Nauka, Badania i Doniesienia Naukowe 2018

Nauki techniczne i ścisłe

Idea Knowledge Future

Nauka, Badania i Doniesienia Naukowe
2018

Nauki techniczne i ścisłe

Idea Knowledge Future
Świebodzice, 2018

Recenzenci rozdziałów

prof. dr hab. inż. Andrzej Górak, dr inż. Monika Śmiga-Matuszowicz, dr inż. Paweł Krutys, prof. dr hab. inż. Andrzej Dobrucki, dr hab. inż. Robert Drobina prof. ATH, dr inż. Stefan Brachmański, dr hab. inż. Jan Blachowski, dr hab. Janusz Kozubal, dr hab. Lucyna Leniowska prof. UR, dr inż. Anna Stasiuk-Piekarska, dr inż. Agata Warmińska, prof. dr hab. inż. Ryszard Hejamnowski, dr hab. inż. Jerzy Bohdziewicz, prof. dr hab. Adam Figiel, dr hab. inż. Andrzej Jardzioch prof. ZUT, dr hab. Magdalena Szadkowska-Nicze prof. PŁ, prof. Krystian Pyka, prof. dr hab. inż. Walery Jezierski, dr inż. Beata Sadowska, dr hab. inż. Damian Słota, dr hab. inż. Stanisław Zawiślak prof. ATH, prof. dr hab. Lucjan Pająk, dr hab. inż. Marek Hawryluk, dr hab. Szymon Wąsowicz prof. ATH, dr hab. inż. Tomasz Bergier, dr hab. inż. Jakub Montewka, prof. dr hab. Barbara Tora, prof. dr hab. Wojciech Gamrot, dr hab. inż. Elżbieta Gabruś, prof.dr hab. Grzegorz Gołembski, dr Holger Schmidt

Redakcja

Tobiasz Wysoczański

Opracowanie materiałów

Katarzyna Dereń

ISBN (całość kolekcji) 978-83-945311-4-0

ISBN 978-83-945311-6-4

Wydawca: Idea Knowledge Future

Spis treści

Zastosowanie wybranych metod i narzędzi zarządzania jakością w celu identyfikacji przyczyn problemów podczas produkcji mieszanki gumowej w wybranym przedsiębiorstwie

Agata Biniek, Emilia Bachtiak-Radka **7**

Ochrona cieplna budynku mieszkalnego z pustaków ceramicznych na zaprawie poliuretanowej

Joanna Borowska, Natalia Taraszkiewicz **20**

Model matematyczny współczynnika przenikania ciepła okien o zmiennej powierzchni w zależności od parametrów fizykalnych

Joanna Borowska, Walery Jezierski **311**

A model of liquid single phase natural circulation

Rafał Bryk, Thomas Mull, Oliver Herbst, Ingo Ganzmann **41**

Analiza finansowa jako narzędzie wspomagające zarządzanie przedsiębiorstwem

Aneta Drążek, Marzena Hajduk – Stelmachowicz..... **54**

Synteza magnetycznych nanocząstek tlenków żelaza wykorzystywanych w systemach uwalniania leków. Krótki przegląd literatury

Angelika Duszyńska..... **64**

Wpływ dodatku tantalu na przemianę martenzytyczną ferromagnetycznych stopów z pamięcią kształtu NiCoMnIn

Magdalena Fryc, Krystian Prusik, Maciej Zubko **76**

Identification of precursors of chlorate and chlorite formation in swimming pool water

Dominika Gajewska, Agnieszka Włodyka-Bergier, Emilia Stańkowska..... **88**

Konwersja przestrzeni barw RGB na CMYK

Anna Gałuszka **98**

A jeśli kolory to tak naprawdę liczby?

Anna Gałuszka **113**

Wykorzystanie sztucznej inteligencji do identyfikacji osób poprzez odcisk małżowiny usznej

Łukasz Hamera..... **126**

Porównanie algorytmów konwolucji macierzowej

Łukasz Hamera..... **138**

Wykorzystanie pogłosu bramkowanego w realizacji nagrań muzycznych

Maurycy Kin, Sylwia Prygoń **151**

Zmiana atrybutów sceny dźwiękowej sygnałów poddanych różnym rodzajom kompresji

Maurycy Kin..... **160**

Analiza lokalizacji elektronicznych tablic rozkładowych na przystankach MPK we Wrocławiu z wykorzystaniem GIS i metody AHP

Jakub Łuczak, Monika Chojwa **171**

Wytrzymałość jako jeden z głównych determinantów wyboru produktów przez konsumenta

