki, Koło Naukowe Mobilne Systemy Inteligentne

innych. Jednak wszystkie prowadzą do tego samego – podjęcia poprawnej decyzji o tym, co zostało odczytane. W dalszej części artykułu zostanie przedstawionych kilka wybranych podejść, które bezpośrednio dotyczą tematyki pracy i będą mogły służyć jako wzór w jej dalszej realizacji.

Jedną z metod jest rozpoznawanie cyfr za pomocą sieci neuronowej. Badane liczby zostały napisane ręcznie, bez odrywania ręki. W każdej z cyfr szukano jej konturów, a następnie wycinki zawierające odkryty wzór poddawano odpowiedniej obróbce oraz zmniejszano do rozmiarów 10 na 7 pikseli. Sieć neuronowa utworzona przez autora akceptuje dane zawierające tylko „0” i „1”, dlatego fragmenty poddano konwersji na ten system zapisu. Każdy element reprezentuje macierz, a z nich konstruowany jest wektor, który ma przedstawiać cyfrę. Aby sieć neuronowa działała poprawnie należy poddać ją procesowi nauki. W tym celu wykorzystano bazę danych składającą się z 60 tys. elementów i 10 tys. przykładów odręcznie napisanych cyfr przeznaczonych do testowania. Sposób ten nie jest jednak sposobem dokładnym. Wyniki zależą głównie od tego, jakie informacje znajdują się w bazie z danymi. Pismo ręczne różnych ludzi różni się, co sprawia, że analiza danych nie zawsze jest dokładna. Ważnym aspektem jest również liczba jednostek szkolących sieć, im jest ich więcej, tym wyniki są dokładniejsze, jednak proces nauki wydłuża się [2].

Inna metoda opiera się na wykorzystaniu rachunku prawdopodobieństwa. Zbiorem danych są bitmapy z zapisanymi, odczytanymi cyframi, które wcześniej zostały odpowiednio ustawione i przygotowane. W pierwszej kolejności następuje proces progowania. Polega on na zamianie danych ze skali szarości od 0 do 255, do kolorów tylko czarnego i białego. Ma to znacząco ułatwić dalsze rozpoznawanie cyfr. Kolejnym krokiem jest poddanie bitmapy procesowi odsumiania. Pozwala to na usunięcie pojedynczych lub podwójnych informacji, które nie są połączone z innymi punktami. Zapobiega to błędnym odczytom podczas analizy zbioru danych. Każda cyfra ma odpowiadający jej model, który składa się ze zwykłych punktów oraz podstawowych, czyli takich, które są charakterystyczne dla danego numeru. Następnie następuje porównanie utworzonych modeli z aktualnie analizowaną bitmapą. Na podstawie specjalnie utworzonej funkcji oceniane jest prawdopodobieństwo, która cyfra mogła zostać odczytana. Jednak nie zawsze wzory odpowiadają badanemu elementowi. Spowodowane jest to głównie faktem, że pisma ręczne ludzi znacząco się od siebie różnią. W tym celu dwa obrazy są nakładane na siebie i odpowiednio dopasowywane. Umożliwia to poprawne i dokładniejsze rozpoznanie wzorca 2D [3].

Kolejną interesującą metodą jest zastosowanie algorytmu odnajdującego cykle. Dane są przedstawione za pomocą grafu. Analiza wzorca 2D podzielona jest na dwie klasyfikacje – wstępną, a następnie końcową. W badanym zbiorze odszukiwane są cykle, podcykle oraz pozyskiwane są informacje np. czy występuje wierzchołek mający sąsiada. Drzewa klasyfikacyjne pozwalają za każdym, kolejnym zadaniem pytaniem zawęzić zbiór możliwych rozwiązań. Pierwsze z nich pozwala zdecydować, czy odczytana liczba to 0, 6, 8 lub 9. Jeżeli graf nie posiada cykli i pod-cykli rozpoczyna się drugi proces klasyfikacji. Badane są w tym miejscu długości i umiejscowienia linii w zeskanowanym wzorcu. Pozwala to na dokładne podjęcie decyzji pomiędzy cyframi 1, 2, 3, 4, 5 oraz 7. Metoda ta jest nieskomplikowana, a równocześnie bardzo precyzyjna. Pozwala na poprawne rozpoznawanie cyfr ze średnią skutecznością 91% [4]. Powstaje pytanie, czy nie dałoby się odnaleźć nowego rozwiązania w tym kierunku, zastępując odszukiwanie cykli jeszcze łatwiej rozpoznawalnymi elementami. Na tym właśnie skupiła się uwaga autorów niniejszej pracy.

3. Wykorzystany sprzęt, narzędzia i technologie

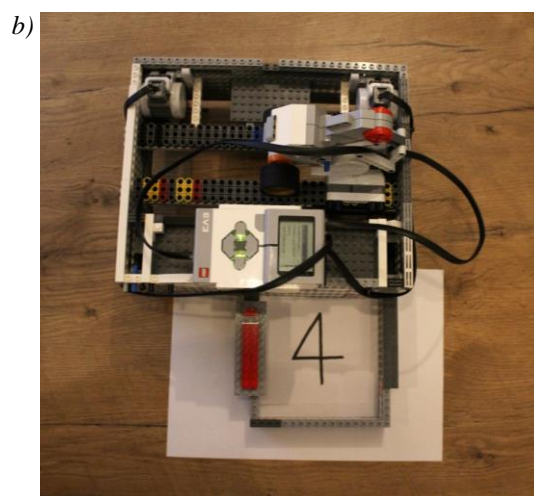
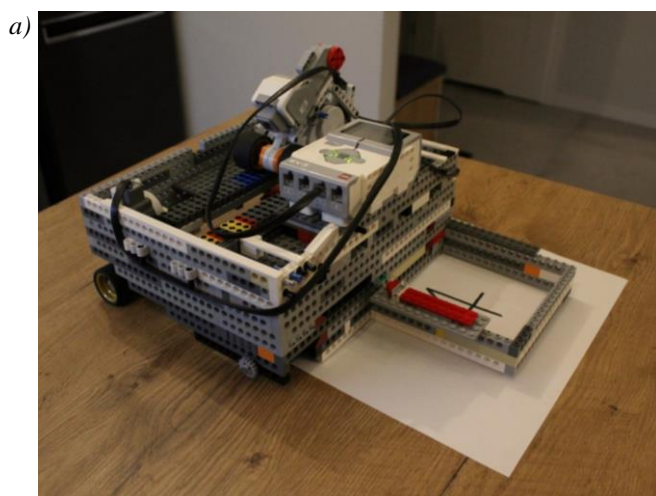
Po przeanalizowaniu rozwiązań, należy w pierwszej kolejności zbudować robota. W celu realizacji tego przedsięwzięcia, zdecydowano się wykorzystać zestaw edukacyjny LEGO Mindstorms EV3. Kostka EV3 ma bardzo duże możliwości i w pełni odpowiada wymaganiom sprzętowym do implementacji algorytmu zaproponowanego w niniejszej pracy [5].

Inteligentne kostki pochodzące z zestawów LEGO Mindstorms można programować w wielu językach programowania [6]. Zdecydowano się wykorzystać MicroPython – wydajną implementację języka programowania Python 3, zoptymalizowaną do pracy z mikrokontrolerami. Ma on wiele bibliotek dostosowanych do pracy z zestawem LEGO Mindstorms EV3 [7]. Do implementacji uczenia maszynowego rozpoznającego cyfry arabskie użyto języka Python.

Edukacyjny robot mobilny został zbudowany głównie z zestawów LEGO Mindstorms i klocków LEGO Technic. Szczególnie ważnym elementem konstrukcji jest szyna, po której ma poruszać się głowica skanująca – silnik z zamocowanym czujnikiem koloru (rys. 1).



Rys. 1. Prototyp układu skanującego (szyny, po której porusza się silnik)



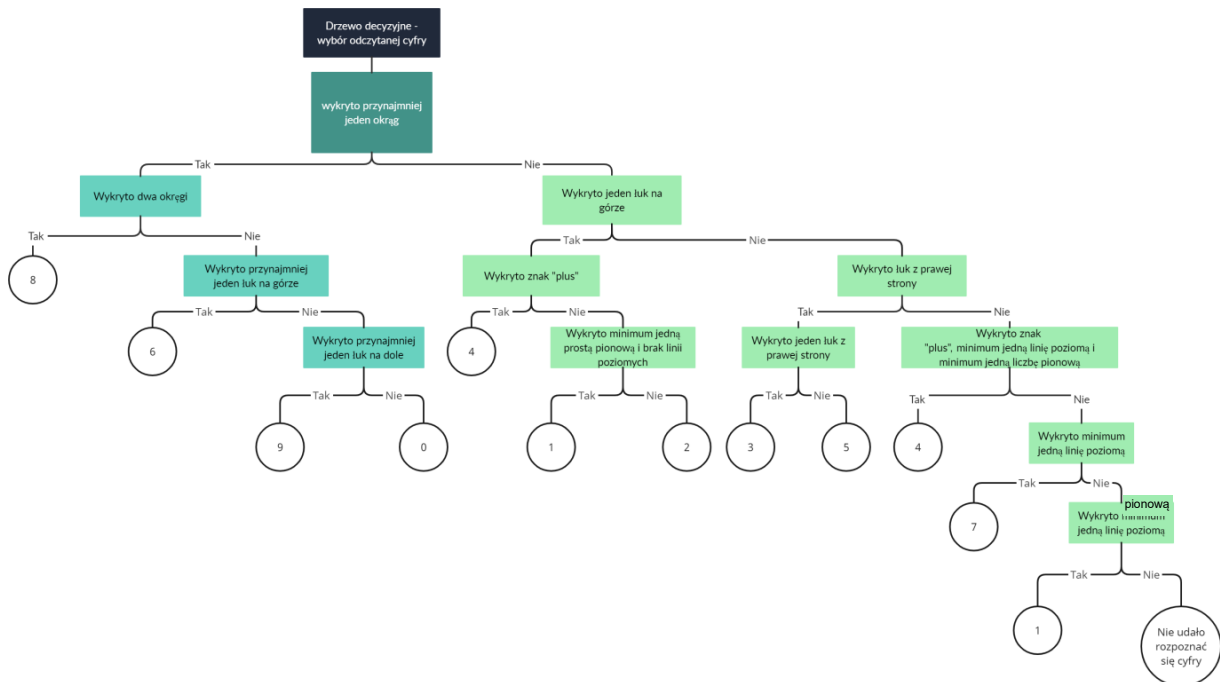
Rys. 2. Finalna konstrukcja: a) widok z boku, b) widok z góry

Konstrukcja została dodatkowo wzmocniona, a końcową wersję robota pokazano na rys. 2. Wykorzystano cztery silniki. Dwa z nich pozwalają poruszać się robotowi do przodu oraz do tyłu. Jeden jest odpowiedzialny za poruszanie się głowicy skanującej, a ostatni duży silnik EV3 z racji na wagę i odpowiedni kształt zapobiega podnoszeniu się podzespołu go góry. Użyty czujnik koloru pochodzi z zestawu LEGO Mindstorms Education EV3.

4. Zaimplementowany algorytm do rozpoznawania cyfr

Uczenie maszynowe, zastosowane w niniejszym podejściu to algorytm implementujący autorskie drzewo decyzyjne. Ogólna zasada działania tego rodzaju klasyfikatorów to sekwencyjne dzielenie zbioru na kolejne podzbiory. Przy każdym kolejnym podziale dąży się do uzyskania jak najbardziej jednorodnych zestawów danych [8].

Aby zdecydować, jaka cyfra została wybrana, należy zadać szereg pytań, które doprowadzą do uzyskania odpowiedniego wyniku. Na rys. 3 pokazano opracowane i zaimplementowane drzewo decyzyjne pozwalające na klasyfikację odczytanych cyfr ze wzorca 2D.



Rys. 3. Drzewo klasyfikacyjne pozwalające na podjęcie decyzji o odczytanej cyfrze ze wzorca 2D

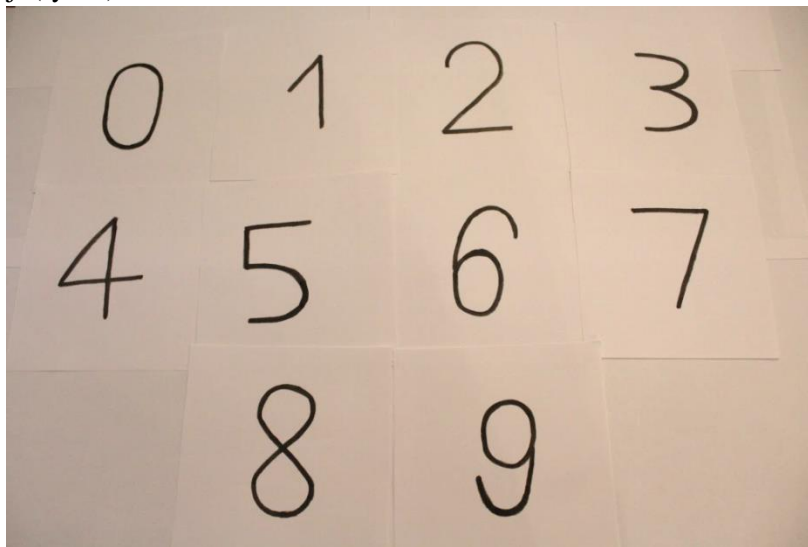
W pierwszym kroku sprawdzano czy wykryto przynajmniej jeden okrąg. Dzieli to zbiór na dwa mniejsze podzbiory. Pierwszy z nich zawiera wszystkie cyfry zawierające ten detal czyli 0, 6, 8, 9. W drugim znajdują się takie elementy jak 1, 2, 3, 4, 5, 7 i informację o tym, że nie udało się rozpoznać cyfry. Kolejne zadawane pytanie podczas analizy pierwszego z wydzielonych zbiorów to czy wykryto dwa okręgi. Jeżeli jest to prawdą odczytany numer to zero. W przeciwnym przypadku sprawdzane jest czy wykryto przynajmniej jeden łuk na górze. Pozytywna odpowiedź decyduje o odkryciu cyfry 6. Ostatnim pytaniem jest czy wykryto przynajmniej jeden łuk na dole. W przypadku negatywnego rezultatu odkryty numer to 0, a jeżeli jest on pozytywny rozwiązaniem jest 9. W drugim zbiorze

zadawane są pytania o wykrywanie kolejnych elementów we wzorze 2D. Dzięki odpowiedziom na zapytania czy wykryto jeden łuk na górze, czy wykryto znak „plus”, wykryto łuk z prawej strony lub np. wykryto minimum jedną prostą pionową i brak linii poziomych, można zdecydować dokładnie jaka cyfra została odkryta albo brak rozpoznania. Wynik zostaje zapisany do pliku tekstowego.

5. Wyniki eksperymentów

Przeprowadzono testy na białych kartkach z różnymi wersjami cyfr napisanymi odręcznie markerem. Wzór 2D musi mieć wymiary minimum 2,5 cm na 5,5 cm oraz maksymalnie 5,5 cm szerokości i 8 cm wysokości. Narysowany kształt powinien być oddalony od każdej krawędzi kartki o minimum 1 cm. Linie poziome muszą być równoległe ułożone względem początku robota, a pionowe prostopadłe do jego przodu. Grubość narysowanej cyfry w każdym miejscu musi wynosić od minimalnie 3mm do maksymalnie 4 mm. Półokręgi mogą mieć powyżej 3 cm i maksymalnie 5 cm szerokości. Muszą być symetryczne względem osi symetrii przechodzącej przez ich środek. Kartka, na której znajduje się narysowany wzór ma wymiary minimum 11,5 cm na 11,5 cm oraz maksymalnie 12,5 cm na 12,5 cm. Błat powierzchni po której porusza się edukacyjny robot mobilny musi być koloru białego. Zapobiega to błędnym odczytom w przypadku gdy skaner znajdzie się poza kartką.

Cyfry rozpoznawane są za pomocą odszukiwania w odczytanych obrazach elementów wyróżniających je od innych. Dlatego numery muszą zostać napisane na kartkach według wcześniej ustalonej konwencji (rys. 4).

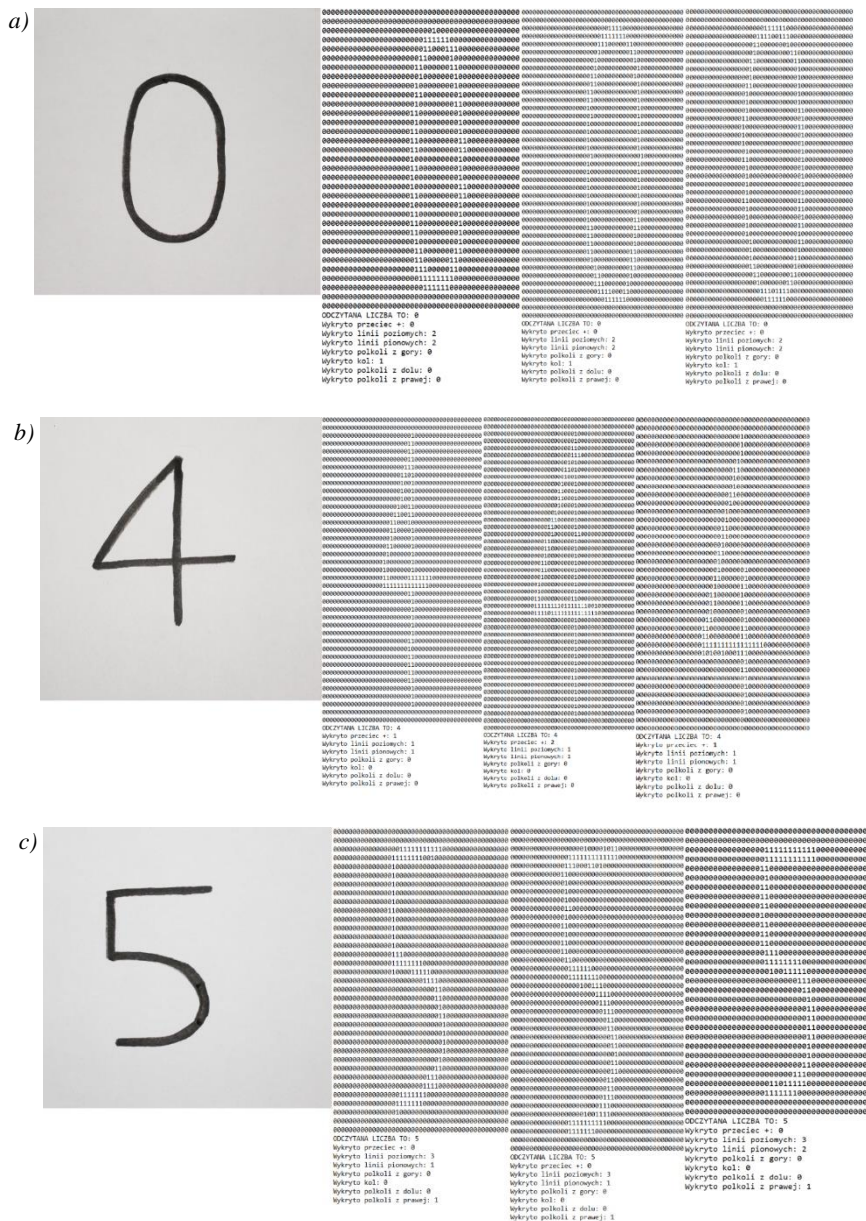


Rys. 4. Wzorce wyglądu cyfr w zakresie od 0 do 9

Wykonano pięć różnych serii testów na różnych wariantach wzorców zawierających cyfry od 0 do 9 oraz sytuację, w której nie udało się rozpoznać cyfry. Serie przeprowadzono w pomieszczeniu, które oświetlone było sztucznym światłem pochodzącym z żarówek o ciepłej barwie. Łącznie wykonano 55 pojedynczych testów praktycznych. Przykładowe z nich oraz odpowiadająca im reprezentacja wzorca 2D znajdującej się na białej kartce dla liczb 0, 4 oraz 5 przedstawiono na rys. 5. Część wierszy tabeli przedstawiającej wizualną reprezentację zeskanowanej cyfry zawierających tylko wartości 0 została usunięta w celu lepszej reprezentacji obrazu na rysunkach. Robot rozpoznał poprawnie ponad 96% ze wszystkich wykonanych testów. Tylko dwa z nich zakończyły się niepowodzeniem. W drugiej serii

zamiast cyfry 6, wynikiem było 8 oraz w trzeciej turze zwrócone zostało 0 zamiast numeru 9. Problem ten może być spowodowany z kilku powodów:

- czujnik wykonał błędne pomiary,
- łuk został źle narysowany. Linia tworząca go mogła być zbyt wąska, co powodowało brak odczytów ze skanera,
- połączenie pomiędzy okręgiem a łukiem zostało źle narysowane. Linia łącząca dwa elementy nie może być prostą pionową prostopadłą do początku robota lub być odchylona w przeciwną stronę od okręgu. W przypadku stworzenia jej w taki sposób, robot najprawdopodobniej rozpozna dodatkowy element, który będzie łukiem z góry dla cyfry 9 lub z dołu dla 6.



Rys. 5. Przykładowe testy oraz odpowiadająca jej reprezentacja wzorca 2D: a) dla cyfry 0, b) dla cyfry 4, c) dla cyfry 5

6. Podsumowanie

W pracy została przedstawiona konstrukcja mobilnego robota edukacyjnego oraz algorytm uczenia maszynowego do rozpoznawania ręcznego pisma cyfry od 0 do 9. Testy praktyczne zostały wykonane z bardzo wysoką skutecznością 96%.

Poprawność skanowania dodatkowo mogłaby w przyszłości zostać zwiększona przez zastosowanie bardziej precyzyjnego sposobu odczytywania wartości takiego jak skanowanie w skali szarości, a następnie zastosowanie binaryzacji obrazu. W obecnym algorytmie robot rozpoznaje wartości kolorów według ustalonej wcześniej granicy, a następnie przypisuje wartości 0 lub 1. Sposób zastosowany w konstrukcji działa poprawnie, jednak mógłby zostać jeszcze bardziej ulepszony co zmniejszyłoby liczbę aktualnie ograniczających wymagań.

Dalsze perspektywy rozwoju projektu to wielokierunkowe udoskonalenia konstrukcyjne i algorytmiczne. Są to: optymalizacja konstrukcji pod względem wielkości i szybkości poruszania się oraz rozbudowanie algorytmu tak, aby rozpoznawanie dotyczyło również tekstu i wzorców obrazowych.