Klaudia Młoda-Brylewska **184**

Wpływ zmiany kąta natarcia łopat wirnika na parametry pracy turbiny wiatrowej o pionowej osi obrotu

Tomasz Noszczyk, Arkadiusz Dyjakon **195**

Inwentaryzacja obiektu metodą gęstego matchingu

Karolina Pargieła, Antoni Rzonca..... **207**

Transport drogowy obecnie- szanse, trudności, rozwój

Anna Pezała..... **219**

Wykorzystanie metod taksonomii do oceny wzbogacalności poszczególnych typów litologicznych polskich rud miedzi

Paulina Pięta, Tomasz Niedoba, Agnieszka Surowiak..... **229**

Charakterystyka i zastosowanie pól elektromagnetycznych w inżynierii procesowej

Alicja Przybył, Rafał Rakoczy **238**

Free chlorine demand in swimming pool footbaths

Emilia Stańkowska, Agnieszka Włodyka-Bergier, Dominika Gajewska..... **260**

Soczewki kontaktowe – oddziaływanie z gałką oczną

Sylwia Stiler, Sylwia Golba **269**

Odbicia wielokrotne względem sfery

Witold Szymański **278**

Nowa metoda perspektywy

Witold Szymański **290**

Określenie dynamiki ruchu powierzchni terenu na terenach górniczych przy wykorzystaniu danych z misji satelitarnej Sentinel

Alicja Tama, Artur Guzy, Agnieszka Malinowska **304**

Koncentracja na rynku morskich przewozów kontenerowych

Mateusz Truszczyński **314**

Znaczenie telepracy w gospodarce opartej na wiedzy

Michał Trziszka **325**

New equipment for CO_2 removal from flue gases

Justyna Wojtasik..... **334**

Prototyp ekologicznej lodówki zasilanej panelem fotowoltaicznym

Bartosz Zdeb, Łukasz Stępień **345**

Koncepcja zautomatyzowanego stanowiska pomiarowego rezystancji wewnętrznej źródła napięcia

Wojciech Żyłka, Marcin Biskup, Piotr Prach, Wiktor Maziarz **356**

Zastosowanie wybranych metod i narzędzi zarządzania jakością w celu identyfikacji przyczyn problemów podczas produkcji mieszanki gumowej w wybranym przedsiębiorstwie

Agata Biniek [(1)], Emilia Bachtiak-Radka [(1)]

[1] Instytut Technologii Mechanicznej. Zachodniopomorski Uniwersytet Technologicznyw Szczecinie
Agata Biniek: Agata.Biniek@zut.edu.pl

Streszczenie
Artykuł przedstawia podstawy teoretyczne, w których scharakteryzowano metody i narzędzia zarządzania jakością. Celem głównym artykułu jest wykorzystanieposzczególnych metod i narzędzi, aby móc zidentyfikować problemy podczas produkcji mieszanki gumowej w wybranym przedsiębiorstwie. Na podstawie informacji oraz obserwacji zidentyfikowano problemy poszczególnych procesów występujące w przedsiębiorstwie. W celu zobrazowania i wytypowania poszczególnych przyczyn i skutków wad został wykonany diagram Ishikawy. Na podstawie danych zebranych w diagramie dokonano analizy FMEA w celu wyznaczenia poziomu ryzyka poszczególnych wad oraz działania zapobiegawcze, aby zmniejszyć występowanie ryzyka. Następnie zostały sporządzone wykresy Pareto-Lorenza, które wskazały na najważniejsze przyczyny związane z układaniem materiału na paletach, co dało informację, którą z przyczyn musimy w pierwszej kolejności eliminować.

Słowa kluczowe: diagram Ishikawy, wykres Pareto-Lorenza, FMEA, branża gumowa

Application of selected methods and quality management tools to identify the causes of problems during the production of a rubber mixture in a selected

Summary
The article presents the theoreticalbasis in which the methods and tools of quality management were characterized. The main aim of the article is to use particular methods and tools to be able to identify problems during the production of a rubber mixture in a selected company. On the basis of information and observations, the problems of individual occurring processes have been identifiedin the enterprise. In order to illustrate and identify particular causes and effects of defects, the Fishbone diagram was made. Based on the data collected in the diagram FMEA analysis was carried out to determine the level of risk of individualdefects and preventivemeasures to reduce the occurrence of risk. The Pareto-Lorenz charts were drawn, which indicated the most important reasons related to laying the material on pallets, which gave information, which for reasons we have to eliminate first.

Keywords: Fishbone diagram, Pareto-Lorenzo chart, FMEA, rubber industry

1. Wstęp

Jednym z najczęstszych problemów współczesnych przedsiębiorstw produkcyjnych, jest zapewnienie najwyższej jakości produktów. W celu spełnienia wszystkich wymagań klientów, przedsiębiorstwa dążą do doskonałości, poszukując nowych sposobówdoskonalenia procesów produkcyjnych. Stosując nowoczesne metody zarządzania jakością i narzędzia Lean Management, a także zwiększając kontrolę nad poszczególnymi procesami produkcyjnymi. Dla wielu przedsiębiorstw czynnikiem głównym, który decyduje o wyborze w jaki sposób doskonalić jakość produkowanych wyrobów są koszty i czas. Dlatego też, w pierwszej kolejności, większość z nich decyduje się na zwiększenie ilości punktów kontrolnych dla operacji w procesie produkcyjnym, które mają największy wpływ na efekt finalny wyrobu.

Jednakże w dzisiejszych czasach przedsiębiorstwa w szczególności stosują metody i narzędzia zarządzania jakością oraz w celu doskonalenia poszczególnych procesów produkcyjnych wykorzystują Lean Management.

W literaturze przedstawione są różna zasady, metody i narzędzia zarządzania jakością w celu zebrania poszczególnych sposobów zarządzania jakością została przygotowane zestawienie w tabeli 1.

Tabela 1. Zasady, metody i narzędzia zarządzania jakością (opracowanie własne na podstawie Hamrol 2011)

	Cechy i sposób oddziaływania na jakość	***Przykłady***
Zasady zarządzania jakością	- oddziaływanie długotrwałe – określają strategię rozwoju przedsiębiorstwa - wykraczają poza ramy przedsiębiorstwa - nie dają wytycznych operacyjnych - rezultaty stosowania są trudne do oceny bieżącej	- zasady Deminga - zasada „ciągłego doskonalenia procesów” (Kaizen) - zasada „zera defektów” -zasada pracy zespołowej
Metody zarządzania jakością	- oddziaływanie średnioterminowe - pozwalają kształtować jakość projektową i jakość wykonania - opierają się na ogólnie przyjętych algorytmach postępowania	- QFD - Analiza wartości - FMEA wyrobu/konstrukcji - FMEA procesu - SKO; SPC - DOE
Narzędzia zarządzania jakością	- oddziaływanie krótkotrwałe (operacyjne) - wyniki stosowania widoczne „prawie” natychmiast, ale efektywne wykorzystanie wymaga połączenia z metodami	Narzędzia tradycyjne: - schemat blokowy - diagram Ishikawy - diagram Pareto-Lorenza - histogram - arkusze kontrolne - wykres korelacji - karta kontrolna Narzędzia przejęte z zarządzania (grupa tzw. nowych narzędzi): - diagram pokrewieństwa - diagram systematyki - diagram relacji - diagram macierzowy - macierzowa analiza danych - wykres PDPC - diagram strzałkowy

W celu identyfikacji poszczególnych problemóww procesie mieszanki gumowej w wybranym przedsiębiorstwie, została przeprowadzona rozmowa z właścicielem firmy, a następnie dokonano obserwacji poszczególnych operacji podczas procesu produkcyjnego. Po pierwszym etapie za pomocą burzy mózgów wytypowano pięćnajbardziej znaczących problemów podczas produkcji mieszanki gumowej.W artykule skupiono się na przedstawieniu jak eliminować problem dotyczącego złego ułożenia materiału na paletach. W celu identyfikacji przyczyn i skutków wad złego ułożenia materiału na paletach dokonano analizy diagramu Ishikawy w trzech kategoriach: maszyna, operator i zarządzanie. Następnym etapem było wykonanie analizy FMEA, aby ustalić analityczny związków

przyczynowo-skutkowych powstawania potencjalnych wad podczas ułożenia materiału na paletach oraz uwzględnieniu w analizie czynnika krytyczności (ryzyka). W celuzidentyfikowania potencjalnych wad procesu, a następnie ich eliminowanie lub minimalizowanie ryzyka z nimi związanego.Aby uporządkować i zobrazować poszczególne wady wykonano wykres Pareto-Lorenza, który przedstawia 20% przyczyn, które przynoszą 80% strat dla przedsiębiorstwa branży gumowej.