LITERATURA

- [1] Bobulski J., Akademyka Oficyna Wydawnicza EXIT. Witryna internetowa. <https://icis.pcz.pl/~janusz/badania.htm>, stan z 09.06.2023
- [2] Zugaj A.. Witryna internetowa https://kcir.pwr.edu.pl/~witold/aiarr/2009_projekty/cyfry/, stan z 09.06.2023
- [3] Malinowski G., Stolpe D.. Rozpoznawanie Cyfr Pisanych Ręcznie Projekt z laboratorium Rozpoznawania Obrazów internetowa, Poznań 2015, Witryna internetowa <http://www.cs.put.poznan.pl/kkrawiec/piro-projects/2005-2/ro.pdf>, stan z 09.01.2023
- [4] Dimitrova-Grekow T., Sworowska A., Rozpoznawanie wzorców cyfrowych pisma ręcznego z użyciem robota edukacyjnego, „Pomiary Automatyka Kontrola”, 2013 nr 8, s. 812-814.
- [5] Redakcja obsługi klienta firmy LEGO. Witryna internetowa. <https://www.lego.com/en-sg/service/help/digital/electronics-and-robotics/mindstorms-ev3/ev3-nxt-sensor-comparison-bltf9daf58e59c3794d>, stan z 09.06.2023
- [6] Redakcja Encyklopedii Internetowej Wikipedia. Witryna internetowa. https://en.wikipedia.org/wiki/Lego_Mindstorms, stan z 09.01.2023
- [7] George D.. Redakcja strony MicroPython. Witryna internetowa. <https://micropython.org>, stan z 09.06.2023
- [8] Banlawe I. A. P., Dela Cruz J. C., Gaspar J. C. P. and Gutierrez E. J. I., "Decision Tree Learning Algorithm and Naïve Bayes Classifier Algorithm Comparative Classification for Mango Pulp Weevil Mating Activity," 2021 IEEE International Conference on Automatic Control & Intelligent Systems (I2CACIS), Shah Alam, Malaysia, 2021, pp. 317-322, doi: 10.1109/I2CACIS52118.2021.9495863.

KRYCZKA JAKUB¹, SYGNATOR MATEUSZ¹, WALKOWICZ FILIP¹, KURAŚ PAWEŁ²

Wykrywanie i korygowanie negatywnych emocji w wypowiedziach internautów z wykorzystaniem architektury Transformer

Summary

Detection and correction of negative emotions in internet users' statements using the transformer architecture

This scientific paper presents a solution for detecting and correcting negative emotions in the network. The proposed solution consists of three modules: two text classification models for predicting sentiment and the type of negative sentiment, and a third module for explaining the model's predictions. The models were obtained from Huggingface.io and have been extensively tested for accuracy in various tasks. The article also includes evaluations conducted on a test group of nearly 100 users to compare the sentiment evaluations of the model with real people's responses. The modules can be combined in different ways to achieve effective moderation. The paper covers topics such as sentiment analysis, its types, evaluation, and various challenges associated with subjective and objective identification. The proposed solution has potential applications in domains such as business, finance, social media analysis, and more.

Key words: *sentiment analysis, opinion mining, emotion AI, deep learning models*

WSTĘP

W dzisiejszej erze cyfrowej, w której ogromne ilości danych tekstowych są generowane i udostępniane online, zrozumienie emocji, opinii i nastrojów wyrażanych przez jednostki staje się coraz ważniejsze. Analiza sentymentu (nastrojów), znana również jako eksploracja opinii lub sztuczna inteligencja emocji, to dziedzina, której celem jest systematyczna identyfikacja, wyodrębnianie, kwantyfikacja i badanie stanów afektywnych i subiektywnych informacji osadzonych w tekście. Wykorzystując przetwarzanie języka naturalnego, analizę tekstu, lingwistykę komputerową i biometrię, analiza nastrojów umożliwia zautomatyzowaną analizę i interpretację nastrojów wyrażonych w różnych formach tekstowych. Zastosowania analizy sentymentu są szerokie i zróżnicowane. Jednym z kluczowych obszarów, w którym analiza sentymentu jest szeroko stosowana, jest sfera materiałów głosowych klientów, takich jak recenzje klientów i odpowiedzi na ankiety. Analizując nastroje klientów, firmy mogą uzyskać wzgląd w prawdziwe opinie na temat swoich produktów i poprawiać ich jakość. Informacje te mogą wpływać na strategie marketingowe, ulepszanie produktów i zarządzanie relacjami z klientami. Platformy mediów społecznościowych również stały się bogatym źródłem danych o nastrojach. Analiza nastrojów pozwala organizacjom monitorować i analizować nastroje wyrażane przez użytkowników na platformach mediów społecznościowych, umożliwiając im zrozumienie opinii publicznej, śledzenie reputacji marki i identyfikowanie pojawiających się trendów. Co więcej, analiza sentymentu może być stosowana do materiałów związanych z opieką zdrowotną, umożliwiając analizę

¹ Politechnika Rzeszowska, Wydział Matematyki i Fizyki Stosowanej, Koło Naukowe Machine Learning

² Politechnika Rzeszowska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Zakład Systemów Złożonych

opinii pacjentów, sentymentu w dokumentacji medycznej oraz identyfikację subiektywnych informacji związanych z doświadczeniem pacjenta.

W tym artykule naukowym przedstawiono rozwiązanie do wykrywania i korygowania negatywnych emocji w sieci. Rozwiązanie to składa się z trzech modułów: przewidywania nastrojów, klasyfikacji negatywnych nastrojów i generowania wyjaśnień. Moduły te wykorzystują wstępnie wytrenowane modele uzyskane z Huggingface.io i zostały szeroko przetestowane pod kątem dokładności w różnych zadaniach. Dodatkowo przeprowadzono ewaluacje w celu porównania ocen sentymentu naszego modelu z odpowiedziami prawdziwych ludzi. Proponowane rozwiązanie może potencjalnie usprawnić różne zastosowania analizy sentymentu w różnych dziedzinach, takich jak biznes, finanse, analiza mediów społecznościowych i inne. Skutecznie wykrywając i korygując negatywne emocje, organizacje mogą poprawić satysfakcję klientów, postrzeganie marki i procesy decyzyjne w oparciu o wgląd w sentyment.

ANALIZA NASTROJÓW

Analiza nastrojów, zwana również eksploracją opinii lub sztuczną inteligencją emocji, to dziedzina obejmująca zastosowanie przetwarzania języka naturalnego, analizy tekstu, lingwistyki komputerowej i biometrii w celu systematycznej identyfikacji, ekstrakcji, kwantyfikacji i badania stanów afektywnych i subiektywnych informacji osadzonych w tekście [1]. Głównym celem analizy sentymentu jest zrozumienie i interpretacja emocji, postaw, opinii i sentymentów wyrażanych przez osoby lub grupy w różnych formach tekstowych.

Dziedzina ta zyskała znaczną uwagę i znaczenie ze względu na gwałtowny wzrost treści cyfrowych, takich jak recenzje online, posty w mediach społecznościowych, opinie klientów, artykuły informacyjne i dokumentacja medyczna. Analizując i wyodrębniając nastroje z tych różnorodnych źródeł, analiza nastrojów dostarcza cennych informacji, które można zastosować w wielu dziedzinach, w tym w marketingu, obsłudze klienta, zarządzaniu reputacją marki, badaniach rynku, medycynie klinicznej i analizie opinii publicznej.

Wraz z pojawieniem się potężnych modeli głębokiego uczenia, takich jak RoBERTa, analiza nastrojów została rozszerzona na jeszcze trudniejsze domeny danych, takie jak teksty wiadomości, w których autorzy mają tendencję do wyrażania swoich opinii mniej wyraźnie [1]. Te zaawansowane modele wykorzystują swoją zdolność do wychwytywania złożonych wzorców językowych i zależności kontekstowych, umożliwiając dokładniejsze przewidywanie i analizę nastrojów w różnych kontekstach.

Zastosowanie analizy nastrojów nie ogranicza się do prostej klasyfikacji binarnej pozytywnego i negatywnego sentymentu. Ewoluowała ona w celu włączenia bardziej zniuansowanych podejść, biorąc pod uwagę intensywność, subiektywność, sentyment oparty na aspektach i wykrywanie emocji w tekście. Umożliwia to głębsze zrozumienie wyrażonego sentymentu, zapewniając cenne spostrzeżenia wykraczające poza podstawową polaryzację sentymentu. Analiza sentymentu ma swoje korzenie we wcześniejszych pracach, takich jak General Inquirer [2], które miały na celu ilościowe określenie wzorców w tekście, oraz w badaniach psychologicznych, które badały stan psychiczny osoby na podstawie analizy jej zachowań werbalnych [3]. Późniejsze wysiłki koncentrowały się na identyfikacji sentymentu za pomocą poszczególnych słów i fraz w tekście, z postęпами takimi jak systemy skalowania oparte na sentymentach i wykrywanie polaryzacji [4-6]. Rozwój analizy nastrojów jako systematycznej dziedziny badań obliczeniowych można prześledzić wstecz do 2004 AAI Spring Symposium, podczas którego lingwiści, informatycy i inni badacze zaczęli dostosowywać swoje zainteresowania i proponować wspólne zadania oraz zestawy danych wzorcowych dla afektu,

atrakcyjności, subiektywności i analizy nastrojów w tekście [7]. Ten wspólny wysiłek uitorował drogę do integracji różnych podejść, w tym metod opartych na uczeniu się, leksykalnych i opartych na wiedzy.

RODZAJE ANALIZY NASTROJÓW

W dziedzinie analizy sentymentu opracowano różne rodzaje technik analizy w celu uchwycenia różnych aspektów sentymentu. Jednym z ważnych typów jest analiza sentymentu oparta na aspektach, która koncentruje się na określaniu opinii lub sentymentów wyrażanych na temat różnych cech lub aspektów jednostek [8]. Podejście to pozwala na bardziej zniuansowane zrozumienie sentymentu, ponieważ różne cechy mogą generować różne reakcje na sentyment. Innym rodzajem jest ranking intensywności, którego celem jest przewidywanie stopnia lub poziomu emocji i nastrojów wyrażonych w danym tekście [9]. Przewidywanie intensywności zapewnia bardziej szczegółowe zrozumienie wyrażonego sentymentu, pozwalając na dokładniejsze rozróżnienie między różnymi poziomami emocji lub sentymentu.

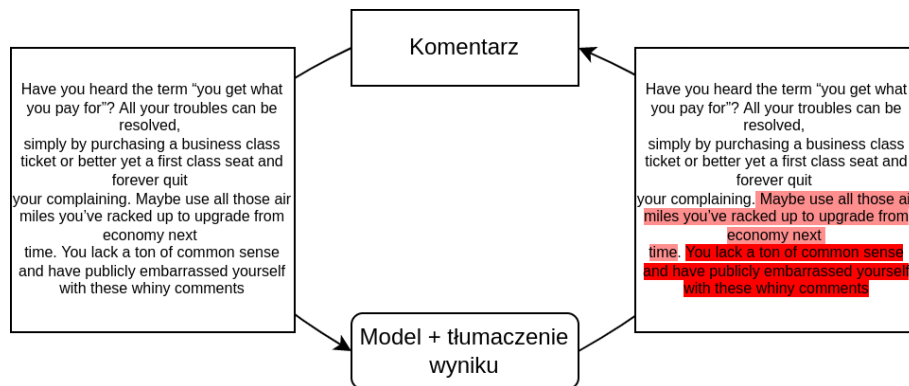
EWALUACJA ANALIZY NASTROJÓW

Ocena wydajności modeli analizy sentymentu ma kluczowe znaczenie dla oceny ich dokładności i skuteczności. Tradycyjne metody ewaluacji obejmują porównywanie przewidywań modelu z ręcznie adnotowanymi etykietami sentymentu. Jednak ręczne uzyskanie dużego zbioru danych z adnotacjami zdań może być czasochłonne i podatne na błędy ludzkie [10]. Opracowano metody automatycznego uczenia się w celu wyodrębnienia wzorców z nieetykietowanych danych tekstowych, poprawiając wydajność i skuteczność subiektywnej i obiektywnej klasyfikacji [11-12]. Metody te opierają się na dużych ilościach danych treningowych z etykietami, aby osiągnąć lepszą wydajność. Co więcej, analiza nastrojów znalazła zastosowanie w różnych dziedzinach, takich jak klasyfikacja recenzji online, przewidywanie cen akcji, analiza mediów społecznościowych, klasyfikacja opinii studentów i wiele innych [13-15].

ROZWIĄZANIE I JEGO KOMPONENTY

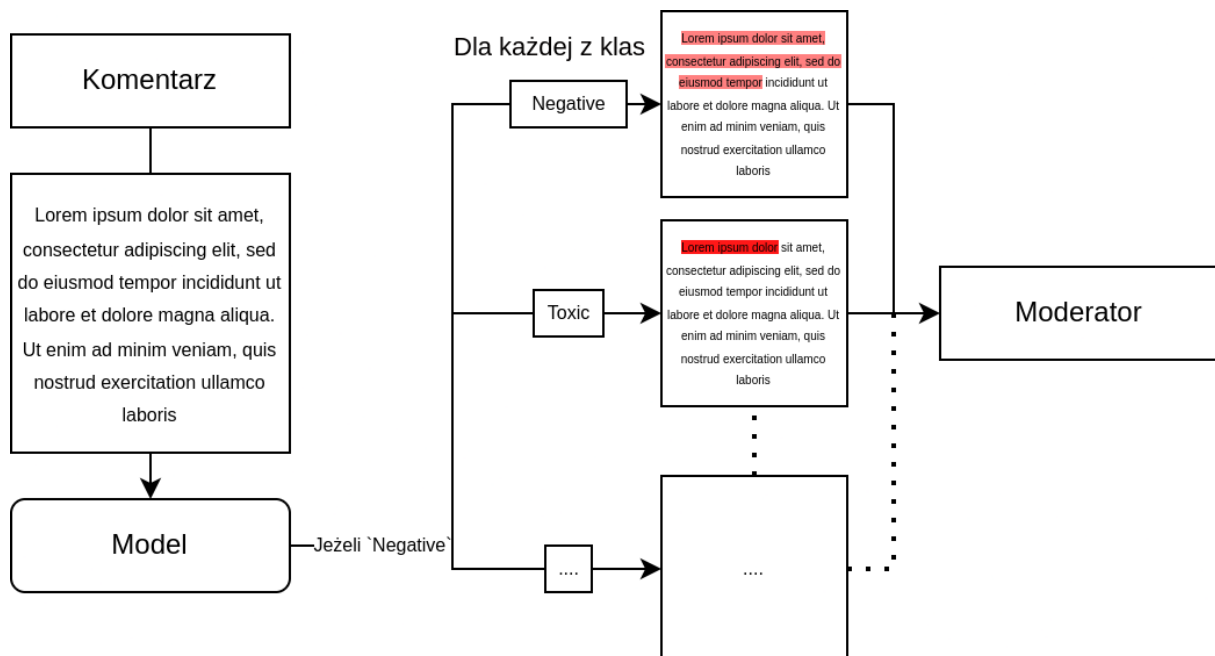
Rozwiązanie zostało pierwszy raz zaprezentowane podczas wydarzenia BITEHack 2022 [16], a dostępne jest w ramach repozytorium GitHub Koła Naukowego Machine Learning Politechniki Rzeszowskiej [17]. Aby zająć się kwestią wykrywania i klasyfikowania nastrojów w tekście, przedstawiono rozwiązanie oparte na uczeniu maszynowym, które składa się z dwóch komponentów: wykrywania nastrojów i klasyfikacji nastrojów. Aby przeprowadzić analizę nastrojów, rozwiązanie wykorzystuje szereg zaawansowanych narzędzi i bibliotek. Użyta została biblioteka Hugging Face Transformers [18], która udostępnia wstępnie wytrenowane modele NLP, takie jak BERT i GPT. Modele te, wytrenowane na ogromnych ilościach danych tekstowych, umożliwiają tworzenie potężnych systemów do różnych zadań, w tym analizy nastrojów. Aby zinterpretować wyniki modelu, zastosowano SHAP (SHapley Additive exPlanations), narzędzie pozwalające zrozumieć, które cechy wejściowe mają największy wpływ na wyniki [19]. W naszym systemie szeroko wykorzystano również biblioteki NumPy i Pandas, które zapewniły niezbędne narzędzia do skutecznej manipulacji i analizy danych [20-21]. Wszystkie te operacje były wspierane przez bibliotekę Scipy, zapewniającą niezbędne narzędzia do obliczeń naukowych i technicznych [22]. Do efektywnego szkolenia i implementacji naszych modeli wykorzystano PyTorch, bibliotekę uczenia maszynowego, która umożliwia wydajne szkolenie

głębokich sieci neuronowych [23]. Ponadto, aby ułatwić implementację, wykorzystano moduły AutoTokenizer i AutoModelForSequenceClassification z biblioteki Transformers. Ułatwiły one załadowanie odpowiednich tokenizerów i modeli do klasyfikacji sekwencji [18].



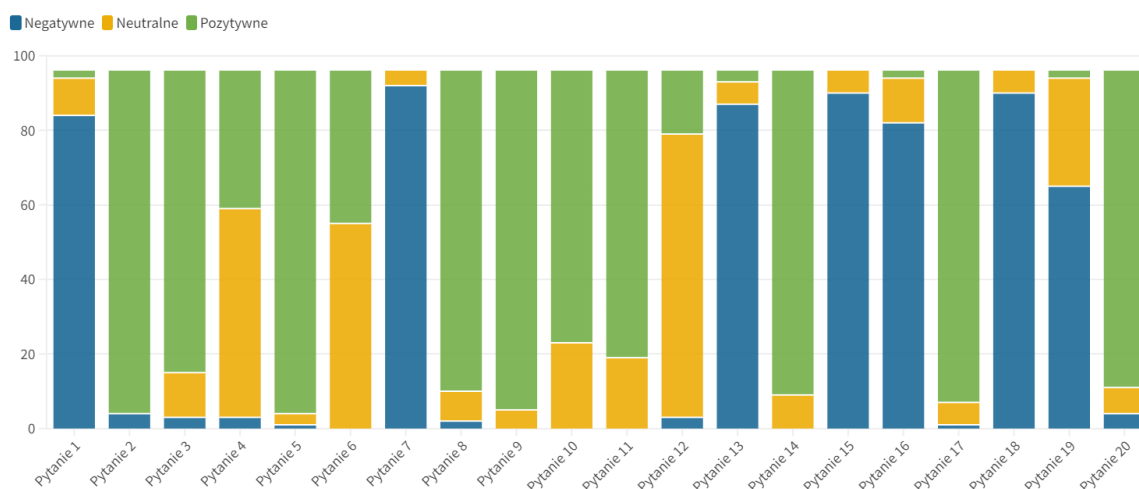
Rys. 1. Wykrywanie emocji w tekście pisany
Źródło: Opracowanie własne

Pierwsza część rozwiązania polega na rozpoznaniu obecności sentymentu w danym tekście. W tym celu używamy klasyfikatora binarnego, który kategoryzuje zdanie lub akapit jako zawierający sentyment bądź nie. Model ten został przeszkolony na dużym zestawie tekstów z oznaczonym nastrojem, dzięki czemu nauczył się rozpoznawać wzorce językowe i wskazówki, które często towarzyszą treściom emocjonalnym. Ten binarny klasyfikator może skutecznie odfiltrować każdy tekst, który nie zawiera sentymentu, co pomaga zmniejszyć ilość danych, które należy przetworzyć w następnym etapie naszego rozwiązania. Jest to widoczne na Rys. 1



Rys. 2. Moderacja treści z wykorzystaniem narzędzia
Źródło: Opracowanie własne

Po przefiltrowaniu tekstu tak, aby zawierał tylko treści z sentymentem, przekazujemy te dane do drugiego komponentu naszego systemu, modelu klasyfikacji sentymentu. Model ten ma za zadanie określić charakter sentymentu wyrażonego w tekście: pozytywny, negatywny lub neutralny. Co więcej, w ramach klasy "negatywnej" zagłębiamy się głębiej, aby sklasyfikować tekst do bardziej szczegółowych kategorii, takich jak "toxic", "severe_toxic", "obscene", "threat", "insult" i "identity_hate". Ta szczegółowa klasyfikacja pozwala nam lepiej zrozumieć kontekst i nasilenie negatywnych nastrojów, co może być niezwykle przydatne w aplikacjach takich jak moderowanie treści (Rys. 2). Oba te modele opierają się na architekturze Transformer, a modele te zostały precyzyjnie dostrojone do naszych konkretnych zadań, wykorzystując wstępnie wytrenowane modele uzyskane z Huggingface.io oraz zostały szeroko przetestowane pod kątem dokładności w różnych zadaniach.



Rys. 3. Odpowiedzi respondentów w ankiecie ewaluacyjnej narzędzia
Źródło: Opracowanie własne

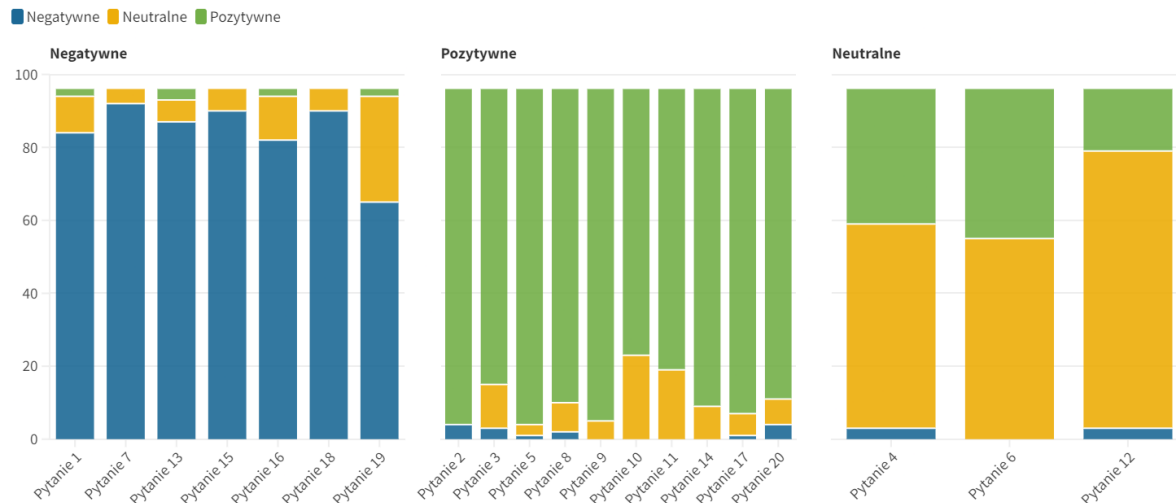
Aby wejść w interakcję z naszym systemem, użytkownicy wprowadzają swoje dane tekstowe, a system zwraca klasyfikację nastrojów wraz z wynikiem zaufania. Wynik ten jest miarą tego, jak bardzo model jest pewny swojej klasyfikacji. Podając ten wynik, możemy dać użytkownikom poczucie, jak wiarygodna jest analiza nastrojów dla każdego fragmentu tekstu.

EWALUACJA DZIAŁANIA NARZĘDZIA

W celu ewaluacji działania przygotowano ankietę, w formie arkusza Google Forms, dostępną pod linkiem [24]. Ankiety rozesłano wśród członków Koła Naukowego Machine Learning, a także studentów kierunków „informatyka” oraz „inżynieria i analiza danych” na Politechnice Rzeszowskiej i uzyskano 91 odpowiedzi, zgromadzonych w pliku dostępnym pod tym linkiem [17]. Odpowiedzi udzielone w ankiecie zsumowano na Rys 3., zaś odpowiedzi udzielone przez narzędzie podsumowano na wykresie z Rys. 4. Interpretując te wyniki można potwierdzić, że w każdym z przypadków stworzony model dokonał analizy nastrojów wypowiedzi zgodnej z odpowiedziami udzielonymi przez respondentów, co świadczyć może o dobrym dobraniu jego parametrów i wysokiej skuteczności detekcji sentymentu.