2. Wybrane metody i narzędzia zarządzania jakością

W literaturze przedstawione są różna zasady, metody i narzędzia zarządzania jakością natomiast w tym przypadku w celu identyfikacji poszczególnych związków przyczynowo-skutkowych złego ułożenia materiału na palecie, oceny istniejącego ryzyka wad oraz jego redukcji po przez wprowadzenia działań zapobiegawczych wykorzystano następujące metody i narzędzia zarządzania jakości:

- DiagramIshikawy

Diagram przyczynowo-skutkowyIshikawy, nazywany także diagramem „rybiej ości", służy do graficznego przedstawiania związków przyczynowo-skutkowych danego problemu. Innymi słowy przestawia on powiązania pomiędzy skutkami i czynnikami działającymi na proces, które mogą być przyczynami problemu. W połączeniu z „burzą mózgów" doskonale sprawdza się, jako narzędzie pracy zespołowej, pozwalające szczegółowo określić badany problem, czego dowodem jest rozbudowany diagram. Aby jednak diagram powstał należy:

1. określić przedmiot analizy – skutek, problem, niezgodność,
2. określić przyczyny główne problemu (pierwszorzędnych) – najczęściej stosowane, ale nieobowiązkowe grupy czynników oddziaływujące na proces to:
    a. według zasady 5M:
        - człowiek (manpower),
        - metoda (method),
        - maszyna (machine),
        - materiał (material),
        - zarządzanie (management),
3. określić szczegółowe przyczyny problemu: drugorzędne i w razie potrzeby dalszych rzędów – stanowią one rozwinięcie czynników nadrzędnych, gdyż są z nimi bezpośrednio związane.

Zaletą diagram Ishikawy jest rozbudowany obraz problemu, stworzony w oparciu o wiedzę i doświadczenie różnych osób, hierarchizujący przyczyny oraz w łatwy i czytelny sposób obrazujący czynniki wpływające na proces. Trudnością w tworzeniu diagramu może

być zbyt duża złożoność problemu, problematyczna klasyfikacja czynników i zbyt mała wiedza i zaangażowanie osób pracujących nad diagramem.

- FMEA - analiza przyczyn i skutków wad

Metoda wykorzystana jest w przedsiębiorstwach do analizowania przyczyn i skutków wystąpienia wady oraz szacowania ryzyka ich wystąpienia w procesach konstrukcyjnych i wytwórczych.Celem tej metody jest trwałe eliminowanie wad wyrobu lub procesu poprzez wprowadzanie działań zapobiegawczych i korygujących oraz unikanie wystąpienia wad w nowych wyrobach czy procesach, opierając się na wiedzy i doświadczeniu z wykonanych już analiz. Cele są zgodne z zasadami ciągłego doskonalenia. Oznacza to, że metoda ta pozwala na to, aby wyrób lub określony proces poddać kolejnym analizom, a następnie uzyskane wyniki, w miarę potrzeby korygować, wprowadzać nowe rozwiązania i eliminować skutki wad. Metodę tę przeprowadza się w trzech etapach:

1) przygotowania – na tym etapie należy zebrać informację i określić przedmiot analizy – wyrób lub proces. W praktyce można też wykonać analizę dla części procesu lub jednego podzespołuznajdującego się w wyrobie. Po określeniu zakresu analizy należy zidentyfikować wady oraz skutki i przyczyny ich wystąpienia,
2) przeprowadzenia analizy – dla wybranego zespołu elementów wyrobu lub działań w procesie, zdefiniuje się wady oraz skutki jej wystąpienia i przyczynywady. Po określeniu relacji wada – przyczyna – skutek, przypisuje się wskaźniki w skali 1-10:
    a. ***Z znaczenie wady*** ze względu na skutki jakie powstają w wyniku ujawnienia jej podczas użytkowaniu wyrobu/realizacji procesu produkcyjnego (tabela 2.),

Tabela 1. Wskazówki do przyjmowania wskaźnika Z (Źródło: Hamrol 2011)

Z	***Znaczenie wady***
1	Bardzo małe – wada nie wpłynie w żaden sposób na jakość wyrobu/usługi/procesu
2-3	Małe – wada w nieznacznym stopniu wpłynie na wyrób/proces/usługę
4-6	Przeciętne –wada wywołuje niezadowolenie klienta, wpływa na jakość wyrobu/usługi/procesu, sprawia uciążliwości i wymaga naprawy wiążące się z kosztami
7-8	Duże – wada powoduje iż wyrób nie nadaje się do użycia zgodnie z przeznaczeniem, nie zagraża życiu użytkownika, ale naprawa jego wiąże się z dużymi kosztami
9-10	Bardzo duże – wada nie pozwala na użytkowanie wyrobu, nie podlega naprawie i stwarza zagrożenie podczas próby użytkowania

2. ***R prawdopodobieństwo wystąpienia wady*** lub przyczyny wady (tabela 3.),

Tabela 2.Wskazówki do przyjmowania wskaźnika R (Źródło: Hamrol 2011)

R	***Częstość wystąpienia wady lub przyczyny wady***
1	Nie występuje
2-3	Prawie nieprawdopodobne, występuje bardzo rzadko
4-6	Rzadko, występuje co jakiś czas
7-8	Często
9-10	Występuje prawie zawsze

3. ***W możliwość wykrycia*** pojawienia się przyczyny zanim wystąpi wada (tabela 4.).

Tabela 4. Wskazówki do przyjmowania wskaźnika W (Źródło: Hamrol 2011)

W	***Wykrywalność wady***
1-2	Bardzo wysoka – na pewno wykryjemy wadę wyrobu/procesu/usługi. Wyraźnie symptomy pojawienia się przyczyny wady
3-4	Wysoka - duża szansa wykrycia wady
5-6	Przeciętna - być może uda się wadę wykryć
7-8	Niska - pojawiają się symptomy pojawienia się przyczyny, ale jest mało prawdopodobne, że wadę mimo to wykryjemy
9	Bardzo niska - z dużą pewnością można sądzić, że nie wykryjemy wady
10	Nie da się wykryć wady wyrobu/procesu/usługi

Wskaźnik priorytetu (WPR) to iloczynem licz Z,R i W (1), może zmieniać się w przedziale 1-1000 i stanowi podstawę do ustalenia rankingu przyczyn ze względu na ich krytyczność. Po określeniu wskaźnika priorytetu, następuje ostatni etap analizujący uzyskane wyniki.

$$\boldsymbol{WPR = Z \cdot R \cdot W} \tag{1}$$

3) wprowadzenia i nadzorowania działań zapobiegawczych – wynik przeprowadzonej analizy powinien być podstawą do wprowadzania zmian w konstrukcji wyrobu czy procesie wytwarzania, które pozwolą na zmniejszenie ryzyka wystąpienia wad określanych, jako krytyczne, całkowicie zlikwidują przyczynę wady lub zmniejszą negatywne skutki ich wystąpienia. W tym celu wprowadza się działania zapobiegawcze, których stosowanie powinno być nadzorowane, a efekty ich działania weryfikowane.

- WykresPareto-Lorenza

Diagram Pareto-Lorenza jest jednym z tradycyjnych narzędziem umożliwiającym hierarchizację odnalezionych przyczynpowstawania błędów w procesie. Opiera się na założeniu, że 20% przyczyn powstałych błędów, powoduje 80% skutków. Zdefiniowanie tej niewielkiej ilości przyczyn, pozwoli na podjęcie działań doskonalących i podnoszących jakość procesów i wyrobów. Wyrażony graficznie w postaci wykresu, pozwala na lepsze zrozumienie istoty zaistniałych problemów.Budowę diagramu wykonuje się w następujących fazach (Wolniak i in., 2005):

a) należy skompletować informacje na temat procesu, w którym zostałokreślony problem, a następnie poddać go analizie
b) zdefiniować przyczyny pojawiającego się w procesie problemu i określić wielkość za pomocą, której zmierzymy wynik procesu w aspekcie problemu,
c) pogrupować przyczyny - na podstawie określonej wartości,
d) wyznaczyć udział procentowej wartości przyczyny w liczbowej całości i skumulowanych wartości procentowych każdej przyczyny,

e) na podstawie uporządkowanych danych narysowanie słupków, których wysokość odpowiada procentowej wartości przyczyny w liczbowej całości oraz wykresu liniowego, któremu odpowiadają kolejno punkty skumulowanych wartości procentowych przyczyn,
f) przeprowadzenie analizy, które przyczyny należy wyeliminować w pierwszej kolejności, aby usunąć 80% wad (skutków przyczyn).

Podstawowym celem zastosowania tego narzędzia jest wskazanie grupy najważniejszych przyczyn, czyli tych 20%, a także klasyfikacja ważności wad w analizowanym procesie. W literaturze przedmiotu, znajduje się podział na 3 grupy– A, B i C. W grupie A znajdują się wady o największym wpływie na poprawność procesu, które w pierwszej kolejności należy wyeliminować. Grupa B zawiera wady, które należy wyeliminować w drugiej kolejności, a grupa C zawiera wady o najniższym stopniu istotności, które należy wyeliminować, jeśli koszt ich usunięcia będzie niższy niż, straty spowodowane ich negatywnym oddziaływaniem.