PODSUMOWANIE

Opracowane rozwiązanie do analizy sentymentu jest elastyczne i można je łatwo dostosować. Przykładowo, można je rozszerzyć do analizy innych form mediów, takich jak wideo lub audio, wykorzystując usługi transkrypcji do konwersji wypowiedzanych słów na tekst. Elastyczność rozwiązania pozwala również na włączenie nowych kategorii do klasyfikacji tekstu. Na przykład nowy model wyszkolony do identyfikowania bardziej specyficznych negatywnych zachowań może zastąpić obecny moduł klasyfikacji negatywnego tekstu, a moduł objaśniania modelu może nadal wyjaśniać jego przewidywania.



Rys. 4. Wyniki modelu
Źródło: Opracowanie własne

Kolejną istotną cechą rozwiązania jest jego skalowalność. Może ono obsługiwać zarówno krótkie, jak i długie teksty wejściowe, dzięki czemu nadaje się do różnych typów treści i długości, od krótkich komentarzy w mediach społecznościowych po długie posty na blogu. Modułowość, zdolność adaptacji i skalowalność naszego rozwiązania do analizy sentymentu sprawiają, że rozwiązanie to jest solidnym i wszechstronnym narzędziem do moderowania i poprawy jakości interakcji online i może znaleźć potencjalne zastosowanie w realnych zastosowaniach.

LITERATURA

- [1] Hamborg F., Donnay K., NewsMTSC: A Dataset for (Multi-)Target-dependent Sentiment Classification in Political News Articles. Proceedings of the 16th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics: Main Volume, 2021.
- [2] Stone P.J., Dunphy D.C., Smith M.S., The general inquirer: A computer approach to content analysis. MIT Press, Cambridge, MA, 1966.
- [3] Gottschalk L.A., Gleser G.C., The measurement of psychological states through the content analysis of verbal behavior. Univ of California Press, 1969.
- [4] Volcani Y., Fogel D.B., System and method for determining and controlling the impact of text. USA Issued 7,136,877, published June 28, 2001.

- [5] Turney P., Thumbs Up or Thumbs Down? Semantic Orientation Applied to Unsupervised Classification of Reviews. Proceedings of the Association for Computational Linguistics, pp. 417–424, 2002. arXiv:cs.LG/0212032.
- [6] Pang B., Lee L., Vaithyanathan S., Thumbs up? Sentiment Classification using Machine Learning Techniques. Proceedings of the Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP), pp. 79–86, 2002.
- [7] Qu Y., Shanahan J., Wiebe J., Exploring attitude and affect in text: Theories and applications. In AAAI Spring Symposium, Technical report SS-04-07. AAAI Press, Menlo Park, CA, 2004.
- [8] Hu M., Liu B., Mining and Summarizing Customer Reviews. Proceedings of KDD 2004.
- [9] Sharma R., Somani, Kumar, Bhattacharyya, Sentiment Intensity Ranking among Adjectives Using Sentiment Bearing Word Embeddings. Association for Computational Linguistics, pp. 547–552, 2017.
- [10] Riloff E., An empirical study of automated dictionary construction for information extraction in three domains. Artificial Intelligence, 85 (1): 101–134, 1996. doi:10.1016/0004-3702(95)00123-9. ISSN 0004-3702.
- [11] Riloff E., Jones R., Learning dictionaries for information extraction by multi-level bootstrapping. AAAI '99/IAAI '99: Proceedings of the Sixteenth National Conference on Artificial Intelligence and the Eleventh Innovative Applications of Artificial Intelligence Conference Innovative Applications of Artificial Intelligence, pp. 474–479, 1999.
- [12] Thelen M., Riloff E., A bootstrapping method for learning semantic lexicons using extraction pattern contexts. Proceedings of the ACL-02 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing - Volume 10. EMNLP '02. USA: Association for Computational Linguistics, pp. 214–221, 2002. doi:10.3115/1118693.1118721. S2CID 137155.
- [13] Liu B., Sentiment Analysis and Opinion Mining. Synthesis Lectures on Human Language Technologies, 5 (1): 1–167, 2012. doi:10.2200/S00416ED1V01Y201204HLT016. ISSN 1947-4040.
- [14] Deng S., Mitsubuchi T., Shioda K., Shimada T., Sakurai A., Combining Technical Analysis with Sentiment Analysis for Stock Price Prediction. 2011 IEEE Ninth International Conference on Dependable, Autonomic and Secure Computing. IEEE, pp. 800–807, 2011. doi:10.1109/dasc.2011.138. ISBN 978-1-4673-0006-3. S2CID 15262023.
- [15] Nguyen K.V., Nguyen V.D., Nguyen P.X.V., Truong T.T.H., Nguyen N.L.-T., UIT-VSFC: Vietnamese Students' Feedback Corpus for Sentiment Analysis. 2018 10th International Conference on Knowledge and Systems Engineering (KSE). Vietnam: IEEE, pp. 19–24, 2018. doi:10.1109/KSE.2018.8573337. ISBN 978-1-5386-6113-0. S2CID 56172224.
- [16] Strona wydarzenia BITEHack, <https://bitehack.best.krakow.pl/>, dostęp dnia 12.06.2023 roku.
- [17] Repozytorium GitHub stworzonego narzędzia, <https://github.com/knmlprz/BITEHack>, dostęp dnia 12.06.2023 roku.
- [18] Wolf T. et al., Huggingface's transformers: State-of-the-art natural language processing. arXiv preprint arXiv:1910.03771, 2019.
- [19] Lundberg S.M., Lee S.-I., A unified approach to interpreting model predictions. Advances in neural information processing systems 30, 2017.
- [20] Harris C.R., Millman K.J., van der Walt S.J. et al., Array programming with NumPy. Nature 585, 357–362, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2>.

- [21] McKinney W., Pandas: a foundational Python library for data analysis and statistics. Python for high performance and scientific computing 14.9, pp. 1-9, 2011.
- [22] Virtanen P., Gommers R., Oliphant T.E. et al., SciPy 1.0: fundamental algorithms for scientific computing in Python. Nat Methods 17, 261–272, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41592-019-0686-2>.
- [23] Paszke A., et al., Pytorch: An imperative style, high-performance deep learning library. Advances in neural information processing systems 32, 2019.
- [24] Ankieta ewaluacyjna stworzonego narzędzia, <https://forms.gle/GCBXUe1eG4CcDFmi8> , dostęp dnia 12.06.2023 roku.

MONIKA FLEJSZAR¹, MAŁGORZATA SROKA¹, MICHAŁ SROKA¹, IZABELA ZABORNIAK¹, PAWEŁ CHMIELARZ¹

Innowacyjne koncepcje syntezy polimerów technikami polimeryzacji rodnikowej z przeniesieniem atomu (ATRP)

Summary

Atom transfer radical polymerization (ATRP) techniques are now one of the most widely used tools by researchers to synthesize macromolecules with complex structures and predefined properties. The monograph presents leading research directions focusing on I) the synthesis of functional macromolecules by photo-initiated radical polymerisation methods, II) the development of methods for the synthesis of polymer brushes on planar surfaces at the microlitre scale, and III) the use of unconventional solvents as a reaction environment inspired by the principles of green chemistry that is also a source of reducing agents in such synthesis.

Key words: *polymers, green chemistry, innovation*

1. Wstęp

Techniki polimeryzacji rodnikowej z przeniesieniem atomu (ATRP) stanowią obecnie jedno z najchętniej stosowanych przez naukowców narzędzi do syntezy makrocząsteczek o złożonej budowie i predefiniowanych właściwościach. Od niemal 30 lat, stale rośnie lista prac opisujących najnowsze doniesienia w zakresie innowacyjnych koncepcji syntez polimerów. Dzięki swoim zaletom techniki ATRP umożliwiają syntezę różnorodnych struktur począwszy od polimerów liniowych poprzez szczotki butelkowe, aż do złożonych struktur np. o topologii gwiazd. Prace prowadzone w grupie badawczej prof. dr hab. inż. Pawła Chmielarza (Chmielarz Research Group, CRG) działającej w Katedrze Chemii Fizycznej Wydziału Chemicznego Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza również wpisują się w najnowsze trendy badawcze obejmujące poszukiwanie inspirowanych zasadami zielonej chemii sposobów syntezy materiałów polimerowych. Członkowie wyżej wspomianej grupy oraz Studenckiego i Doktoranckiego Koła Naukowego Inżynierii Chemicznej i Farmaceutycznej „IPSUM” czynnie uczestniczą w pracach eksperymentalnych w szczególności skupiających się na: I) syntezie funkcjonalnych makrocząsteczek metodami foto-inicjowanej polimeryzacji rodnikowej [1, 2], II) opracowywaniu metod syntezy szczotek polimerowych na powierzchniach płaskich w skali mikrolitrowej [3], oraz III) zastosowaniu niekonwencjonalnych rozpuszczalników w roli środowiska reakcji inspirowanego zasadami zielonej chemii stanowiącego również źródło czynników redukujących w syntezie [4].

2. Synteza polimerów z wykorzystaniem światła

Światło jako powszechnie dostępny, względnie bezpieczny i ekonomiczny czynnik niechemiczny przyciąga uwagę jako czynnik inicjujący w technikach kontrolowanej polimeryzacji rodnikowej, wśród

¹ Politechnika Rzeszowska, Studenckie i Doktoranckie Koło Naukowe Inżynierii Chemicznej i Farmaceutycznej "IPSUM"

których jednym z najnowszych osiągnięć jest kontrolowana światłem widzialnym ATRP bez wykorzystania kompleksu metalu przejściowego (metal-free ATRP) [5]. Największą zaletą wspomnianej metody w porównaniu do pozostałych technik ATRP jest wyeliminowanie z układu toksycznego metalicznego kompleksu katalitycznego stwarzając przy tym możliwość otrzymywania dobrze zdefiniowanych materiałów polimerowych o różnorodnej strukturze [6].

Rolę katalizatora w metal-free ATRP pełnią substancje światłoczułe, zwane fotokatalizatorami. Są to substancje posiadające zdolność do przekształcania energii świetlnej w energię chemiczną, co skutkuje utworzeniem wolnych rodników, które inicjują polimeryzację [7]. Poszukiwanie najefektywniejszych fotoinicjatorów było i nadal jest dużym wyzwaniem. Pod lupę brane jest wiele czynników, między innymi: potencjał redukujący związku chemicznego, co bezpośrednio determinuje efektywność procesu, jego stabilność termiczna, a także trwałość stanów wzbudzonych. O doborze rodzaju fotokatalizatora decyduje ponadto jego maksimum długości fali absorpcji (λ_{\max}) i molowy współczynnik ekstynkcji (ϵ) [8].

Fotokatalizatory wykorzystywane w polimeryzacji rodnikowej z przeniesieniem atomu dzielą się na dwie grupy, w zależności od mechanizmu tworzenia wolnych rodników [6]. Związane jest to ściśle z dwiema koncepcjami metal-free ATRP. Wyróżniamy fotokatalizatory typu I – działające według mechanizmu oksydacyjnego wygaszania. Są to związki chemiczne o silnym potencjale redukującym, co umożliwia aktywację inicjatora, prowadząc do utworzenia rodników inicjujących polimeryzację. Jednocześnie wytwarzany kationorodnik fotokatalizatora oraz kompleks anionu halogenowca (najczęściej bromu) pełnią funkcję dezaktywatora, który ułatwia zakończenie propagujących łańcuchów polimerowych poprzez reakcję redoks [9]. Natomiast fotokatalizatory typu II funkcjonują zgodnie z koncepcją tzw. redukcyjnego wygaszania. Związki te aktywują inicjator w syntezie, jednakże w tym celu wymagana jest obecność struktur pełniących rolę donorów elektronów lub donorów wodoru. W związku z tym wymagają dodatkowego współinicjatora w celu wytworzenia rodników [10].

Grupę fotokatalizatorów typu II stanowią barwniki organiczne z niedoborem elektronów. Są to w dużej mierze łatwo dostępne i ekonomiczne substancje, co stanowi ich niewątpliwą zaletę w porównaniu z katalizatorami typu I. Sztandarowy przykład komercyjnie dostępnych związków chemicznych tego typu stanowi ryboflawina – witamina B2 [11]. Bogatym jej źródłem są mięso, ziemniaki, suche nasiona roślin strączkowych (fasola, groch, soja) oraz produkty zbożowe [12]. Ta naturalnie występująca substancja chemiczna pod wpływem światła w szerokim zakresie długości fali, może przyjąć i stracić parę atomów wodoru poprzez procesy redukcji i utleniania. Jej światłoczułe właściwości związane są z obecnością pierścienia izoalloksazynowego [13]. Jednak jako fotokatalizator typu II do efektywnego działania wymaga donoru elektronu, którego funkcję, jak dowiodły badania, może pełnić również szeroko dostępna substancja pochodzenia naturalnego – kwas askorbinowy (witamina C) [14]. Co więcej, witamina B2 posiada w swojej budowie część rybitolową z czterema reaktywnymi grupami hydroksylowymi. Ta część jest doskonałym kandydatem do wprowadzenia atomu halogenowca, tworząc skuteczny inicjator ATRP. Grupa badawcza CRG z powodzeniem uzyskała inicjatory ATRP o rdzeniu ryboflawiny z zarówno dwoma, jak i czterema miejscami inicjacji [13, 15].

Kolejnym przykładem zastosowanej fotoczułej substancji pochodzenia naturalnego, zdolnej efektywnie katalizować polimeryzację rodnikową o kontrolowanym charakterze jest kurkumina. Jest to rodzaj fotokatalizatora o panchromatycznej absorpcji światła, dlatego fotopolimeryzacja z jej udziałem może być kontrolowana przez światło o różnych długościach fal (od ultrafioletowego do światła czerwonego). Bogatym źródłem kurkuminy jest przyprawa kuchenna – kurkuma [16]. Ten właśnie produkt został wykorzystany jako ekonomiczny zamiennik kurkuminy o czystości laboratoryjnej.

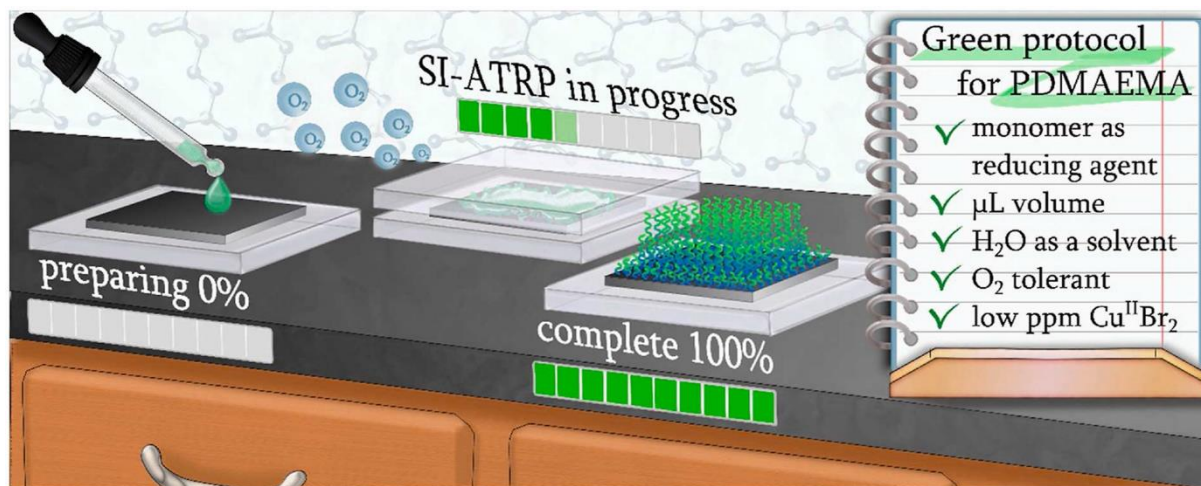
Polimeryzacja kontrolowana przez kurkumę oferowaną przez jedną z dostępnych na rynku marek charakteryzowała się kontrolowanym przebiegiem, porównywalnym z kurkumina o czystości laboratoryjnej, skutkując otrzymaniem produktu o dobrze zdefiniowanej masie cząsteczkowej oraz o wąskim rozrzucie mas cząsteczkowych [1] (rys. 1).



Rys. 1. Typy przypraw wykorzystanych do syntezy metakrylanów z zastosowaniem kurkumy jako fotokatalizatora [1]

3. Polimeryzacja w skali mikrolitrowej

Jednym z interesujących sposobów modyfikacji powierzchni oraz syntezy materiałów funkcjonalnych jest wykorzystanie układów kontrolowanych dyfuzyjnie i umożliwiających otrzymanie szczotek polimerowych z wykorzystaniem mikrolitrowych ilości reagentów. Szczotki polimerowe to kowalencyjnie przyłączone do powierzchni łańcuchy polimerów, najczęściej posiadające w swojej strukturze grupy funkcyjne, które odpowiadają za charakterystykę uzyskanego materiału. Okazuje się, że zredukowanie ilości stosowanej mieszaniny reakcyjnej pozwala na otrzymanie dobrze zdefiniowanych, gęsto szczepionych szczotek polimerowych o gęstości nawet do 0,94 łańcucha na nm^2 modyfikowanej powierzchni. Tym samym, zastosowanie nawet niewielkich objętości roztworu jak $1 \mu\text{L}/\text{cm}^2$ może znacząco zmodyfikować właściwości powierzchniowe materiału [3] (rys. 2). Szerokie możliwości stosowania powierzchniowo inicjowanej ATRP (SI-ATRP) w skali μL wykazano poprzez syntezę szczotek kopolimerowych, utworzenie struktur o rozbudowanej architekturze i szczotek gradientowych oraz modyfikację różnorodnych materiałów począwszy od tkanin pochodzenia naturalnego do hydrożeli. Ze względu na mechanizm ATRP, do tej pory opracowano trzy główne koncepcje syntezy w skali mikrolitrowej, stosując w roli reduktora kompleksu katalitycznego metaliczną blaszkę, światło o różnej długości fali lub prąd elektryczny.



Rys. 2. Koncepcja syntezy szczotek PDMAEMA w skali mikrolitrowej [17]

Koncepcja wykorzystująca metaliczną blaszkę do syntezy szczotek polimerowych jest niejako modyfikacją techniki ATRP z regeneracją aktywatorów przez przeniesienie elektronu i aktywację pomocniczą (SARA ATRP) przeprowadzanej w szczelnie zamkniętej kolbie typu Schlenk, w której w roli reduktora i pomocniczego aktywatora stosuje się drut miedziany lub metaliczną miedź w postaci proszku. Zazwyczaj metal stosowany w syntezach techniką SARA ATRP przygotowywany jest w postaci skręconego spiralnie drutu lub rurki, przez co ze względu na swój rozmiar czyni technikę tę niepraktyczną w kontekście jej przeskalowania. Dodatkowo konieczność prowadzenia syntezy w atmosferze gazu obojętnego oraz stosowania dużych objętości odczynników sprawia, że zastosowanie techniki SARA ATRP do funkcjonalizacji powierzchni płaskich staje się czasochłonne i kosztowne. Rozwiązaniem wskazanych niedogodności jest zastosowanie tzw. układu dwupłytkowego umożliwiające funkcjonalizację powierzchni płaskich z wykorzystaniem mikrolitrowych objętości mieszaniny reakcyjnej. W tym przypadku modyfikowana powierzchnia zostaje pokryta warstwą mieszaniny reakcyjnej i przyłożona płytką metalu tworząc tzw. „kanapkę”. Tego typu rozwiązanie z powodzeniem zastosowano do syntezy różnorodnych szczotek polimerowych [18].

Innym sposobem umożliwiającą modyfikację powierzchni w skali mikrolitrowej jest wykorzystanie układów fotoinicjowanych, które umożliwiają zachodzenie procesów polimeryzacji wykorzystując energię pochodzącą ze światła – w tym przypadku czynnikiem redukującym kompleks katalityczny do formy aktywnej jest kwant energii emitowanej przez promieniowanie. Aby zminimalizować ilość reagentów niezbędnych do efektywnej funkcjonalizacji, na powierzchnię modyfikowanego materiału najczęściej nanoszone jest kilka kropeł mieszaniny reakcyjnej. Następnie powierzchnia z roztworem zostaje przyłożona szkiełkiem i wystawiona na działanie promieni świetlnych [19]. Co ciekawe, możliwe jest również prowadzenie tego typu polimeryzacji z wykorzystaniem światła słonecznego.

Z dokonanego studium literaturowego wynika, że najmniej uwagi w kontekście minimalizacji i uproszczenia układu eksperymentalnego do skali mikrolitrowej poświęcono technice elektrochemicznie kontrolowanej ATRP. Dostrzegając potencjał aplikacyjny technik elektrochemicznie

kontrolowanej polimeryzacji członkowie Chmielarz Research Group w ostatnim czasie opracowali autorską koncepcję syntezy wzorzystych szczotek polimerowych stosując w tym celu odpowiednio zbudowany układ eksperymentalny umożliwiający prowadzenie reakcji w warunkach otoczenia. Co istotne, na powierzchniach płytek krzemowych otrzymano szczotki polimerowe bez konieczności szczelnego zamknięcia oraz odgazowania mieszaniny reakcyjnej [20].

4. Niekonwencjonalne rozpuszczalniki do syntezy materiałów funkcjonalnych

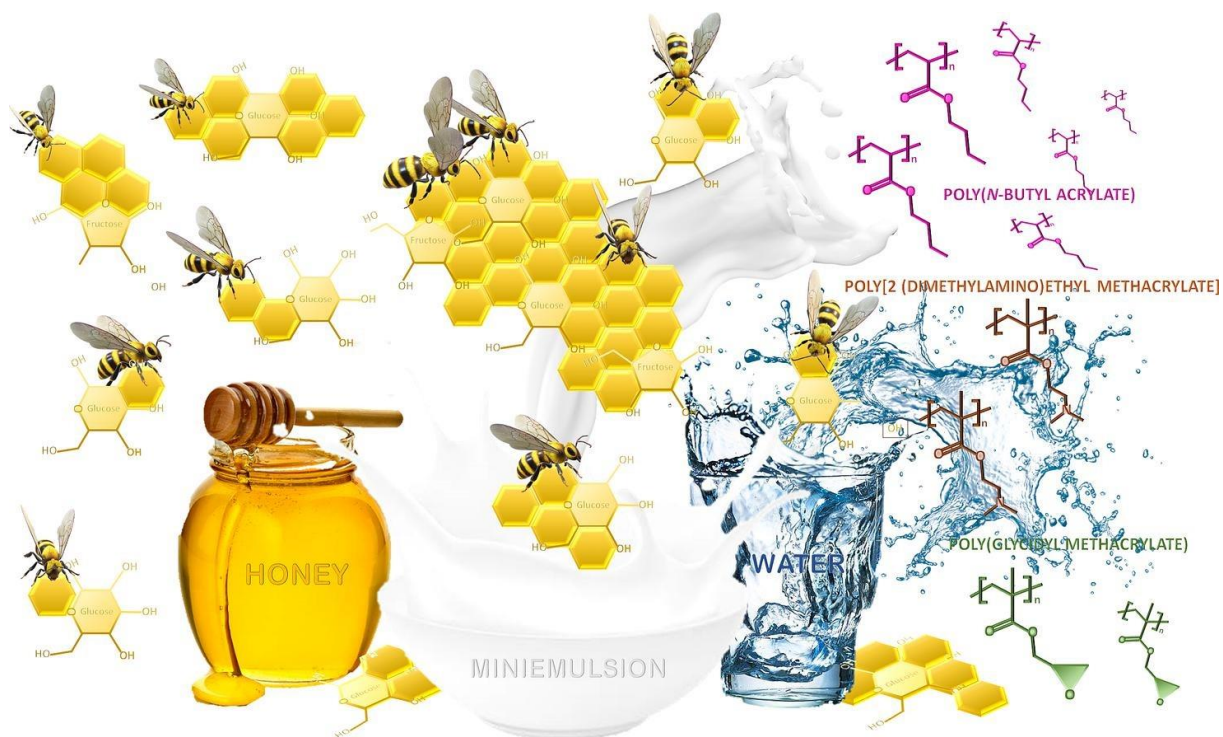
Jednym z najważniejszych wyzwań współczesnego przemysłu chemicznego jest optymalizacja układów reakcyjnych w taki sposób, aby prowadzić syntezy organiczne w sposób efektywny przy jednoczesnej redukcji kosztów procesu i jego negatywnego wpływu na środowisko. Interesującym sposobem realizacji tych założeń jest wykorzystywanie roztworów bądź ekstraktów substancji pochodzenia naturalnego. Mogą pełnić one funkcję ekologicznego środowiska reakcyjnego, a także stanowić źródło kosubstratów, inicjatorów bądź katalizatorów optymalizowanej syntezy. Powyższą ideę wykorzystano do opracowania kilku metod syntezy polimerów o ściśle określonej strukturze z wykorzystaniem techniki ATRP, w której aktywatory regenerowane są poprzez przeniesienie elektronu z chemicznego czynnika redukującego (ARGET ATRP).