3. Charakterystyka przedsiębiorstwa i problemów w procesie produkcyjnym mieszanki gumowej

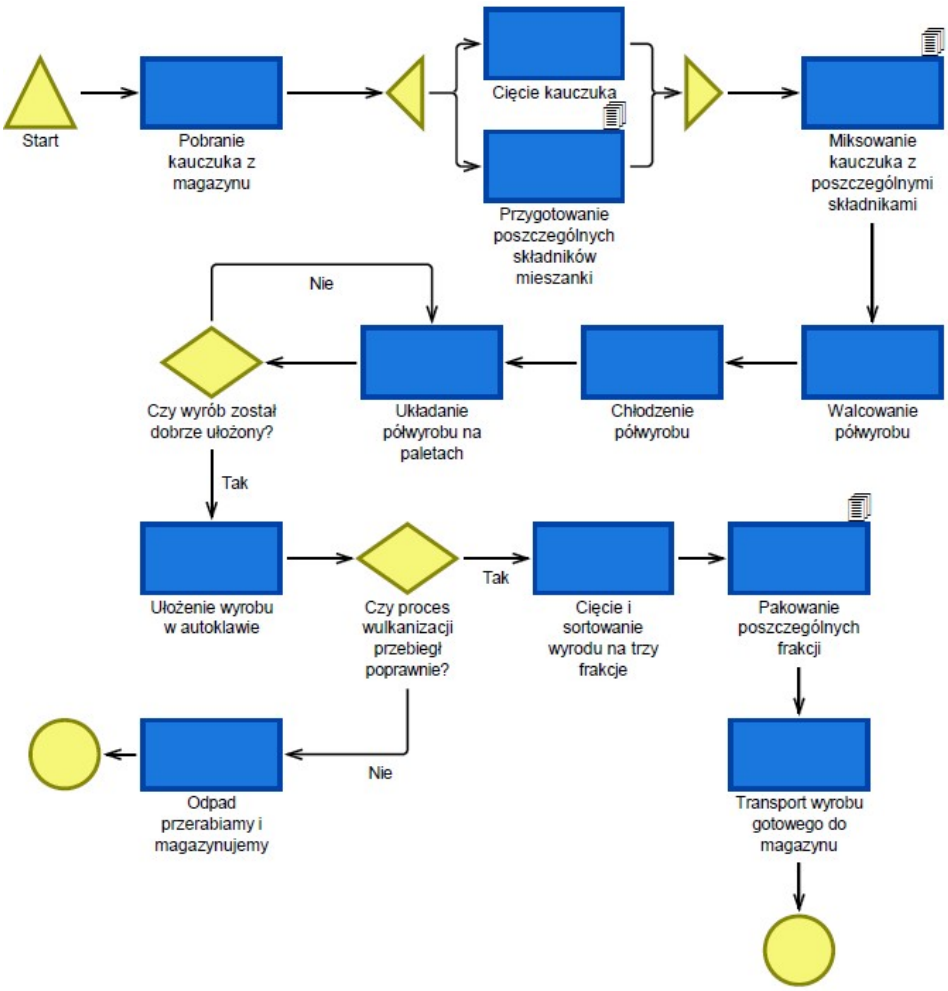
Przedsiębiorstwo, dla którego zostały zastosowane wybrane narzędzia zarządzania jakością w celu poprawy procesu produkcyjnego, zajmuje się głównie produkcją granulatów gumowych na nawierzchnie sportowe i place zabaw. Jako jeden z największych dostawców granulatu, charakteryzuje się najwyższą jakością swoich produktów oraz dbałością o spełnianie wymagań klientów. Ze względu na długoletnie doświadczenie w branży gumowej oraz prowadzone badania nad składem mieszanek gumowych we własnym laboratorium, posiada opracowane receptury mieszanek, zapewniające najwyższą jakość produktów.Po opracowaniu receptury mieszanki gumowej, która zminimalizowała liczbę reklamacji prawie do zera i zagwarantowała powtarzalność wyrobów, firma skupiła się na doskonaleniu procesów tak, aby proces produkcji był krótszy, a wydajność przedsiębiorstwa większa.Podstawowym produktem przedsiębiorstwa jest granulat EPDM (tartan) będący elementem składowym boisk sportowych. W palecie 26 kolorów oraz 3 rozmiarach, stosowany jest przy budowie obiektów sportowych i rekreacyjnych, jako górna warstwa nawierzchni (np. korty tenisowe, place zabaw, nawierzchnie orlików) oraz jako wypełnienie do sztucznej trawy**.**

Po przeprowadzeniu rozmowy i dokonaniu obserwacji, wytypowano pięć najbardziej znaczących problemów podczas produkcji mieszanki gumowej:

- zbyt długi czas załadunku miksera,

- źle ułożony materiał na paletach,
- granulat pocięty na nieodpowiednie frakcje,
- granulat w danej partii w nieodpowiednim kolorze,
- elementy metalowe w dostarczanym do produkcji kauczuku.

Na potrzeby dalszej analizy zaistniałych problemów, ciąg działań realizowanych w procesie produkcji mieszanki gumowej przedstawiono za pomocą schematu blokowego Rys. 1.

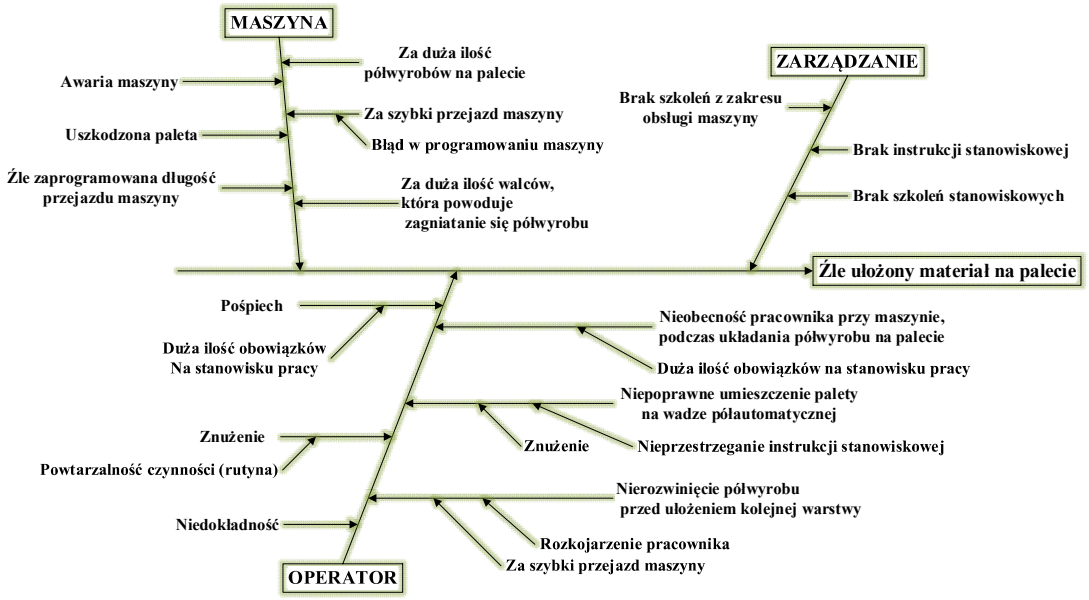


Rys. 1. Schemat blokowy procesu produkcyjnego mieszanki gumowej

4. Zastosowanie diagramu ISHIKAWY, analizy FMEA i wykresu PARETO LORENZA dla wybranego problemu

Dalszej analizie został poddany problem złego ułożenia materiału na palecie. Podczas operacji chłodzenia półwyrób zostaje nawinięty kolejno na 8 walców, co powoduje samoistne zawijanie się brzegu mieszanki gumowej. Po operacji chłodzenia półwyrób układany jest maszynowo na palecie, która umieszczona jest na wadze półautomatycznej. Maszyna sama układa półwyrób na palecie wykonując krótkie przejazdy w od lewej do prawej i z powrotem.

Jednak przed rozpoczęciem przejazdu maszyny, pracownik musi umieścić paletę na wadze półautomatycznej i wyprostować brzeg półwyrobu, aby między kolejnymi warstwami układanego półwyrobu nie znajdował się zwinięty materiał, powodujący zachwiania i zsuwanie się półwyrobu z palety podczas transportu. W pierwszej kolejności wykonano diagram Ishikawy (Rys. 2) w celu identyfikacji przyczyn powstałego problemu.