Polimeryzacja rodnikowa z przeniesieniem atomu wymaga obecności w układzie reakcyjnym katalizatora o charakterze związku kompleksowego metalu przejściowego i organicznego liganda. W technice ARGET ATRP do układu wprowadza się ponadto czynnik redukujący (donor elektronów), który tworząc z katalizatorem dodatkowy układ redoks, umożliwia jego ciągłą regenerację w trakcie polimeryzacji. W konsekwencji wyjściowe stężenie katalizatora może zostać znacznie zredukowane (do wielkości rzędu kilku ppm). W klasycznym ujęciu, synteza hydrofilowych polimerów za pomocą ARGET ATRP była przeprowadzana z wykorzystaniem wody destylowanej jako rozpuszczalnika i kwasu askorbinowego czystości laboratoryjnej jako czynnika redukującego.

W toku prowadzonych badań zaproponowano wykorzystanie czterech środowisk reakcyjnych, opartych o powszechnie dostępne produkty pochodzenia naturalnego. Pierwszym z nich jest świeży ekstrakt z cytryny, stanowiący bogate źródło kwasów askorbinowego i cytrynowego, który również pełni funkcję donora elektronów. Podczas eksperymentu przeprowadzono porównawcze syntezy poli(metakrylanu 2-(dimetyloaminoetylu)) (PDMAEMA) w wodzie oraz w świeżym 10% ekstrakcie z cytryny. Analiza otrzymanych rezultatów wykazała, że reakcja prowadzona w ekstrakcie w porównaniu do reakcji w wodzie zachodzi z nawet 4-krotnie większą wydajnością inicjacji, ponad 2-krotnie większą szybkością oraz pozwala na otrzymanie polimerów o najwęższym rozrzucie mas cząsteczkowych (co świadczy o kontrolowanym charakterze polimeryzacji). Ponadto wykazano, iż najwyższa efektywność procesu ma miejsce w temperaturze pokojowej, co pozwala na redukcję kosztów związanych z koniecznością doprowadzenia ciepła do układu reakcyjnego. Reakcję przeprowadzono także w komercyjnie dostępnych napojach cytrynowych: soku oraz piwie 0% i 3,5% – uzyskano satysfakcjonujące rezultaty, jednakże nie tak obiecujące, jak w przypadku świeżego ekstraktu [21].

Rolę czynnika redukującego w ARGET ATRP mogą pełnić także monosacharydy takie, jak glukoza i fruktoza. Produktem pochodzenia naturalnego szczególnie bogatym w te substancje jest miód. Do badań wykorzystano kilka jego rodzajów – m.in. miód wielokwiatowy, rzepakowy i lipowy. Przeprowadzono polimeryzację DMAEMA w 10% roztworze miodu oraz w wodzie z dodatkiem czystej glukozy. Synteza w roztworze miodu odznaczała się niemal 100% wydajnością inicjacji, 98% konwersją

monomeru i aż 30-krotnie większą szybkością niż reakcja w wodzie. Jest to bardzo obiecujące z ekonomicznego punktu widzenia – wykorzystanie miodu zamiast roztworu glukozy jest ok. 59-krotnie tańsze. W dalszym etapie badań zastosowano wskazane środowisko reakcyjne do wytworzenia miniemulsji – heterogenicznego układu, pozwalającego na wydajną polimeryzację hydrofobowych polimerów w środowisku wodnym [22] (rys. 3).



Rys. 3. Koncepcja syntezy polimerów w środowisku miniemulsji z zastosowaniem monosacharydów w roli czynnika redukującego [22]

Jednym z najpopularniejszych współcześnie napojów jest kawa – z chemicznego punktu widzenia mieszanina pełna antyoksydantów takich, jak kwasy fenolowe i kofeina. Z tego względu ekstrakt z ziaren kawy może potencjalnie pełnić rolę środowiska reakcyjnego w ARGET ATRP. Do badań wykorzystano ekstrakty z ziaren Arabica i Robusta. Wykazano, iż reakcja w ekstrakcie z mieszaniny ziaren obu gatunków w stosunku 1:1 charakteryzuje się wyższą efektywnością niż reakcja w roztworze czystej kofeiny, a także wymaga niższego wyjściowego stężenia katalizatora. Ponadto syntezowane w ten sposób polimery wyróżniają się węższym rozrzutem mas cząsteczkowych, co świadczy o lepszej kontroli procesu polimeryzacji [23].

Najnowsze badania wykazały szeroki potencjał zastosowania czerwonego wina jako środowiska do syntezy polimerów techniką ARGET ATRP. Wino stanowi źródło kwasu askorbinowego oraz siarczanów (III), które również wykazują właściwości redukujące. Podobnie jak w przypadku reakcji w roztworze miodu także i wino wykorzystano do przygotowania miniemulsji. Powstały w ten sposób układ dyspersyjny (szczególnie ten zawierający wino wytrawne) doskonale sprawdził się jako środowisko reakcyjne syntezy m.in. poli(akrylanu *n*-butylu). Wykazano w ten sposób możliwość polimeryzacji hydrofobowych monomerów w środowisku wodnym, co pozwala na ograniczenie stosowania do tego celu rozpuszczalników organicznych (np. DMF). Wiąże się to z minimalizacją

toksyczności układu reakcyjnego i kosztów procesu - zastosowanie wina jest ok. 34-krotnie tańsze niż zastosowanie DMF [24].

5. Podsumowanie

Innowacyjne koncepcje syntezy polimerów technikami polimeryzacji rodnikowej z przeniesieniem atomu stanowią niewątpliwie bardzo interesujący i szeroki obszar badań. Przytoczone przykłady są jedynie wybranym zakresem prac badawczych realizowanych przez Chmielarz Research Group oraz Studenckie i Doktoranckie Koło Naukowe Inżynierii Chemicznej i Farmaceutycznej „IPSUM”. Udoskonalanie istniejących oraz opracowywanie nowych odmian technik polimeryzacji rodnikowej z odwracalną dezaktywacją wciąż pozostawia wiele wyzwań, a największe z nich to: a) eliminacja metalicznego kompleksu katalitycznego poprzez zastosowanie fotoczułych katalizatorów, b) możliwość prowadzenia polimeryzacji w sposób kontrolowany w warunkach tlenowych jak również c) ograniczenie występowania reakcji ubocznych w przypadku zastosowania przyjaznych środowisku rozpuszczalników wodnych. Biorąc jednak pod uwagę dynamiczny rozwój dziedziny jaką jest chemia polimerów oraz wzmożone wysiłki naukowców skupiających się na dogłębnym poznaniu czynników wpływających na kontrolowany charakter polimeryzacji z pewnością najbliższe lata owocować będą w szereg prac prezentujących innowacyjne pomysły syntezy materiałów funkcjonalnych oparte o wykorzystanie technik ATRP.

LITERATURA

- [1] Zaborniak I., Chmielarz P., *Comestible curcumin: From kitchen to polymer chemistry as a photocatalyst in metal-free ATRP of (meth)acrylates*, Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 2022
- [2] Zaborniak I., Chmielarz P., Wolski K., *Riboflavin-induced metal-free ATRP of (meth)acrylates*, European Polymer Journal, 2020
- [3] Ślusarczyk K., Flejszar M., Chmielarz P., *Less is more: A review of μ L-scale of SI-ATRP in polymer brushes synthesis*, Polymer, 2021
- [4] Ślusarczyk K., Flejszar M., Chmielarz P., *From non-conventional ideas to multifunctional solvents inspired by green chemistry: fancy or sustainable macromolecular chemistry?*, Green Chemistry, 2023
- [5] Treat N.J., Sprafke H., Kramer J.W., Clark P.G., Barton B.E., Read de Alaniz J., Fors B.P., Hawker C.J., *Metal-free atom transfer radical polymerization*, Journal of the American Chemical Society, 2014
- [6] Discekici E.H., Anastasaki A., Read de Alaniz J., Hawker C.J., *Evolution and future directions of metal-free atom transfer radical polymerization*, Macromolecules, 2018
- [7] Soly S., Mistry B., Murthy C., *Photo-mediated metal-free atom transfer radical polymerization: recent advances in organocatalysts and perfection towards polymer synthesis*, Polymer International, 2022
- [8] Yilmaz G., Yagci Y., *Photoinduced metal-free atom transfer radical polymerizations: state-of-the-art, mechanistic aspects and applications*, Polymer Chemistry, 2018
- [9] Bhattacharjee A., Sneha M., Lewis-Borrell L., Amoruso G., Oliver T.A., Tyler J., Clark I.P., Orr-Ewing A.J., *Singlet and triplet contributions to the excited-state activities of dihydrophenazine*,

- phenoxazine, and phenothiazine organocatalysts used in atom transfer radical polymerization*, Journal of the American Chemical Society, 2021
- [10] Lilly J.L., Gottipati A., Cahall C.F., Agoub M., Berron B.J., *Comparison of eosin and fluorescein conjugates for the photoinitiation of cell-compatible polymer coatings*, PloS one, 2018
- [11] Zaborniak I., Chmielarz P., Wolski K., *Riboflavin-induced metal-free ATRP of (meth)acrylates*, European Polymer Journal, 2020
- [12] Powers H.J., *Riboflavin (vitamin B-2) and health*, The American Journal of Clinical Nutrition, 2003
- [13] Zaborniak I., Chmielarz P., *Dually-functional riboflavin macromolecule as a supramolecular initiator and reducing agent in temporally-controlled low ppm ATRP*, eXPRESS Polymer Letters, 2020
- [14] Zaborniak I., Macior A., Chmielarz P., Najarro M.C., Iruthayaraj J., *Lignin-based thermoresponsive macromolecules via vitamin-induced metal-free ATRP*, Polymer, 2021
- [15] Zaborniak I., P. Chmielarz, K. Matyjaszewski, *Synthesis of riboflavin-based macromolecules through low ppm ATRP in aqueous media*, Macromolecular Chemistry and Physics, 2020
- [16] Anderson A.M., Mitchell M.S., Mohan R.S., *Isolation of curcumin from turmeric*, Journal of Chemical Education, 2000
- [17] Flejszar M., Ślusarczyk K., Chmielarz P., Smenda J., Wolski K., Wytrwal-Sarna M., Oszejca M., *SI-ATRP on the lab bench: A facile recipe for oxygen-tolerant PDMAEMA brushes synthesis using microliter volumes of reagents*, Polymer, 2022
- [18] Zhang T., Benetti E.M., Jordan R., *Surface-initiated Cu(0)-mediated CRP for the rapid and controlled synthesis of quasi-3D structured polymer brushes*, ACS Macro Letters, 2019
- [19] Słowikowska M., Wójcik A.J., Wolski K., Hatalak A., Zapotoczny S., *Light-promoted synthesis of surface-grafted polymers bearing pyridine groups by metal-free ATRP in microliter volumes*, Polymer, 2021
- [20] Flejszar M., Ślusarczyk K., Chmielarz P., Wolski K., Isse A.A., Gennaro A., Wytrwal-Sarna M., Oszejca M., *Working electrode geometry effect: A new concept for fabrication of patterned polymer brushes via SI-seATRP at ambient conditions*, Polymer, 2022
- [21] Zaborniak I., Sroka M., Chmielarz P., *Lemonade as a rich source of antioxidants: Polymerization of 2-(dimethylamino)ethyl methacrylate in lemon extract*, Polymer, 2022
- [22] Zaborniak I., Chmielarz P., *How we can improve ARGET ATRP in an aqueous system: Honey as an unusual solution for polymerization of (meth)acrylates*, European Polymer Journal, 2023
- [23] Surmacz K., Błoniarz P., Chmielarz P., *Coffee beverage: A new strategy for the synthesis of polymethacrylates via ATRP*, Molecules, 2022
- [24] Flejszar M., Chmielarz P., Oszejca M., *Red is the new green: Dry wine-based miniemulsion as eco-friendly reaction medium for sustainable atom transfer radical polymerization*, Journal of Applied Polymer Science 2023

FILIP SKAWIŃSKI¹, PIOTR LASKOWSKI¹, MAREK GIŻA¹, BARTOSZ PAWŁOWICZ¹

Robot typu Line Follower

Summary

This article focuses on Line Follower robots tailored for competitive racing in robotics competitions. It comprehensively explores the diverse technologies, control methods, and algorithms utilized in these robots. The article provides a detailed account of the design, implementation, and experimental results of a line follower robot, aiming to contribute to the advancement of competitive robotics within the line follower category.

Key words: *line fallower robot, robotics competition, autonomous navigation, sensor-based tracking, control algorithms, line tracking accuracy, speed optimization, competitive robots, design and implementation, racing performance*

WSTĘP

Roboty typu Line Follower od wielu lat stwarzają nieustanne wyzwanie dla inżynierów i programistów na arenie międzynarodowych zawodów robotycznych. Ci utalentowani specjaliści konkurują o osiągnięcie najkrótszych czasów ścigając się z innymi robotami na trasach o złożonym układzie. Niniejszy artykuł skupia się na zaprezentowaniu istoty robota typu line follower oraz dokładnej analizie, projektowaniu i implementacji takiego robota, który będzie w stanie konkurować na najwyższym międzynarodowym poziomie. Głównym celem jest stworzenie robota, który będzie nie tylko szybki i precyzyjny, ale także zbudowany z myślą o optymalizacji wyników na różnych trasach, które występują na międzynarodowych zawodach robotycznych. Przeanalizujemy różne metody sterowania, technologie sensorów oraz zaawansowane algorytmy śledzenia linii, które pozwolą na rozwinięcie potencjału naszego robota Line Follower. Artykuł ten dostarczy wartościowych wskazówek i wniosków dla inżynierów i programistów, oraz pozwoli rozwinąć zawody, których autorzy są współorganizatorami.

CZYM JEST LINE FOLLOWER?

W zawodach robotycznych istnieje wiele różnych typów robotów, z których każdy ma swoje unikalne zadanie. Jednym z popularnych typów robotów wykorzystywanych w zawodach robotycznych jest robot typu Line Follower. Ten rodzaj robota został zaprojektowany specjalnie do śledzenia i poruszania się po linii (Rys.1).

Robot typu Line Follower to autonomiczne urządzenie, które jest zdolne do poruszania się po wyznaczonej linii na podstawie informacji o kontrastujących kolorach lub innych sygnałach sensorycznych na powierzchni, po której się porusza. Najczęściej wykorzystuje się czujniki optyczne, takie jak fotodiody lub czujniki podczerwieni, które analizują różnice w intensywności światła odbitego

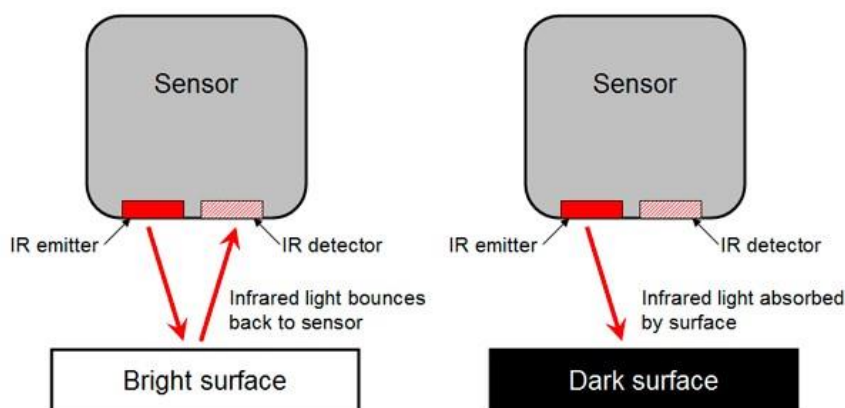
¹ Politechnika Rzeszowska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, KNEiTI

od powierzchni robota. Na podstawie tych informacji robot podejmuje decyzje dotyczące kierunku poruszania się i dostosowuje swoje działanie w celu utrzymania się na linii.



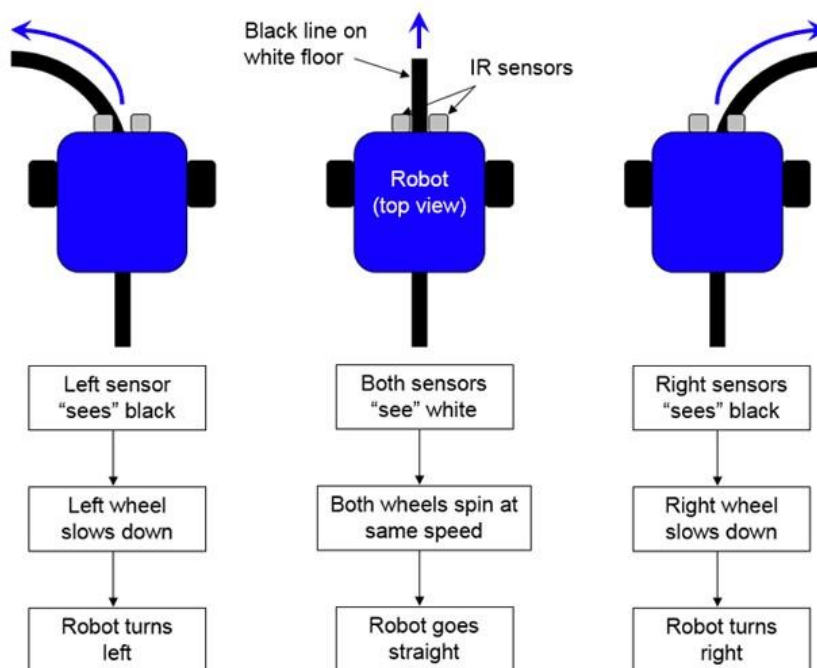
Rys. 1. Komercyjny robot typu Line Follower
Źródło: <https://www.sumozade.com/>

Robot typu Line Follower korzysta z czujników umieszczonych na swojej dolnej części, które skanują powierzchnię wokół niego w poszukiwaniu linii (Rys. 2). Czujniki rejestrują intensywność światła odbitego od podłoża i na tej podstawie określają, czy robot jest na linii, poza nią lub zbliża się do skrzyżowania lub zakrętu. Na podstawie tych informacji robot podejmuje odpowiednie działania.



Rys. 2. Zasada działania czujników Źródło:
<https://www.sciencebuddies.org/>

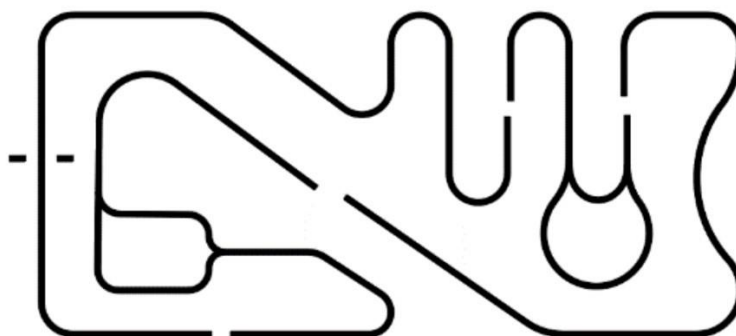
Typowe działanie robota typu Line Follower polega na zastosowaniu regulacji proporcjonalnej (ang. proportional control). Jeśli robot jest zbyt daleko od linii, skręca w kierunku, w którym czujnik wykrył większą intensywność światła. Jeśli robot zbliża się do linii, skręca w kierunku, w którym czujnik wykrył mniejszą intensywność światła. W ten sposób robot utrzymuje się na linii i podąża za nią (Rys. 3).



Rys. 3. Zasada działania algorytmu robota
Źródło: <https://www.sciencebuddies.org/>

Roboty typu Line Follower są powszechnie wykorzystywane w zawodach robotycznych, takich jak zawody "Line Follower" czy "Line Follower Maze". W tych konkurencjach roboty rywalizują ze sobą, poruszając się po zdefiniowanej trasie, która składa się z linii i różnych przeszkód (Rys. 4). Celem jest jak najszybsze i dokładne przejechanie całej trasy, nie opuszczając linii i unikając przeszkód.

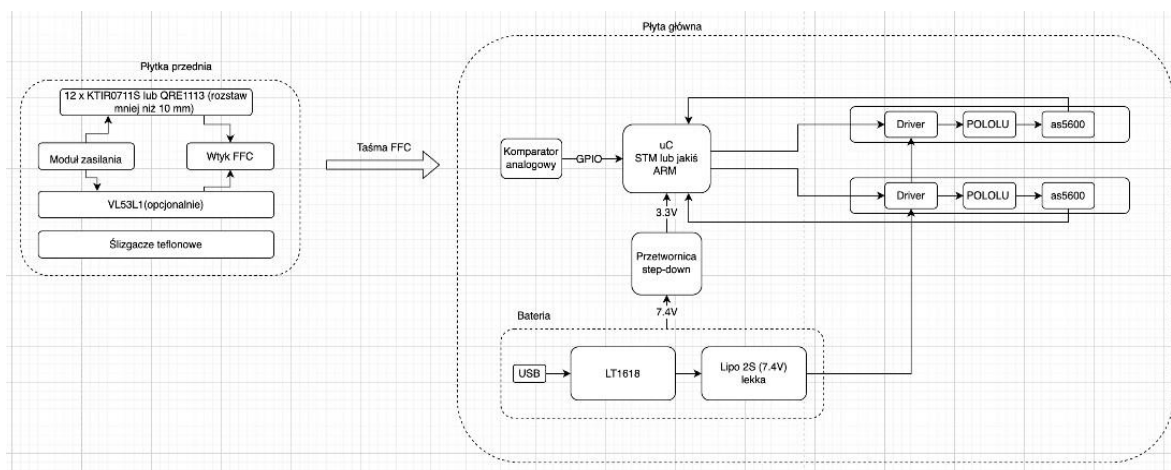
Zawody te wymagają od robotów typu Line Follower precyzyjnego śledzenia linii, szybkiego reagowania na zmiany kierunku i skomplikowanej nawigacji w trudnym terenie. Zawodnicy często doskonalą swoje umiejętności, dostosowując algorytmy regulacji i optymalizując konstrukcję swoich robotów, aby uzyskać przewagę nad konkurencją.



Rys. 4. Przykładowa trasa na zawodach Źródło:
Opracowania własne

PROJEKTOWANIE ROBOTA TYPU LINE FOLLOWER

Założeniem projektu było stworzenie robota typu Line Follower, który będzie w stanie poruszać się po wyznaczonym torze, śledząc linię na podłożu. W tym celu zalecamy wybór odpowiedniego kontrolera, takiego jak mikrokontroler STM32 (Rys. 5). W projekcie konieczne będzie również dobranie odpowiednich czujników. Dodatkowo, warto rozważyć zastosowanie czujników odległości, takich jak czujniki ultradźwiękowe lub czujniki podczerwieni, aby uniknąć kolizji z przeszkodami na trasie. Implementacja algorytmu śledzenia linii będzie kluczowa. Zaleca się zastosowanie algorytmów takich jak PID, które pozwolą na utrzymanie robota na linii i regulowanie prędkości. W ramach projektu robot Line Follower będzie również wykorzystywany do testowania tras, na których będą odbywać się zawody Line Follower. Analiza danych zebranych podczas testów pozwoli na identyfikację słabych punktów trasy i optymalizację w celu zapewnienia jak najlepszych warunków dla robota. Robot Line Follower zostanie również użyty w konkurencji, gdzie będzie rywalizował z innymi robotami tego typu. Na podstawie wyników osiągniętych podczas zawodów, robot będzie poddawany poprawkom i dostosowaniom w celu zapewnienia jak największej skuteczności.



Rys. 5. Schemat blokowy projektu
Źródło: Opracowania własne

WYBÓR KOMPONENTÓW

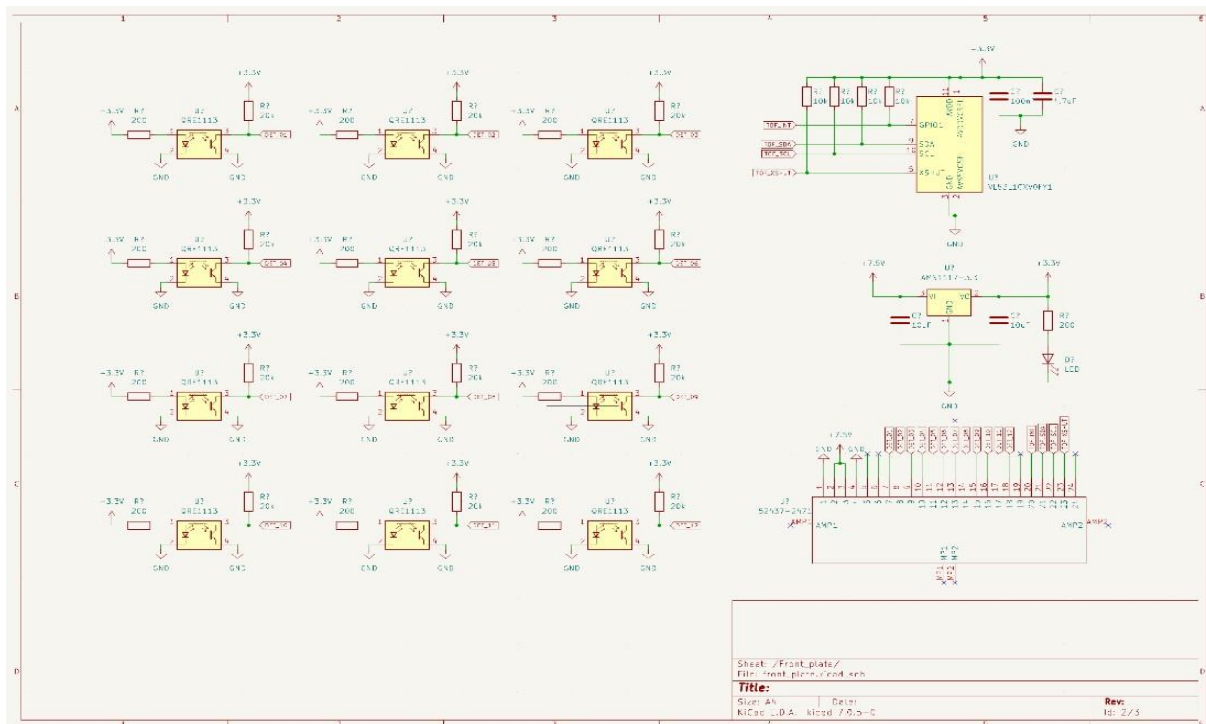
Płytkę PCB użyta w projekcie robota typu Line Follower ma za zadanie zapewnić odpowiednie połączenia elektryczne między różnymi komponentami robota. Centralnym elementem płytki jest mikrokontroler STM32, na przykład STM32F4 lub STM32F7, który oferuje dużą moc obliczeniową i odpowiednią ilość pinów wejścia/wyjścia do sterowania robotem i implementacji algorytmów śledzenia linii. Na płytce znajdują się również złącza dla czujników optycznych, takich jak fototranzystory, odpowiedzialne za detekcję linii na podłożu oraz złącza dla czujników odległości, takich jak czujniki ultradźwiękowe lub podczerwieni, służące do unikania kolizji z przeszkodami. Płytkę PCB ma także złącza dla silników poruszających robotem, umożliwiające bezpośrednie podłączenie silników krokowych lub prądu stałego w celu precyzyjnego sterowania ruchem. Znajdują się również złącza dla zasilania robota, umożliwiające podłączenie akumulatora lub innych źródeł zasilania. Oprócz tego, płytkę PCB mogą uzupełniać kondensatory, rezystory, diody i inne elementy potrzebne do stabilizacji

napięcia i ochrony przed przepięciami. Jej struktura i rozmieszczenie elementów są dostosowane do potrzeb projektu i optymalizowane pod kątem wydajności i funkcjonalności robota. Płytkę PCB stanowi kluczowy element w projekcie robota typu Line Follower, umożliwiając skuteczne połączenie i współdziałanie wszystkich komponentów, co przekłada się na sprawne działanie robota podczas śledzenia linii.

Schemat połączeń płytki przedniej (Rys. 6) jest opracowywany w programie KeyCAD, który umożliwia projektowanie płyt PCB. Na schemacie przedstawione są symbole czujników optycznych, takich jak fototranzystory, które są umieszczone na płytce przedniej. Przewody są używane do połączenia wyprowadzeń czujników z odpowiednimi pinami mikrokontrolera.

Dodatkowo, na schemacie zamieszczono elementy dodatkowe, takie jak kondensatory, rezystory lub diody, które są potrzebne do zapewnienia odpowiednich warunków pracy czujników. Mogą one być związane z zasilaniem, ochroną przed przepięciami lub innymi czynnikami, które mogą wpływać na działanie czujników.

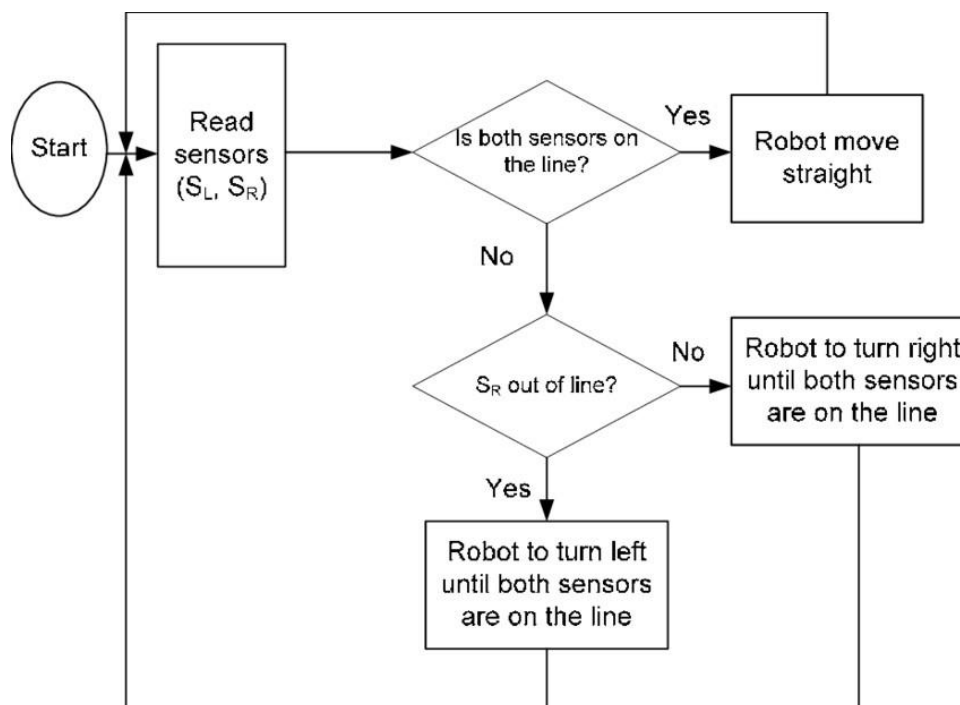
Schemat połączeń płytki przedniej jest kluczowym elementem projektu, umożliwiającym precyzyjne zaplanowanie połączeń między czujnikami a mikrokontrolerem. Dzięki temu można skutecznie monitorować linie na podłożu i reagować na zmiany w ich położeniu.



Rys. 6. Schemat połączeń płytki przedniej
Źródło: Opracowania własne

FreeRTOS (Real-Time Operating System) został wybrany jako system operacyjny czasu rzeczywistego dla robota Line Follower. FreeRTOS jest popularnym i powszechnie stosowanym systemem operacyjnym czasu rzeczywistego, który jest open-source i oferuje wielozadaniowość, planowanie w czasie rzeczywistym oraz zarządzanie zasobami w aplikacjach wbudowanych. FreeRTOS umożliwia programowanie wielowątkowe, co jest istotne dla skomplikowanych operacji śledzenia linii i sterowania robotem. Dzięki wykorzystaniu FreeRTOS, można zaimplementować różne zadania

jednocześnie, takie jak odczyt czujników, sterowanie silnikami i komunikację, co przyczynia się do lepszej wydajności i reaktywności robota Line Follower.



Rys. 7. Algorytm działania robota

Źródło: *Analysis of Line Sensor Configuration for the Advanced Line Follower Robot*

Algorytm działania robota (Rys. 7) rozpoczyna się od inicjalizacji mikrokontrolera i konfiguracji wszystkich parametrów, takich jak czujniki, silniki, prędkość robota itp. Następnie odczytywane są wartości z czujników optycznych, które rejestrują jasność lub kolor linii na podłożu. Na podstawie odczytu dokonywana jest analiza, aby określić położenie linii. Algorytm podejmuje decyzję o kierunku ruchu na podstawie analizy odczytu. Jeśli linia jest na środku, robot kontynuuje jazdę prosto. Jeśli linia jest po prawej stronie, robot skręca w lewo, a jeśli jest po lewej stronie, skręca w prawo. Algorytm przekazuje odpowiednie sygnały sterujące do silników, aby realizować żądany kierunek ruchu. Na przykład, jeśli trzeba skręcić w lewo, sygnał zmniejszający prędkość jest przekazywany silnikom po prawej stronie, a zwiększający prędkość silnikom po lewej stronie. Te kroki są powtarzane w pętli, ciągle odczytując czujniki, analizując odczyt, podejmując decyzję i sterując silnikami. Algorytm zawiera również warunki zakończenia, takie jak dotarcie do mety lub napotkanie przeszkody. Głównym celem algorytmu jest umożliwienie robotowi precyzyjnego śledzenia linii i podejmowania odpowiednich decyzji w czasie rzeczywistym.

ANALIZA WNIOSKÓW I POPRAWKI

Projekt robotów typu Line Follower dostarcza fascynujących możliwości do nauki i eksploracji technologii. Nasz ostatni projekt, mimo że miał wiele udanych rozwiązań, takich jak wydajne czujniki,

miał również pewne obszary, które wymagają poprawy. Obszary do poprawy to niska żywotność baterii, brak przyczepności kół i problemy z taśmą do połączenia płytki przedniej z płytką główną.

Po wykonaniu projektu robota typu Line Follower, istnieje kilka istotnych elementów, na które warto zwrócić uwagę. Oto trzy z nich:

1. Czujnik optyczny: Warto dokładnie ocenić wydajność i niezawodność czujnika optycznego, który służy do wykrywania linii. Ważne jest, aby czujnik był w stanie dokładnie odczytywać kontrast między linią a tłem, zapewniając precyzyjne i niezawodne wykrywanie położenia linii. Należy sprawdzić, czy czujnik działa poprawnie na różnych rodzajach powierzchni i w różnych warunkach oświetleniowych.
2. Algorytm sterowania: Efektywny i niezawodny algorytm sterowania jest kluczowy dla działania robota Line Follower. Algorytm powinien uwzględniać różne scenariusze, takie jak skrzyżowania, zakręty i rozwidlenia linii. Powinien również umożliwiać płynne i precyzyjne skręcanie oraz utrzymywanie się na linii w czasie rzeczywistym. Ważne jest, aby dokładnie przetestować algorytm w różnych warunkach i dostosować go, jeśli zajdzie taka potrzeba.
3. Mechanizm sterowania ruchem: Odpowiedni mechanizm sterowania ruchem, tak jak silniki i układy kierowania, ma kluczowe znaczenie dla precyzyjnego i płynnego poruszania się robota Line Follower. Silniki powinny być odpowiednio skalibrowane, aby zapewnić równomierne skręcanie i jazdę prosto. Warto również upewnić się, że układy kierowania są szybkie i precyzyjne w reagowaniu na polecenia sterowania. Regularne konserwacje i sprawdzanie działania mechanizmów są ważne, aby zapewnić niezawodność i trwałość robota.

Pierwszym obszarem, który wymaga poprawy, jest żywotność baterii. To ograniczenie znacznie wpłynęło na zdolność robota do wykonywania jego zadań przez dłuższy czas. W przyszłych projektach, istotne będzie zastosowanie baterii o większej pojemności lub optymalizacja energii, aby zwiększyć czas pracy robota.

Drugim obszarem do poprawy jest przyczepność kół. Problem ten był widoczny, kiedy robot gubił przyczepność i miał trudności z poruszaniem się po wyznaczonej ścieżce. Zastosowanie kół o lepszych właściwościach przyczepności, ewentualnie z wykorzystaniem specjalnych materiałów, powinno rozwiązać ten problem.

Ostatnim, ale nie mniej istotnym obszarem, który wymaga poprawy, jest stabilność połączenia płytki przedniej z płytką główną. Rozważenie innego rodzaju złącza lub zastosowanie taśmy o większej trwałości może pomóc w zapewnieniu niezawodnego połączenia. Dodatkowo, możliwe, że solidniejsza konstrukcja płytki pozwoli na wyeliminowanie problemów z utratą połączenia.

PODSUMOWANIE

W niniejszym artykule przedstawiono projekt robota typu Line Follower, który ma zastosowanie w zawodach oraz testowaniu tras. Projekt skupiał się na wyborze odpowiedniego kontrolera STM oraz czujników, które umożliwiają precyzyjne śledzenie linii na podłożu.

Płyta PCB została zaprojektowana w programie KiCAD, a na płycie przedniej umieszczone zostały czujniki optyczne. Schemat połączeń został starannie opracowany, zapewniając prawidłowe działanie robota i efektywne wykorzystanie czujników.

W celu sterowania robotem, zostało wykorzystane środowisko programistyczne STM Cube IDE oraz system operacyjny FreeRTOS. Te narzędzia zapewniają skuteczną komunikację między mikrokontrolerem a czujnikami oraz silnikami, umożliwiając płynne poruszanie się po trasie.

Algorytm sterujący robotem został opracowany, aby umożliwić precyzyjne śledzenie linii. Na podstawie odczytu czujników, robot podejmuje decyzję o kierunku ruchu i przekazuje odpowiednie sygnały sterujące do silników. Dodatkowo, robot został wyposażony w funkcję sterowania poprzez WiFi, umożliwiając zdalne sterowanie i interakcję.

Podczas projektu zidentyfikowano obszary wymagające poprawy. Należą do nich poprawa żywotności baterii, zwiększenie przyczepności kół oraz stabilizacja połączenia płytki przedniej z płytką główną. Poprawki te mają na celu zapewnienie większej niezawodności i wydajności robota.

LITERATURA

- [1] Abidin I. Z., Baharuddin Z., Mohideen K., Sulaiman S.: Analysis of Line Sensor Configuration for the Advanced Line Follower Robot
- [2] M. S. Islam & M. A. Rahman *Design and Fabrication of Line Follower Robot*, Department of Electrical and Electronic Engineering, Bangladesh 2013
- [3] Ben Finio, *Build a Zippy Line-following Robot*. Science Buddies, 2015
- [4] Vogiatzis Dimitrios, Vasileias Panagiotis, *The Line Follower robot "Saminator"*. Grecja 2017

AGATA OLEJARCZUK¹, DANUTA PROSZAK-MIĄSIK²

Zapylenie powietrza pyłami zawieszonymi PM_{2.5} i PM₁₀ dla miasta Rzeszowa

Summary

Environmental pollution is one of the biggest threats in the world around us. The most common pollutants in it and one of the most dangerous to our health and the environment are particulate matter (aerosol), which is small solid particles or droplets of liquid floating in the air. Therefore, monitoring and control of atmospheric concentrations of particulate matter is an important part of protecting the environment and human health. Therefore, in this publication we have dealt with the analysis of concentrations of particulate matter in Rzeszow.

Key words: *air pollution, smog, suspended dusts*

WSTĘP

Zanieczyszczenie środowiska naturalnego jest jednym z największych zagrożeń w otaczającym nas świecie. Do zanieczyszczeń zaliczamy różnorodne substancje lub czynniki, które wprowadzane są do środowiska w większych ilościach niż te, które mogą być naturalnie przetwarzane lub rozłożone przez ekosystemy, są to np. ditlenek siarki (SO₂), tlenki azotu (NO_x), ozon troposferyczny (O₃), cząstki zawieszone czy lotne związki organiczne (VOC). Substancje te mogą pochodzić z różnych źródeł, w tym z działalności człowieka np. ze spalania paliw, emisji przemysłowych, ruchu drogowego, działalności rolniczej oraz z procesów naturalnych np. podczas erupcji wulkanów czy unoszenia się pyłów pustynnych.

W drugiej połowie 2023 roku Europejska Agencja Środowiska (EEA) opublikowała briefing na temat stanu jakości powietrza w Europie w 2023 r., który będzie częścią publikacji „Jakość powietrza w Europie 2023”. Publikacja ma na celu porównać poziomy zanieczyszczeń powietrza w latach 2021 i 2022 w całej Europie i skonfrontować je z normami Unii Europejskiej (UE) określonymi w dyrektywach dotyczących jakości powietrza oraz wytycznymi Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) z 2021 r. dotyczącymi jakości powietrza. Unijne normy jakości powietrza są mniej rygorystyczne w odniesieniu do wszystkich zanieczyszczeń niż poziomy określone w wytycznych WHO.

Pomimo, że obserwujemy w całej Europie ciągłą poprawę jakości powietrza to i tak w niektórych miejscach, również w Polsce poziomy zanieczyszczenia powietrza przekraczają normy UE. A te zanieczyszczenia stają się przyczyną poważnych problemów zdrowotnych Europejczyków np. 2021 r. 97% ludności miejskiej było narażonych na stężenia drobnego pyłu poziomów określonych za niebezpieczne przez WHO (tj. 5 µg/m³). [2]

¹ Politechnika Rzeszowska, , Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury, Koło Naukowe HVAC
² Politechnika Rzeszowska, WBIŚiA, Zakład Ciepłownictwa i Klimatyzacji , opiekun KNS HVAC

Zanieczyszczenia, które są uważane za najbardziej szkodliwe dla zdrowia ludzi i które najczęściej przekraczają unijne normy jakości powietrza i poziomy wyznaczone przez WHO to: pył zawieszony PM10, pył zawieszony PM2.5, benzo(a)piren, ditlenek azotu i ozon.

W niniejszej publikacji skupimy się na wpływie na zdrowie człowieka i na środowisko pyłów zawieszonych, które przyczyniają się do zjawiska tzw. smogu. Przedstawimy wyniki pomiarów zawartości pyłów w powietrzu na terenie Rzeszowa oraz przedstawimy metody, które na celu mają zarówno uświadomić czym oddychamy i w jaki sposób możemy zmniejszyć ich emisje do atmosfery.[9]

PYŁY ZAWIESZONE

Pyły zawieszone (aerosole), są to małe cząstki stałe lub krople cieczy unoszące się w powietrzu. Wdychanie pyłów zawieszonych może prowadzić do szeregu problemów zdrowotnych. Cząstki pyłów mogą osadzać się w drogach oddechowych i płucach, co może wywoływać podrażnienia, zapalenie dróg oddechowych, a nawet pogarszać choroby przewlekłe takie jak astma lub choroby układu krążenia. Dlatego też monitorowanie i kontrola stężeń pyłów zawieszonych w atmosferze jest istotnym elementem ochrony środowiska i zdrowia ludzi. [3]

PODZIAŁ I SKŁAD PYŁÓW ZAWIESZONYCH

Pył zawieszony (ang. Particulate Matter), oznaczany skrótem PM, to drobne cząsteczki swobodnie unoszące się w powietrzu (stanowiące część tzw. aerozolu atmosferycznego). Mogą być pochodzenia naturalnego np. pył mineralny, aerozol morski, popioły wulkaniczne itp., mogą również stanowić produkt działalności człowieka. Do tej grupy należą np. drobne cząsteczki sadzy powstające w procesie spalania węgla lub innych paliw, czy też cząsteczki pyłu wtórnego, powstające w wyniku przekształceń innych zanieczyszczeń obecnych w powietrzu, np. tlenków siarki i azotu. Źródła pyłów zawieszonych podano w tabeli 1. Cząsteczki pyłów zawierają różne składniki jak np.: siarkę, związki organiczne (np. wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne), metale ciężkie, dioksyne, azbest oraz alergeny (takie jak pyłki roślin i zarodniki grzybów).

Tabela 1. Pochodzenie pyłu zawieszonego

1. Rodzaje pyłu	2. Pochodzenie
3. naturalne	4. pożary, wietrzenie skał, wybuchy wulkanów, rozkład materii organicznej, pylenie roślin
5. antropogeniczne	6. spalanie paliw (w gospodarstwach domowych, komunikacja samochodowa, energetyce, przemyśle), procesy technologiczne
7. wtórne	8. przemiany chemiczne w atmosferze prekursorów pyłu: dwutlenku siarki (SO ₂), tlenków azotu (NO _x), lotnych związków organicznych (LZO), amoniaku (NH ₃)

Źródło: opracowanie własne

Pyły zawieszony ze względu na wielkość cząsteczek dzieli się na:

- pył PM₁₀ – składa się z cząsteczek o średnicy do 10 μm,
- pył PM_{2,5} – złożony z cząsteczek o średnicy do 2,5 μm,
- pył PM₁ – złożony z cząsteczek o średnicy do 1 μm.

PM₁₀ oznacza pył o średnicy cząstek poniżej 10 μm. W jego skład wchodzi m.in. minerały, ceramika, polimery i rakotwórcze metale ciężkie, takie jak furany i dioksyny. Normy krajowe określają maksymalny dobowy poziom pyłu PM₁₀ na 50 μg/m³ i 40 μg/m³ w stężeniu średniorocznym. Przepisy WHO są ostrzejsze, wskazując dopuszczalne stężenie 45 μg/m³ i 15 μg/m³ w stężeniu średniorocznym. Główną przyczyną przekroczeń cząstek o tej średnicy jest stosowanie paliw stałych (takich jak węgiel) w gospodarstwach domowych oraz w niektórych obiektach przemysłowych i elektrowniach.

Pył oznaczony PM_{2.5} jest bardzo drobny, średnice cząstek nie przekraczają 2,5 μm. Przeciętnie stanowi on około 60% pyłu PM₁₀ w sezonie letnim i ponad 75% w sezonie zimowym. W jego skład wchodzi przede wszystkim sadza oraz inne produkty powstałe w procesach spalania. Maksymalny dopuszczalny poziom średniego stężenia PM_{2.5}, wyznaczony przez WHO wynosi w ciągu roku 5 μg/m³ oraz 15 μg/m³ w ciągu doby. W Polsce dopuszczalny roczny poziom wynosi 20 μg/m³. [1,3,6]

WPLYW PYŁÓW ZAWIESZONYCH NA ZDROWIE CZŁOWIEKA

Szkodliwość pyłu dla zdrowia osób ekspozowanych związana jest ściśle z wielkością i składem chemicznym ziaren. Pył grubszy PM₁₀ z uwagi na większy rozmiar, dociera w układzie oddechowym nie głębiej niż do oskrzeli i atakuje głównie drogi oddechowe, przyczyniając się do ataków kaszlu, zaostrzenia objawów astmy i do powstawania nowotworów. Większe ziarna pyłu mogą powodować stany zapalne spojówek oraz błony śluzowej nosa i gardła oraz nasilać objawy chorób o podłożu alergicznym (astma, egzema, katar sienny).

Pył drobny o średnicy poniżej 2.5 μm jest najbardziej niebezpieczny. Dociera on do pęcherzyków płucnych oraz do naczyń krwionośnych, a stamtąd do krwiobiegu. Szkodliwy jest dla układu oddechowego jak i układu krążenia (zwiększona krzepliwość krwi, zaburzenia rytmu).

Osoby cierpiące na choroby serca i płuc, osoby starsze i dzieci uważa się za bardziej podatne na szkodliwe działanie pyłu zawieszonego. Zagrożone są także osoby aktywne fizycznie. Wysiłek fizyczny powoduje, że oddychamy szybciej i głębiej wdychając jednocześnie więcej szkodliwych cząstek. W przypadku osób starszych badania dowodzą, iż wysoki poziom pyłu zawieszonego wiąże się ze zwiększeniem ryzyka hospitalizacji, a nawet zgonów z powodu chorób płuc i chorób sercowo-naczyniowych. [5,7,9]

ŹRÓDŁA PYŁÓW ZAWIESZONYCH W POLSCE

Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) podaje iż 36 z 50 miast w Unii Europejskiej o największym stężeniu pyłu PM_{2,5} znajduje się w Polsce. Według szacunków Europejskiej Agencji Środowiska (EEA) największym źródłem emisji pyłu zawieszonego PM₁₀ i PM_{2.5} jest w Polsce sektor komunalno-bytowy, czyli tzw. niska emisja, związana z ogrzewaniem budynków.[2]

Emisja pyłu związana jest głównie z procesami spalania paliw stałych, w szczególności węgla, choć sporym źródłem emisji jest transport drogowy. Od lat głównymi źródłami emisji pyłów są:

- procesy spalania w gospodarce komunalnej,

- transport drogowy,
- rolnictwo,
- elektrownie i elektrociepłownie, procesy produkcyjne w przemyśle.

Wielkość emisji pyłów znacząco zmalała w ostatniej dekadzie XX wieku i od tego momentu utrzymuje się na mniej więcej podobnym poziomie.

W krajowej emisji pyłów największy udział ma sektor komunalny (mieszkalnictwo), gdzie spaliny ze spalania węgla w piecach domowych nie są odpylane przed wprowadzeniem do atmosfery. Znaczącym źródłem jest również transport samochodowy - ścieranie się opon samochodowych, nawierzchni dróg oraz okładzin hamulcowych jest źródłem emisji pyłów drobnych i bardzo drobnych (PM10 oraz PM2,5). [8]

ZALEŻNOŚĆ STĘŻENIA PYŁÓW ZAWIESZONYCH PM2,5 I PM10 OD WARUNKÓW ATMOSFERYCZNYCH

Przy powierzchni ziemi stężenie zanieczyszczeń powietrza uzależnione jest od wielu czynników, m.in. rodzaju zanieczyszczenia: powierzchniowego lub punktowego, temperatury, prędkości wiatru, wysokości i charakteru opadu, ciśnienia atmosferycznego i wilgotności powietrza.

Największe zanieczyszczenie powietrza występuje w okresach zimowych, związane jest to z koniecznością ogrzewania domów, mieszkań i obiektów przemysłowych. W tym okresie możemy zaobserwować więc duży wzrost stężenia SO₂, CO, PM10, PM2,5 oraz WWA. W miesiącach cieplejszych wzrasta natomiast koncentracja O₃.

Największe niebezpieczeństwo dla zdrowia człowieka, ma wysoka koncentracja zanieczyszczeń w okresach ciszy atmosferycznej i długotrwałego okresu ze słabym wiatrem. Poprawę jakości powietrza przynoszą zaś opady atmosferyczne, które wymywają pyły oraz rozpuszczają je w wodzie opadowej [4,11].

SPOSOBY WALKI ZE SMOGIEM

Do sposobów walki ze smogiem można zaliczyć:

- zmniejszenie niskiej emisji poprzez:
 - wymianę kotłów,
 - docieplenie budynków,
 - korzystanie z odnawialnych źródeł energii,
 - niewypalanie śmieci,
 - zakładanie ekofiltrów do kotłów na paliwa stałe,
- ograniczenie emisji komunikacyjnej poprzez:
 - budowanie obwodnic,
 - promowanie transportu miejskiego,
 - zachęcanie do korzystania z rowerów,
 - opodatkowanie aut od emisji spalin,

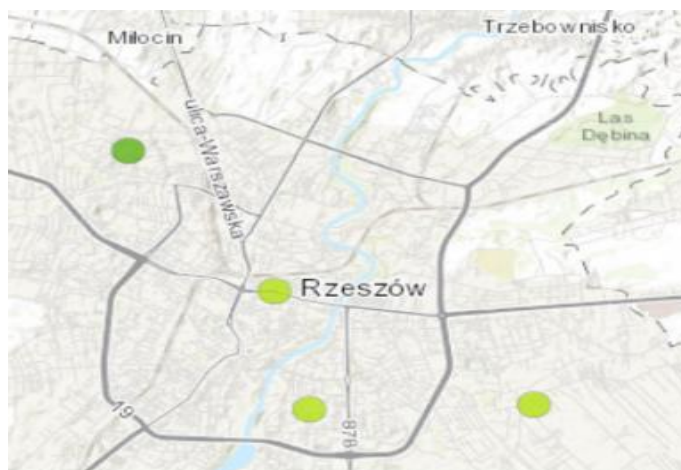
- zwiększanie obszarów zielonych,
- zwiększenie świadomości ekologicznej mieszkańców.

POMIARY PYŁÓW ZAWIESZONYCH

Pomiary pyłów zawieszonych są przeprowadzane i publikowane przez Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Regionalny Wydział Monitoringu Środowiska na terenie Rzeszowa wykonuje pomiary w czterech stacjach pomiarowych:

- Rzeszów, ul. Rejtana,
- Rzeszów, ul. Piłsudskiego,
- Rzeszów, ul. Słocińska 4,
- Rzeszów, Starzyńskiego 17 [3].

Ponadto wykonano w kilku miejscach w Rzeszowie pomiary zawartości PM 10 i PM 2.5. w powietrzu za pomocą miernika Mini Particle Countner.



Rys. 1. Rozmieszczenie punktów pomiarowych w Rzeszowie

Źródło: <https://powietrze.gios.gov.pl/pjp/current>

Uzyskane wyniki interpretowane są w oparciu o indeks jakości powietrza, który przedstawiono na rys.2. Rodzaje indeksów jakości powietrza:

- godzinowy - pokazuje najbardziej aktualną jakość powietrza, stan powietrza oparty na podstawie godzinowych pomiarów, aktualizowanych co godzinę,
- dzienny - oznacza wczorajszą sytuację stanu jakości powietrza, podawaną na podstawie wyników dobowych, jest aktualizowany raz dziennie,
- roczny – przedstawia ogólne, średnie warunki jakości powietrza i porównuje je do europejskich norm oraz do wartości dopuszczalnych, jest aktualizowany raz na rok.

Tabela 2. Indeks jakości powietrza

Źródło https://powietrze.gios.gov.pl/pjp/content/health_informations

Indeks jakości powietrza	PM10 [µg/m ³]	PM2,5 [µg/m ³]
Bardzo dobry	0 - 20	0 - 13
Dobry	20,1 - 50	13,1 - 35
Umiarkowany	50,1 - 80	35,1 - 55
Dostateczny	80,1 - 110	55,1 - 75
Zły	110,1 - 150	75,1 - 110
Bardzo zły	> 150	> 110

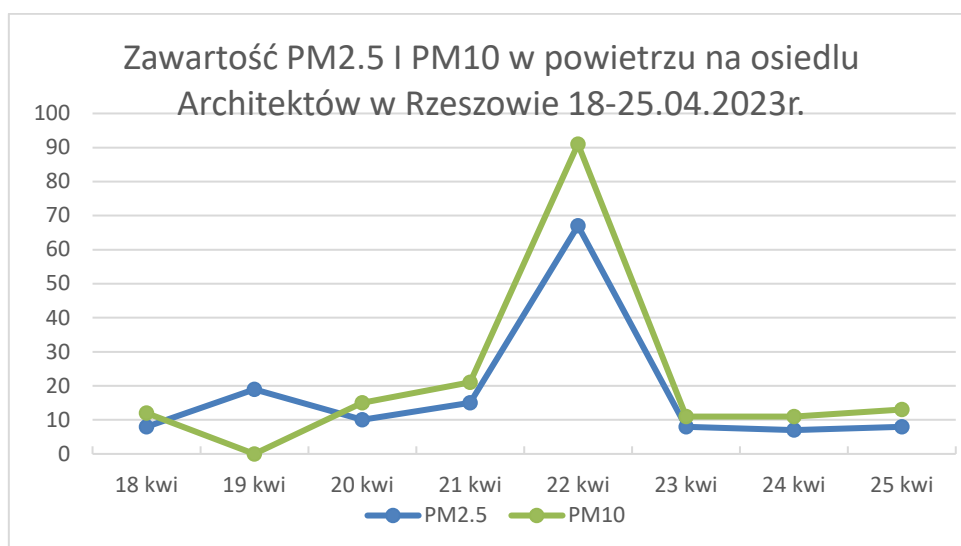
WYNIKI

Do analizy wykorzystano wyniki pomiarów wykonanych przy ulicy Architektów (tab. 3) oraz pobrane ze strony GOIŚ [3] dla punktu pomiarowego usytuowanego przy ul. Piłsudskiego.

Tabela 3. Zawartość PM2.5 i PM10 w powietrzu na osiedlu Architektów w Rzeszowie 18-25.04.2023r.

Źródło: opracowanie własne.

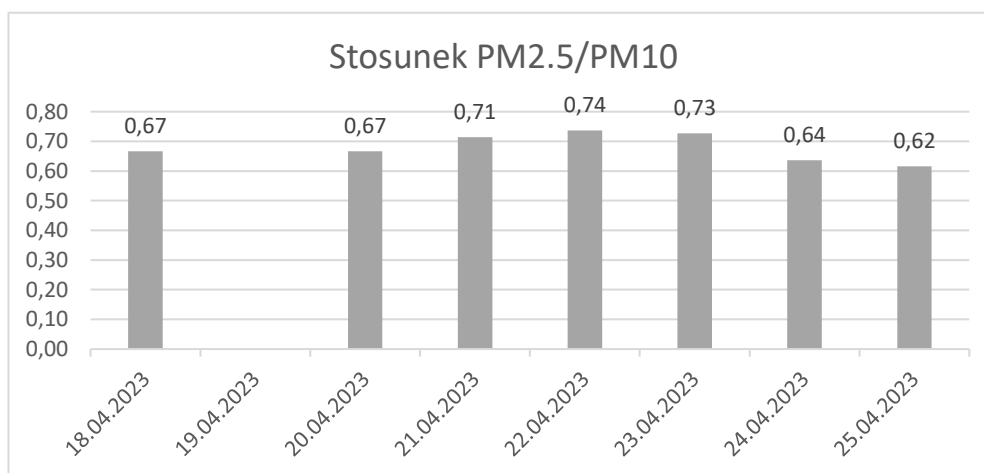
dzień	PM2.5 µm	PM10 µm	PM2.5/PM10
18.04.2023	8	12	0,67
19.04.2023	19	0	-
20.04.2023	10	15	0,67
21.04.2023	15	21	0,71
22.04.2023	67	91	0,74
23.04.2023	8	11	0,73
24.04.2023	7	11	0,64
25.04.2023	8	13	0,62



Wykres 1. Zawartość PM2.5 i PM10 w powietrzu na osiedlu Architektów w Rzeszowie 18-25.04.2023r.

Źródło: opracowanie własne.

Dnia 22 kwietnia zaobserwowano znaczący wzrost stężenia PM 2,5 oraz PM10 w powietrzu. W pozostałe dni wartości utrzymywały się na podobnych poziomach. Lekko mniejsze wartości można było zaobserwować podczas dni wietrznych oraz z opadami atmosferycznymi. Dzień, w którym zaobserwowano znaczny skok stężeń (22.04) był ciepły, słoneczny i bezwietrzny (wykres 1).



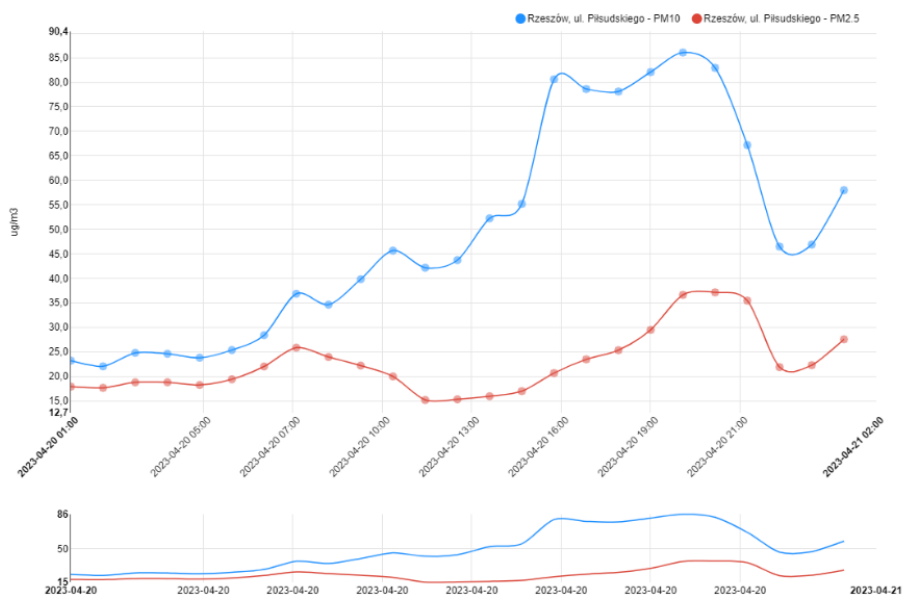
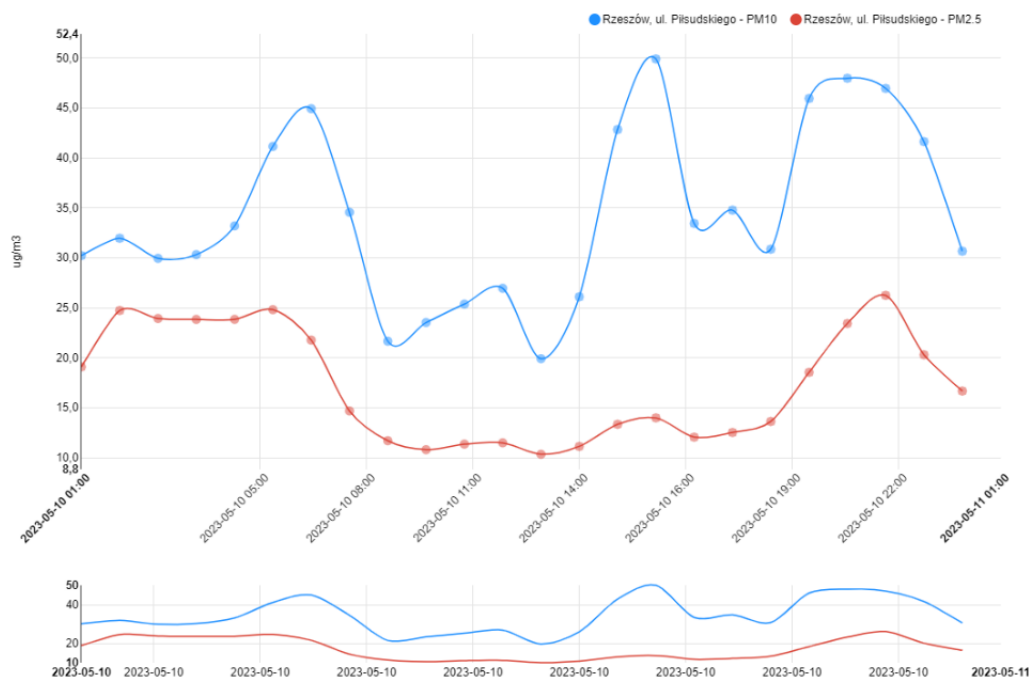
Wykres 2. Stosunek PM2.5/PM10 w powietrzu na osiedlu Architektów w Rzeszowie 18-25.04.2023r.

Źródło: opracowanie własne.

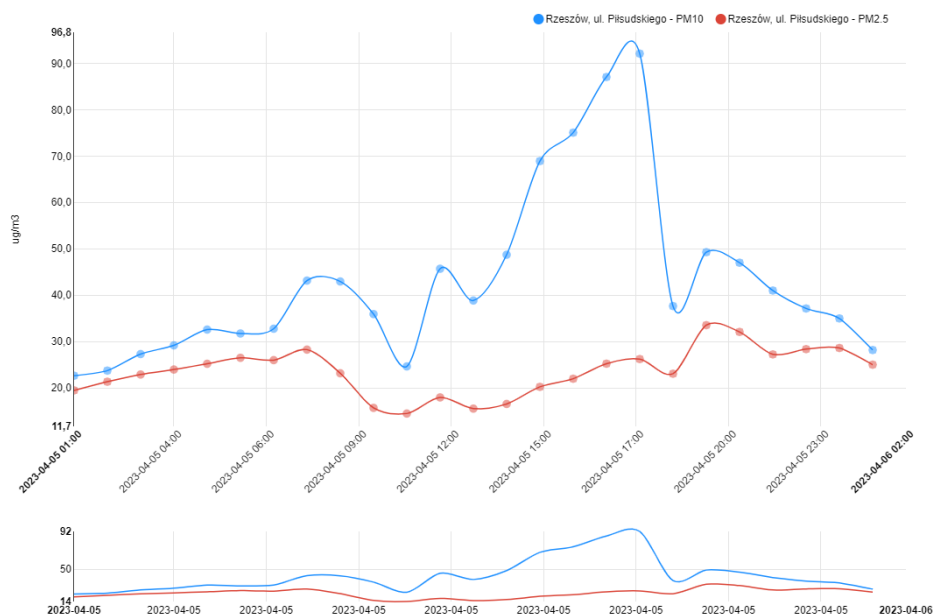
Można zauważyć, że stosunek PM2,5 do PM10 utrzymywał się na podobnym poziomie. od 0,62 do 0,74 (wykres 2).

- Wyniki pomiarów 1-godzinnych w trzech wybranych dniach na stacji Rzeszów, ul. Piłsudskiego

Wykres 3. Wyniki pomiarów 1-godzinnych dnia 11.05.23r na stacji Rzeszów, ul. Piłsudskiego



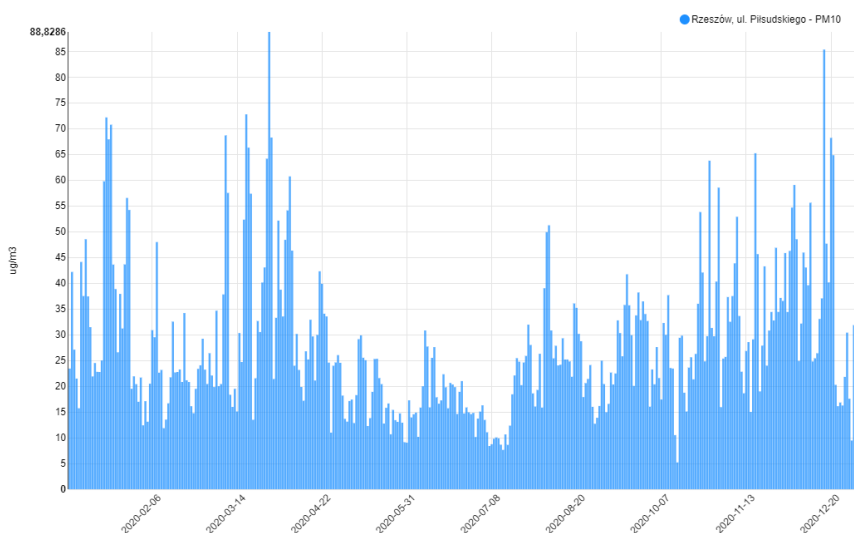
Wykres 4. Wyniki pomiarów 1-godzinnych dnia 11.05.23r na stacji Rzeszów, ul. Piłsudskiego



Wykres 5. Wyniki pomiarów 1-godzinnych dnia 11.05.23r na stacji Rzeszów, ul. Piłsudskiego

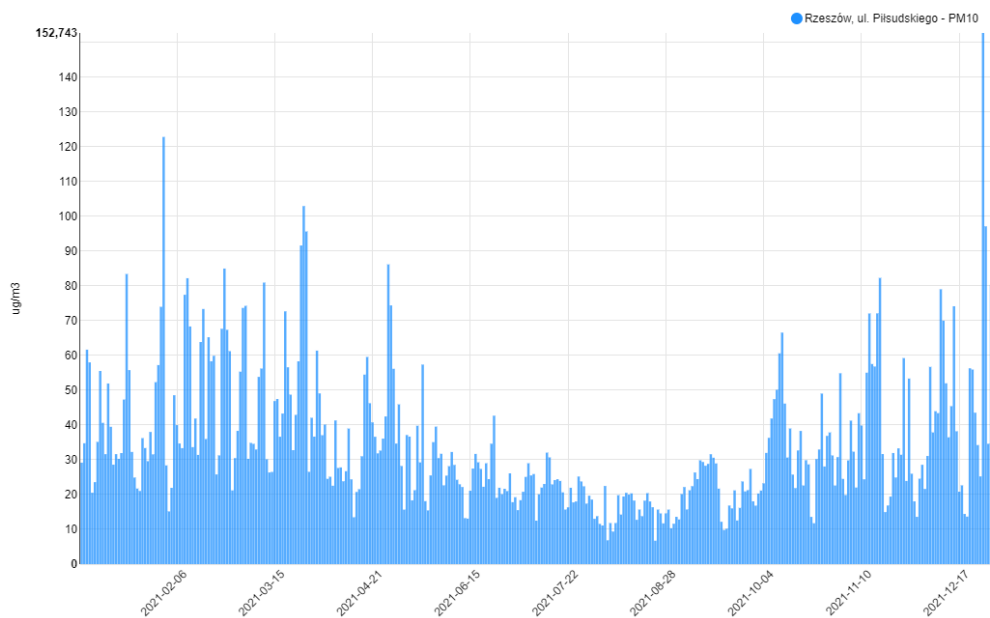
Można zauważyć zwiększone wartości w godzinach popołudniowych i wieczornych oraz rano. Najwyższe wartości obserwowane są zazwyczaj w godzinach szczytu ruchu na drogach. Wyraźnie widać również, że poziom stężenia PM10 waha się znacznie bardziej niż poziom stężenia PM2,5 (wykres 3-5).

- **Wyniki pomiarów 24-godzinnych PM10 w latach 2020-2022 na stacji Rzeszów, ul. Piłsudskiego**

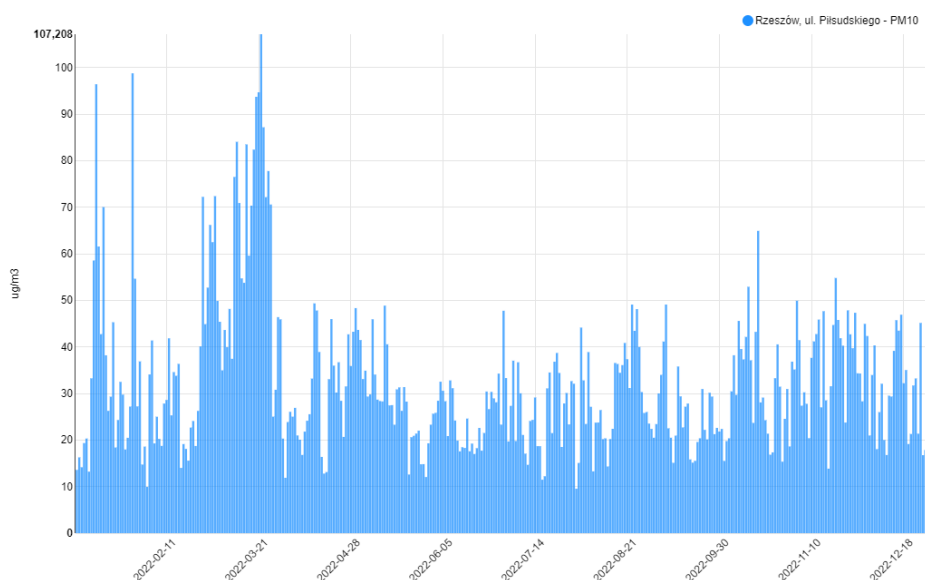


Wykres 6. Wyniki pomiarów 24-godzinnych PM10 w roku 2020 na stacji Rzeszów, ul. Piłsudskiego

W roku 2020 najwyższe stężenie PM₁₀ zaobserwowano 28 marca i wynosiło 88,8 $\mu\text{m}/\text{m}^3$ (wykres 6). W roku 2021 najwyższe stężenie PM₁₀ zaobserwowano 26 grudnia i wynosiło 152,7 $\mu\text{m}/\text{m}^3$ (wykres 7).



Wykres 7. Wyniki pomiarów 24-godzinnych PM₁₀ w roku 2021 na stacji Rzeszów, ul. Piłsudskiego



Wykres 8. Wyniki pomiarów 24-godzinnych PM₁₀ w roku 2022 na stacji Rzeszów, ul. Piłsudskiego

W roku 2022 najwyższe stężenie PM₁₀ zaobserwowano 22 marca i wynosiło ono 107,2 $\mu\text{m}/\text{m}^3$ (wykres 8).

Po przeanalizowaniu wyników pomiarów w tych trzech latach można zauważyć, że najmniejsze wartości stężeń pyłu zawieszonego PM₁₀ obserwowano w letnich miesiącach roku, natomiast największe w okresie zimy i wiosny.

SPOSOBY WALKI ZE SMOGIEM W RZESZOWIE

W celu podniesienia świadomości społeczeństwa na temat zanieczyszczenia powietrza pyłami i tym samym walki ze smogiem w Rzeszowie zainstalowano od września 2022 roku 60 sztuk ekosłupków. To zaawansowane urządzenia do pomiaru i sygnalizowania jakości powietrza za pomocą koloru światła. Większość urządzeń zainstalowana jest w pobliżu szkół. Kolor zielony zachęca do przebywania na powietrzu, natomiast bordowy oznacza najwyższe stężenia zanieczyszczeń.

Ponadto na podkarpaciu możemy skorzystać z programów rządowych, które mają na celu poprawę jakości powietrza oraz zmniejszenie gazów cieplarnianych poprzez wymianę źródeł ciepła i poprawę efektywności energetycznej budynków mieszkalnych jednorodzinnych. Przykładem jest program „Czyste powietrze”. [10]

Co jakiś czas pojawiają się akcje wymiany śmieci na rośliny zielone, sadzenie nowych drzew. A miasto zachęca do korzystania z transportu publicznego i elektrycznych hulajnóg w zamian za samochody spalinowe.

PODSUMOWANIE

Zmniejszenie zanieczyszczeń w powietrzu powinno być dla każdego mieszkańca priorytetem. Czyste powietrze, to lepsza jakość naszego życia i mniej chorób cywilizacyjnych. W Rzeszowie problem smogu występuje przede wszystkim zimą. Z badań wynika, że w miesiącach letnich poziom PM_{2.5} i PM₁₀ mieści się w normach. Natomiast zimą mamy przekroczenie wskaźników. Spowodowane jest to głównie emisją zanieczyszczeń powietrza przez ogrzewanie lokalne, przemysł i transport. W celu zwalczania smogu w mieście, wprowadzane są różne środki zaradcze, takie jak: programy dotacyjne dla mieszkańców, które zachęcają do wymiany starych pieców na nowoczesne i mniej zanieczyszczające środowisko, wymiany stolarki okiennej, termomodernizacji budynków i instalowania nowoczesnych instalacji wykorzystujących odnawialne źródła energii. Gminy promują transport publiczny i inne formy transportu niskoemisyjnego jak poruszanie się rowerem czy pieszo. Ważny jest też monitoring jakości powietrza i informowanie mieszkańców o aktualnym poziomie zanieczyszczenia.

Warto również pamiętać o osobistych działaniach, które mogą przyczynić się do poprawy jakości powietrza, takich jak korzystanie z komunikacji publicznej, ograniczenie indywidualnej emisji CO₂ i dbanie o energooszczędne ogrzewanie mieszkania.

LITERATURA

- [25] Brown G., Mukherjee A., Mc Carthy M.: *Influence of roadway emissions on near-road PM2.5: Monitoring data analysis and implications*, Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 86, Elsevier, 2020
- [26] Europejska Agencja Środowiska, *Stan jakości powietrza w Europie w 2023 r* <https://www.eea.europa.eu/publications/europes-air-quality-status-2023/europes-air-quality-status2023/#fn1>, dostęp dnia 15.09.2023 roku
- [27] Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, <https://powietrze.gios.gov.pl/pjp/current>, dostęp dnia 20.09.2023 roku
- [28] KOBiZE, *Emission factors for fuel combustion*, IOŚ-BIP, 2015
- [29] Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej Państwowy Instytut Badawczy: *Niekorzystne działanie wybranych zanieczyszczeń powietrza na stan zdrowia*, <http://smog.imgw.pl/content/health>, dostęp dnia 20.09.2023 roku
- [30] Proszak-Miąsik D., Nowak K.: *Metody ograniczania niskiej emisji w zabudowie miejskiej*, Instal, t.6, 2019
- [31] Puls Medycyny, <https://pulsmedycyny.pl/who-opublikowalo-nowe-restrykcyjne-wytyczne-dot-zanieczyszczenia-powietrza-1128376>, dostęp dnia 15.10.2023 roku
- [32] Rabczak S., Proszak-Miąsik D.: *Effect of the type of heat sources on carbon dioxide emission*, Journal of Ecological Engineering, vol. 17, issue 5, pp. 186-191, (2016)
- [33] Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 13 listopada 2020 r., *W sprawie zakresu i sposobu przekazywania informacji dotyczących zanieczyszczenia powietrza*, poz. 2221, Warszawa, z dnia 11 grudnia 2020 r.
- [34] Strona programu "Czyste powietrze", <https://beneficjent.wfosigw.rzeszow.pl/strona-glowna-programu>, dostęp dnia 20.10.2023 roku
- [35] Wielgościński G., Zarzycki R.: *Technologie i procesy ochrony powietrza*, WNT, 2018

ALICJA GRABOWY¹, DOMINIKA HAMMER¹, NATALIA REMBISZ¹, ARTUR STEC¹

Analiza zachowań i preferencji turystycznych studentów Politechniki Rzeszowskiej

SUMMARY

The study of tourist preferences and behaviors among students of Rzeszow University of Technology reveals that tourism has become a significant aspect of student life. The rise in living standards and social-economic development contribute to this evolution. The research results show that students frequently travel, favoring tourist destinations related to relaxation by the water, mountain hiking, and city sightseeing. They mostly opt for domestic trips, with financial resources being a key determinant of their choices. Women tend to travel in groups of friends, and the preferred mode of transportation is by train. These findings highlight the need to tailor tourist offerings to students.

Key words – *Tourism, tourist preferences, student behaviors, tourist activity*

1. Wstęp

Turystyka stanowi nieodłączny element współczesnego życia społecznego i kulturowego, a jej dynamika i rozwój są ściśle powiązane z rozwojem społeczeństwa oraz ekonomii. W kontekście naukowym, badanie zachowań i preferencji turystycznych ma znaczenie zarówno dla nauk społecznych, jak i dla praktyków branży turystycznej. W niniejszym rozdziale skupiono się na analizie zachowań i preferencji turystycznych studentów Politechniki Rzeszowskiej, co stanowi ważny obszar badawczy, zarówno ze względu na ich potencjał jako turystów, jak i na potrzeby dostosowania oferty turystycznej do ich oczekiwań.

Turystyka, definiowana jako ogół czynności odwiedzających miejsce innego niż codzienne otoczenie, staje się coraz bardziej złożonym i zróżnicowanym zjawiskiem. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE klasyfikuje różne rodzaje turystyki, w tym krajową, przyjazdową, wyjazdową, narodową i wewnętrzną, co podkreśla jej różnorodność. Nie można obecnie jednoznacznie określić motywów podróży, ponieważ są one determinowane przez wiele czynników, takich jak wzrost poziomu życia i rozwój społeczno-gospodarczy państw.

Jednakże, badania nad aktywnością turystyczną studentów pozostają nadal ograniczone. W oparciu o wyniki badań przeprowadzonych w różnych regionach Polski, można stwierdzić, że istnieje duże zainteresowanie podróżami wśród studentów, a ich preferencje podróżnicze różnią się w zależności od wielu czynników. Dlatego też, niniejsza praca ma na celu zgłębienie tej tematyki, koncentrując się na studentach Politechniki Rzeszowskiej.

Punkt drugi wprowadza odbiorcę w obszar turystyki, przedstawiając jej definicję i rodzaje, a także wskazuje czynniki determinujące jej rozwój. Odkrywamy, że turystyka przekształca się i ewoluje w odpowiedzi na zmieniające się potrzeby i możliwości społeczeństwa, stając się coraz bardziej dostępnym i powszechnym elementem życia codziennego. Dalej przedstawiono cel i metodykę badań uzasadniając właściwy dobór próbkę do przeprowadzenia analiz.

¹ Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza, Wydział Zarządzania (Zakład Ekonomii), Studenckie Koło Naukowo-Badawcze Turystyki Tuptuś

W punkcie czwartym przeprowadzona została analiza badań nad aktywnością turystyczną studentów. Zaprezentowane zostały wyniki badań dotyczące częstotliwości podróży, preferowanych celów wyjazdów, wyboru środków transportu oraz rodzaju zakwaterowania. Dane te stanowią cenne źródło wiedzy dla organizacji studenckich, które mogą lepiej dostosować swoją ofertę do oczekiwań swoich członków.

2. Turystyka – definicja, rodzaje i czynniki determinujące

Według rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE, turystyka oznacza ogół czynności odwiedzających, ukierunkowanych na podróż do miejsca innego niż zwykle otoczenie, na okres nieprzekraczający jednego roku, w dowolnym celu (służbowym, wypoczynkowym bądź innym osobistym, z wyłączeniem zatrudnienia w tym miejscu). Ponadto wspomniany akt prawny wyszczególnia takie rodzaje turystyki, jak [4]:

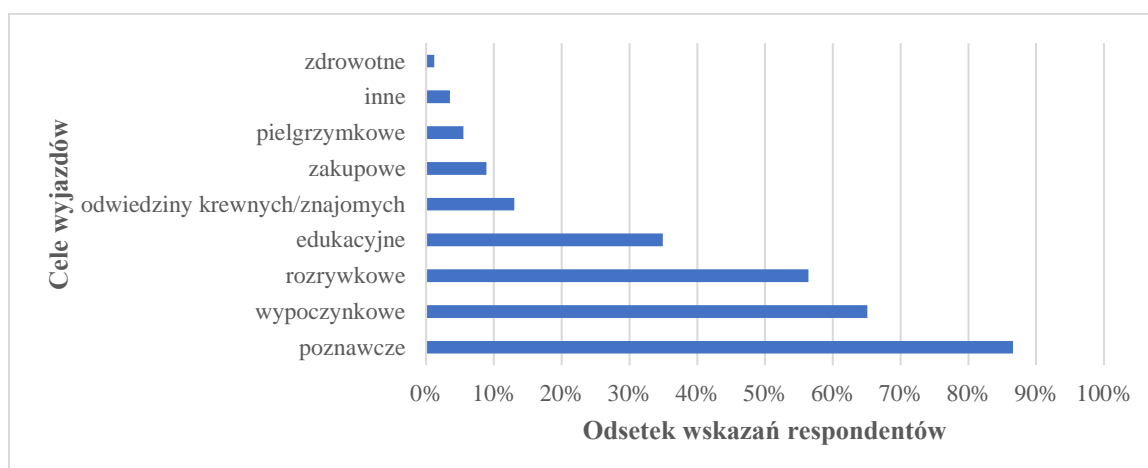
- **krajowa**, czyli podróże w granicach określonego państwa członkowskiego, które odbywane są przez rezydentów tego kraju,
- **przyjazdowa**, czyli podróże osób niebędących rezydentami danego państwa członkowskiego do państwa członkowskiego,
- **wyjazdowa**, odnosząca się do wyjazdów rezydentów państwa członkowskiego do miejsc położonych poza granicami tego państwa,
- **narodowa**, oznaczająca turystykę krajową i wjazdową,
- **wewnętrzna** – turystyka krajowa i przyjazdowa.

Przez długi okres turystyka klasyfikowana była jako potrzeba wyższego rzędu, jednakże na przestrzeni ostatnich lat zauważyć można, że stopniowo przechodzi ona do potrzeb podstawowych. Wpływ na to ma chociażby wzrost poziomu życia oraz rozwój społeczno-gospodarczy państw. Należy podkreślić, że niejednokrotnie nie można wprost określić motywu wyjazdu, bowiem determinowany jest on przez kilka czynników [1].

Prace badawcze dotyczące aktywności turystycznej studentów są nieliczne. Jedne z nich – przeprowadzone wśród studentów województwa małopolskiego wykazały, że 97% badanych odbywa podróże turystyczne. Ponad połowa z nich oświadczyła, że realizuje cele turystyczne kilka razy w roku, 20% wskazała na częstotliwość podróżowania raz w roku, niespełna 15% – na podróżowanie raz w miesiącu, a 9% wskazała odpowiedź „częściej niż raz w miesiącu”. Najmniej liczną grupę stanowiły osoby przejawiające się aktywnością turystyczną rzadziej niż raz w roku [3].

Badania Adriana P. Lubowieckiego-Vikuka oraz Zbigniewa Podgórskiego przeprowadzone wśród młodzieży akademickiej Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu pozwoliły na określenie stopy aktywności turystycznej studentów na poziomie 89,3%. Przeszło 38% ankietowanych zadeklarowało wybór kierunków do miejscowości górskich, a 37% na obszary nadmorskie. 11% z nich wskazało na pojezierza, natomiast najmniej liczna grupa studentów wskazała na tereny nizinne bądź wyżyny. Ponadto stwierdzono, że studenci najczęściej decydują się na podróże krajowe ze względu na dostępne środki pieniężne. Największy odsetek badanej społeczności (blisko 85%) wskazało na aktywny wypoczynek podczas wyjazdów turystycznych. Pozostała część preferuje bierny wypoczynek, jak np. czytanie książek, leżakowanie czy korzystanie z kąpieli słonecznych [2].

Wskazane formy zagospodarowania czasu podczas wyjazdu są ściśle powiązane z celami podróży. Cele wyjazdów turystycznych młodzieży akademickiej Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu przedstawione zostały na rysunku 1.



Rys. 1. Cele wyjazdów turystycznych [2]

Przeszło 86% respondentów wskazało na poznawczy charakter organizowanych wyjazdów. Podróż wypoczynkowe preferuje 65% badanych studentów, natomiast edukacyjne i rozrywkowe kolejno 35% i 56% ankietowanych.

Turystyka ściśle wiąże się z ponoszeniem na ten cel nakładów finansowych. 68% studentów Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu na wyjazdy przeznaczyło kwotę nieprzekraczającą 1000 zł. 25% osób poniosło koszty mieszczące się w przedziale od 1001 zł do 2000 zł. Najmniejszy odsetek – 8,4% respondentów – zadeklarował przeznaczenie na turystykę kwoty przekraczającej 2000 zł [2].

Młodzież akademicka najczęściej podróżuje koleją. Pozostali wybierają samochód, autokar, samolot lub rower. Część ankietowanych zadeklarowała również podróż autostopem lub pieszo. Studenci najczęściej wybierają nocleg w kwaterach prywatnych lub hotele. Mniejszym zainteresowaniem cieszą się pensjonaty oraz nocleg u krewnych lub znajomych. Około 11% badanych wybiera także pola namiotowe lub kempingowe oraz schroniska. Około 4% respondentów wskazało na alternatywne formy noclegu – poczekalnie placów dworcowych, rozbijanie namiotów w lasach, spanie na plaży, nocleg w domach studenckich czy też domy należące do systemu *couchsurfing*.

Badania dotyczące preferencji i zachowań turystycznych młodzieży akademickiej przeprowadzane są niezwykle rzadko, pomimo znacznego udziału wspomnianej grupy wiekowej w turystyce krajowej oraz zagranicznej. Studenckie Koło Naukowo-Badawcze Turystyki „Tuptuś” postanowiło zrealizować badania na przytoczony wyżej temat w celu lepszego dopasowania oferty wycieczkowej koła do jego uczestników, ale także osób potencjalnie zainteresowanych dołączeniem do organizacji studenckiej.

3. Cel i metodyka badań

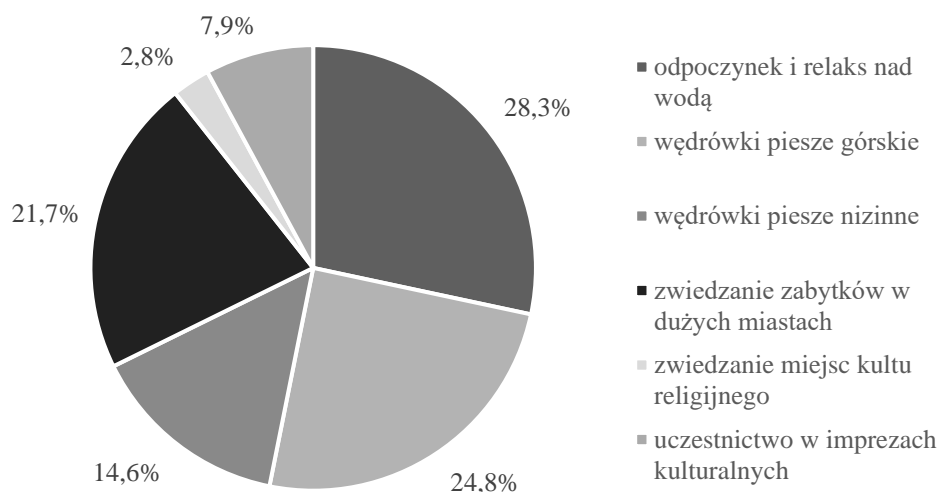
Podstawowym celem niniejszej pracy i przeprowadzonych badań jest przede wszystkim diagnoza stanu aktywności turystycznej studentów Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza, tj. jej rodzajów, częstotliwości, wyboru miejsc destynacji, rodzaju zakwaterowania i transportu. Wybór takiej tematyki wynika z chęci dostosowania oferty wycieczkowej SKNBT Tuptuś do upodobań zarówno członków koła, jak i wszystkich studentów uczelni.

Badania dotyczące zachowań i preferencji turystycznych studentów Politechniki Rzeszowskiej zostały przeprowadzone na grupie 98 respondentów. Jako instrument pomiarowy wykorzystano kwestionariusz ankietowy. Wśród ankietowanych znalazły się 54 kobiety (55,1%) oraz 44 mężczyźni

(44,9%). Największą grupę wśród badanych stanowili studenci Wydziału Zarządzania (56,1%). Natomiast jeśli chodzi o etap edukacji, najliczniejszą grupę wśród respondentów stanowili studenci I roku studiów II stopnia.

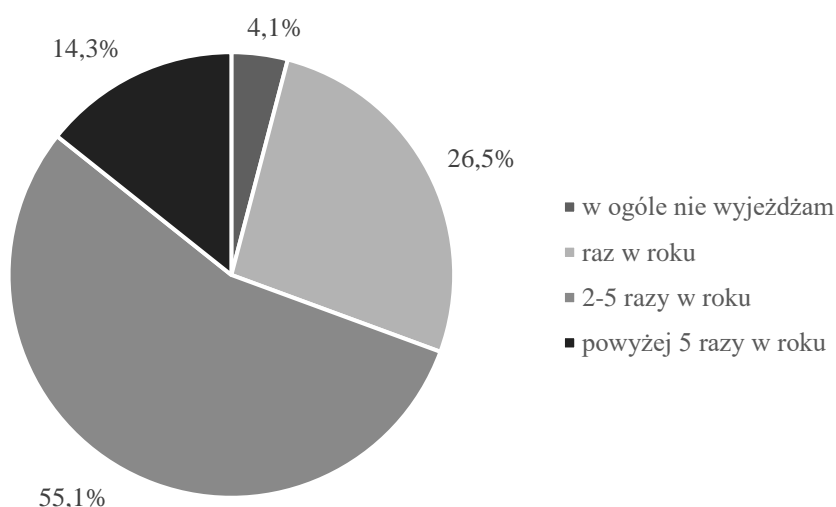
4. Preferencje turystyczne studentów

Na początku respondenci zostali poproszeni o wskazanie, jaki jest podstawowy cel ich wyjazdów turystycznych. Odpowiedzi badanych zaprezentowano na rys. 2. W analizowanej grupie badawczej ponad 28,3% ankietowanych wybrało odpoczynek i relaks nad wodą jako główny cel swoich wyjazdów. Na drugim miejscu z wynikiem 24,8% plasują się piesze wycieczki górskie. Dużym zainteresowaniem wśród studentów cieszy się także zwiedzanie zabytków w dużych miastach – ten powód podróżowania pojawiał się jako jedna z odpowiedzi aż u 55 respondentów. Jak wynika z badań, najmniej interesujące dla studentów jest uczestnictwo w imprezach kulturalnych (7,9%) oraz zwiedzanie miejsc kultu religijnego (2,8%).



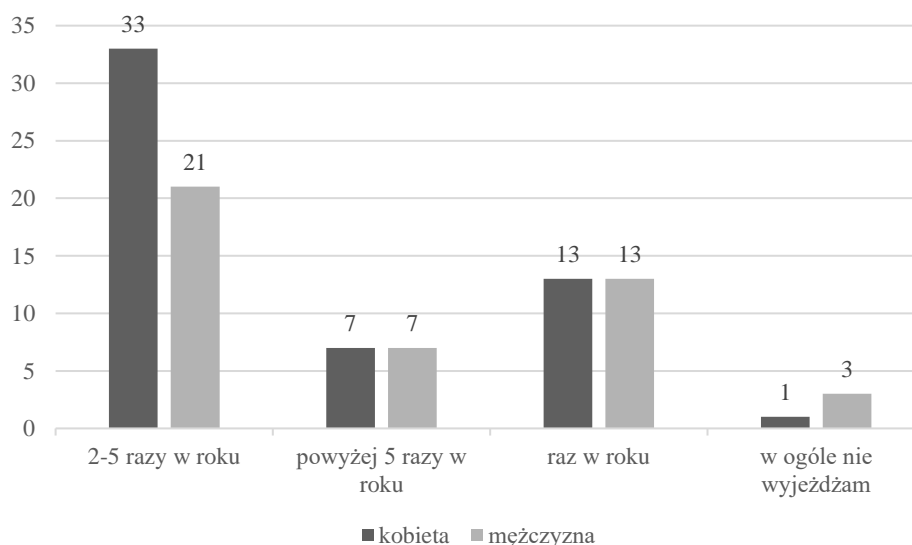
Rys. 2. Podstawowy cel wyjazdów turystycznych studentów

Drugie pytanie do respondentów dotyczyło częstotliwości wyjazdów w celach wypoczynkowych w ciągu roku. Strukturę odpowiedzi na to pytanie zaprezentowano na rys. 3. Obserwuje się, że większość studentów, bo aż 55%, wyjeżdża 2–5 razy w roku. Dużą grupę stanowią również ankietowani, którzy wyjeżdżają w celach wypoczynkowych jedynie raz w roku (26,5%). Najmniejszą grupę stanowią osoby w ogóle niewyjeżdżające (4,1%).



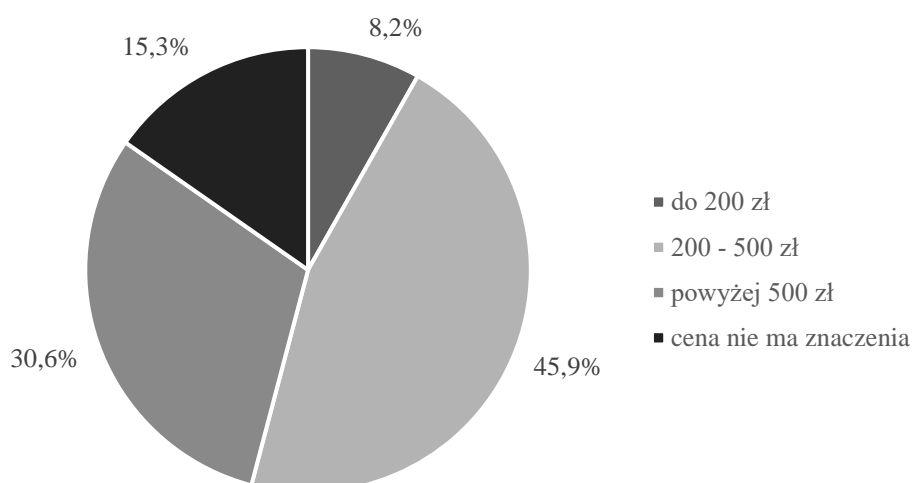
Rys. 3. Częstotliwość wyjazdów wypoczynkowych studentów

Warto przeanalizować także częstotliwość wyjazdów wypoczynkowych studentów w odniesieniu do płci. Na rys. 4 pokazano, że kobiety znacznie częściej niż mężczyźni zaznaczali odpowiedź „2–5 razy w roku” – tę odpowiedź wybrały 33 kobiety i 21 mężczyźni, natomiast w przypadku pozostałych odpowiedzi częstotliwość wyboru, zarówno przez kobiety, jak i mężczyzn, była taka sama lub bardzo zbliżona.



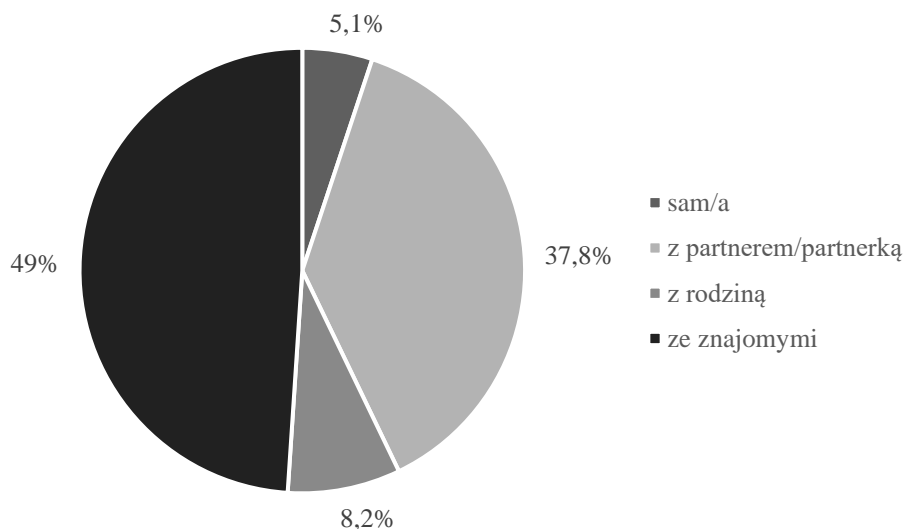
Rys. 4. Częstotliwość wyjazdów wypoczynkowych studentów w odniesieniu do płci

Kolejna zmienna dotyczyła określenia kwoty, jaką respondenci są w stanie przeznaczyć na jeden wyjazd turystyczny. Dane na ten temat przedstawia rys. 5. Zauważyć można przewagę odpowiedzi „200–500 zł” – wybrało ją aż 45,9% badanych. Powyżej 500 zł na wyjazd jest w stanie wydać 30,6% ankietowanych. 8,2% osób wydałoby maksymalnie 200 zł, zaś dla 15,3% cena nie ma znaczenia.



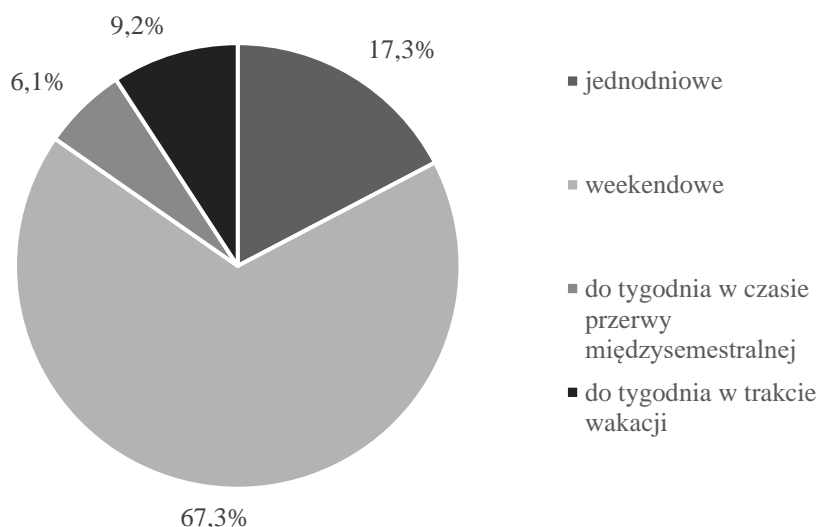
Rys. 5. Kwota przeznaczana na jeden wyjazd

Następne pytanie dotyczyło tego, z kim preferują podróżować respondenci. Strukturę ich odpowiedzi prezentuje rys. 6. Jak wynika z badań, większość badanych woli podróżować ze znajomymi (49%) lub z partnerem/partnerką (37,8%). Na podstawie odpowiedzi ankietowanych można zauważyć, że studenci raczej niechętnie podróżują z rodziną (8,2%) bądź sami (5,1%).

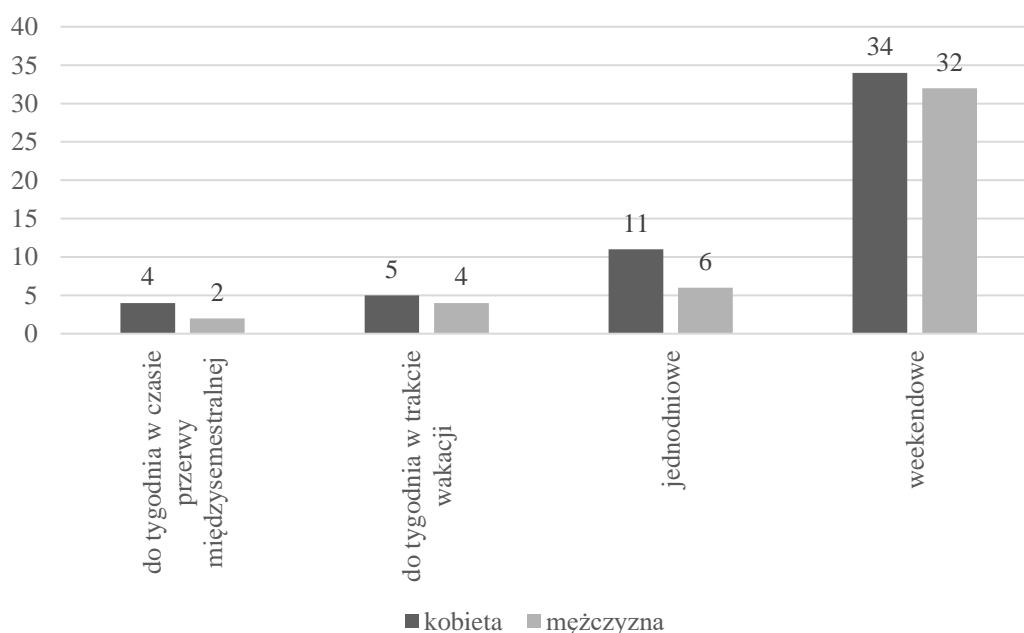


Rys. 6. Preferowane towarzystwo podczas podróży

Kolejne pytanie odnosiło się do długości wyjazdów, na które studenci najchętniej wybraliby się z SKNBT Tuptuś. Dane na ten temat zamieszczono na rys. 7. Wyraźnie widać, że najlepszą opcją dla ankietowanych są wyjazdy weekendowe, które były wyborem aż 67,3% badanych. Z kolei zainteresowanie wyjazdami tygodniowymi jest niskie, zarówno podczas przerwy międzysemestralnej (6,1%), jak i podczas wakacji (9,2%). Na tej podstawie można zatem wywnioskować, że tak długie wyjazdy nie będą się cieszyły dużą popularnością wśród studentów i lepiej skupić się na krótkich wyjazdach weekendowych. Co więcej, na rys. 8 można zauważyć, że w odniesieniu do płci odpowiedzi na to pytanie układają się bardzo równomiernie.

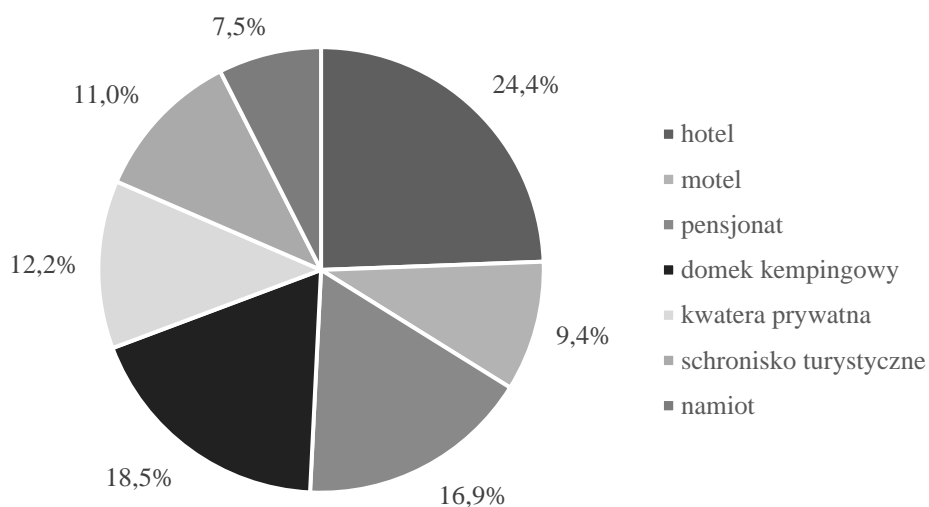


Rys. 7. Preferowana długość wyjazdów organizowanych przez SKNBT Tuptuś



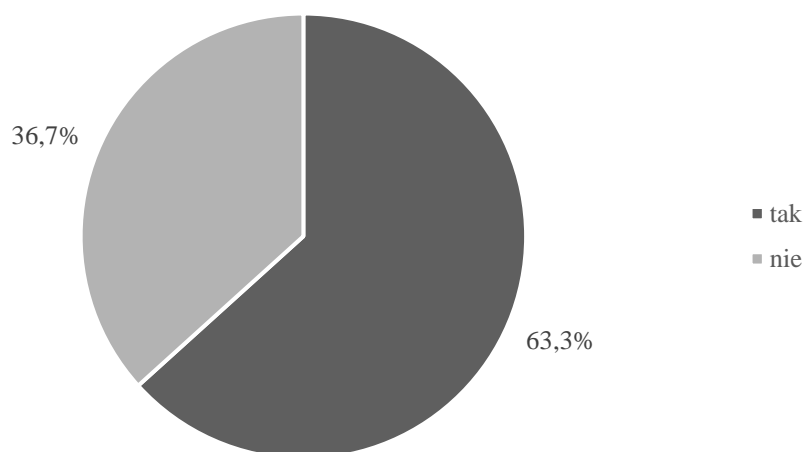
Rys. 8. Preferowana długość wyjazdów organizowanych przez SKNBT Tuptuś w odniesieniu do płci

Respondenci zostali również poproszeni o wskazanie, jaki rodzaj zakwaterowania preferują podczas wyjazdów. Odpowiedzi na to pytanie zaprezentowano na rys. 9. Najwięcej osób wybrało hotel (24,4%), a następne w kolejności były domek kempingowy (18,5%) i pensjonat (16,9%). Z kolei najmniejszą popularnością cieszyły się namiot (7,5%) oraz motel (9,4%). Na tej podstawie można wywnioskować, że dla większości studentów ma znaczenie dobry standard noclegu.



Rys. 9. Preferowany rodzaj zakwaterowania

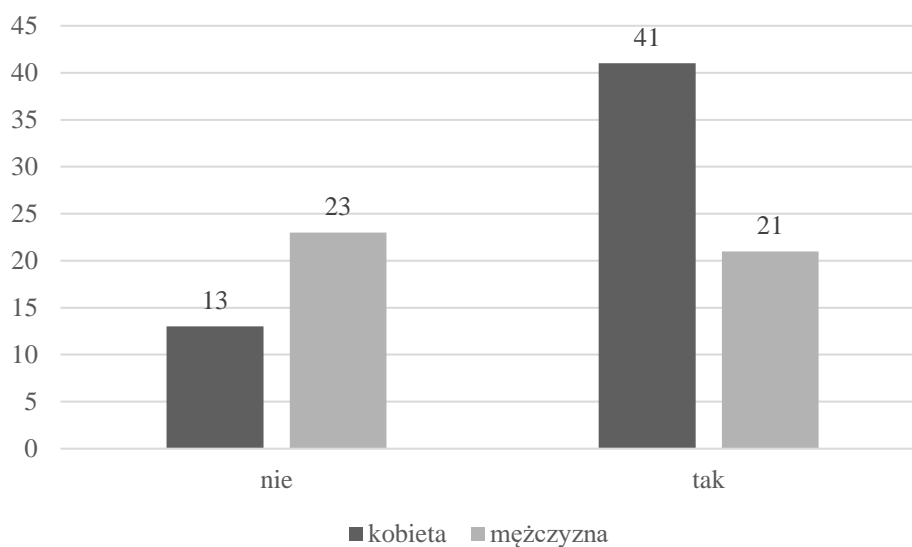
Istotne znaczenie dobrej jakości noclegu przy podejmowaniu przez studentów decyzji o uczestnictwie w aktywności turystycznej potwierdza analiza wyników odpowiedzi na pytanie dotyczące skłonności zapłacenia przez respondentów wyższej kwoty za wyższy standard zakwaterowania (rys. 10). Aż 63,3% ankietowanych jest gotowych dopłacić za wypoczynek lepszy jakościowo.



Rys. 10. Skłonność studentów do zapłacenia wyższej ceny za wyższy standard miejsca zakwaterowania podczas wyjazdu

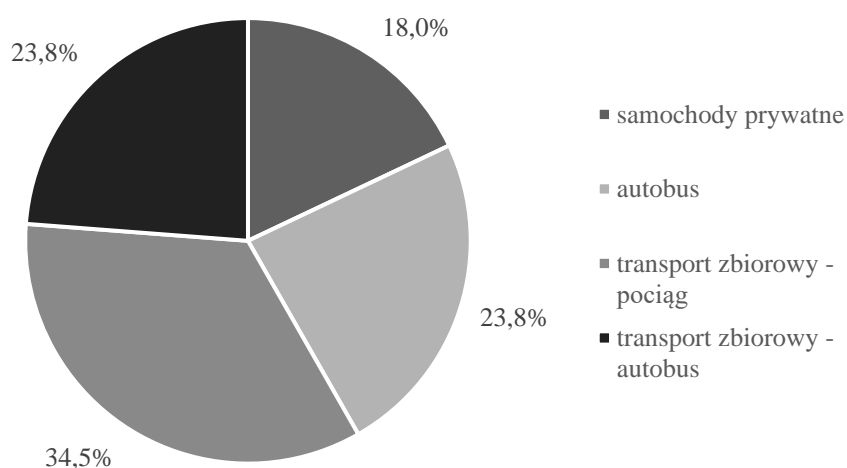
Odpowiedzi uzyskane na pytanie o skłonność studentów do zapłacenia wyższej ceny za wyższy standard miejsca zakwaterowania podczas wyjazdu warto przeanalizować także w odniesieniu do płci, gdyż można zaobserwować tutaj wyraźne różnice. Do zapłacenia wyższej ceny za wyższy standard zdecydowanie bardziej są skłonne kobiety. Odpowiedź „tak” zaznaczyło aż 41 kobiet i tylko 21

mężczyzn, co stanowi dwukrotną różnicę. Z kolei odpowiedź „nie” zaznaczyło tylko 13 kobiet i 23 mężczyzn (rys. 11).



Rys. 11. Skłonność studentów do zapłacenia wyższej ceny za wyższy standard miejsca zakwaterowania podczas wyjazdu w odniesieniu do płci

W ostatnim pytaniu spytano studentów jaki rodzaj transportu preferują podczas wyjazdów. Najczęściej wybieraną odpowiedzią był transport zbiorowy pociągiem (34,5%). Respondenci wybierali po równo (23,8%) odpowiedzi: „autobus” i „transport zbiorowy – autobus”. Najmniej preferowanym środkiem transportu są samochody prywatne, które wybrało 18% ankietowanych (rys. 12).



Rys. 12. Preferowany rodzaj transportu

5. Podsumowanie

Analiza zachowań i preferencji turystycznych studentów Politechniki Rzeszowskiej stanowi istotny wkład w badania nad turystyką studencką. Wyniki badań ukazują, że studenci aktywnie uczestniczą w podróżach turystycznych, a ich wybory podróżnicze są zróżnicowane. Warto podkreślić, że duża liczba badanych preferuje podróże weekendowe, co może być cenną wskazówką dla organizatorów

wycieczek i ofert turystycznych. Ponadto, analizowane dane wykazują, że studenci przykładają wagę do jakości zakwaterowania i są skłonni zapłacić wyższą cenę za lepszy standard. Co więcej, analiza ta pokazuje, że istnieją różnice między preferencjami mężczyzn a kobiet, a także między różnymi wydziałami uczelni. To stanowi ważny sygnał dla branży turystycznej, aby dbać o komfort i standardy noclegów oferowanych studentom.

Warto podkreślić, że turystyka staje się coraz bardziej dostępna i zróżnicowana, a studenci stanowią istotny segment tego rynku. Organizacje studenckie, takie jak SKNBT Tuptuś, mają znaczącą rolę w kształtowaniu i zaspokajaniu potrzeb turystycznych młodych ludzi. Dlatego też, na podstawie wyników powyższych badań, możliwe jest podjęcie działań mających na celu lepsze dostosowanie oferty wycieczkowej do oczekiwań studentów Politechniki Rzeszowskiej. W kontekście rozwoju badań nad turystyką studencką, istnieje potrzeba dalszych badań, które pozwolą na lepsze zrozumienie i identyfikację czynników determinujących wybory podróżnicze studentów. Jednocześnie, wyniki tych badań mogą być cennym wsparciem dla organizacji studenckich i agencji turystycznych, pomagając im lepiej dostosować swoją ofertę do potrzeb i oczekiwań młodych podróżników.

Wnioski z przeprowadzonej analizy stanowią cenny wkład w rozwijanie wiedzy na temat turystyki studenckiej oraz mogą przyczynić się do tworzenia bardziej dostosowanych i atrakcyjnych ofert turystycznych dla studentów Politechniki Rzeszowskiej oraz innych grup studenckich. Ostatecznie, badania te mają potencjał do wprowadzenia pozytywnych zmian w branży turystycznej, promując aktywny tryb życia i eksplorację różnych miejsc docelowych wśród młodego pokolenia.

LITERATURA

- [1] Kwilecki K., Funkcje, motywy i potrzeby w turystyce, Wyższa Szkoła Hotelarstwa i Gastronomii w Poznaniu, Polskie Stowarzyszenie Pracowników Hotelarstwa i Gastronomii w Poznaniu, Polskie Stowarzyszenie Naukowe Animacji Rekreacji i Turystyki, Poznań 2013;
- [2] Lubowicki-Vikuk Adrian P., Zbigniew Podgórski, Zachowania i preferencje turystyczne młodzieży akademickiej, „Współczesne uwarunkowania i problemu rozwoju turystyki”, red. R. Pawlusińskiego, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie, Kraków 2013;
- [3] Wieczorek K., Czynniki wpływające na aktywność turystyczną i wybór destynacji turystycznych wśród studentów, „Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach” 2020, nr 392;
- [4] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 692/2011 z dnia 6 lipca 2011r. w sprawie europejskiej statystyki w dziedzinie turystyki i uchylające dyrektywę Rady 95/57/WE (Dz. U. L 192/17 z 2011r.).