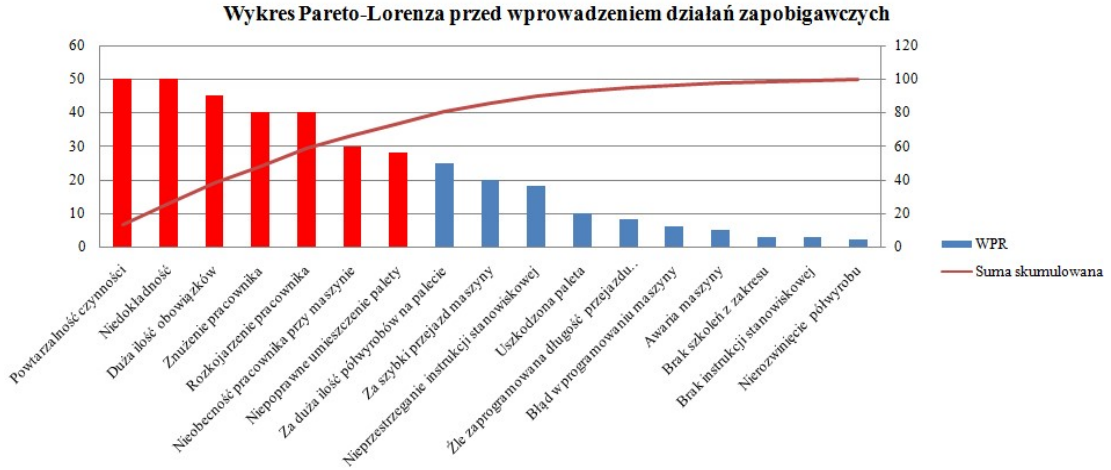
Rys. 2. Diagram Ishikawy dla zdefiniowanego problemu

Następnie na podstawie diagramu Ishikawy, dokonano analizy ryzyka za pomocą metody FMEA (Tab. 5). Określono w niej znaczenie wady, ryzyko wystąpienia przyczyn wady oraz prawdopodobieństwo ich wykrycia, uzyskując tym samym wartość wskaźnika WPR. Założono, że przyczyny najbardziej wpływające na po problem, to te, dla których wartość wskaźnika jest równa lub przekracza 25, tj:

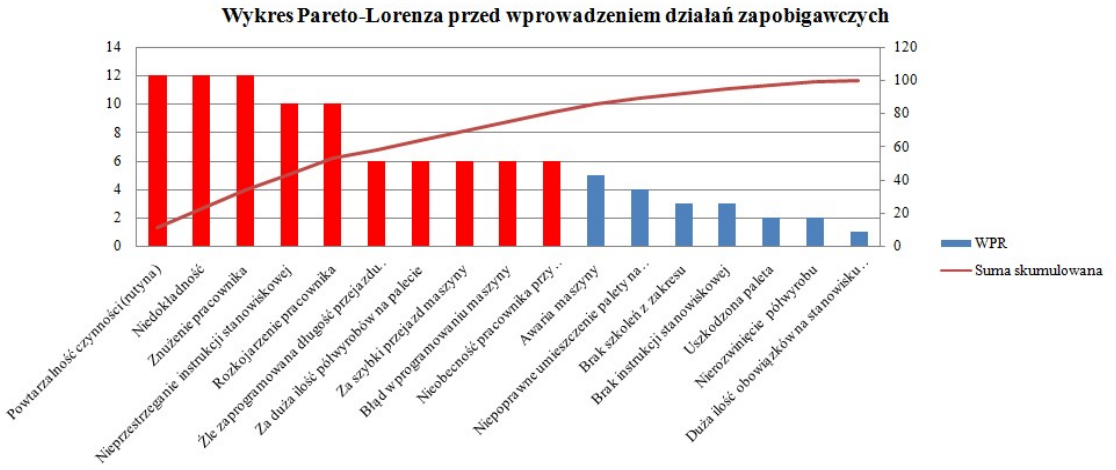
- za duża ilość półwyrobów na palecie,
- duża ilość obowiązków na stanowisku pracy,
- powtarzalność czynności (rutyna),
- niedokładność,
- znużenie pracownika,
- rozkojarzenie pracownika,
- niepoprawne umieszczenie palety na wadze półautomatycznej,
- nieobecność pracownika przy maszynie, podczas układania półwyrobu na palecie.

Po wprowadzeniu środków zaradczych ponownie dokonano analizy i wyznaczono nową wartość wskaźnika, którego zmniejszenie potwierdza słuszność zastosowania proponowanych środków zaradczych.

W celu lepszego zrozumienia zaistniałego problemu badawczego, wskaźniki WPR przed i po zastosowaniu środków zaradczych, przedstawiono za pomocą wykresów Pareto-Lorenza (Rys. 3 i 4).



Rys. 3. Wykres Pareto-Lorenza przed wprowadzeniem działań zapobiegawczych



Rys. 4. Wykres Pareto-Lorenza po wprowadzeniem działań zapobiegawczych

Najpierw zidentyfikowano w ten sposób 20% przyczyn, które w 80% wpływają na problem, a które należy wyeliminować w pierwszej kolejności, tj:

- powtarzalność czynności (rutyna),
- niedokładność,
- duża ilość obowiązków na stanowisku pracy,
- znużenie pracownika,
- rozkojarzenie pracownika,
- nieobecność pracownika przy maszynie, podczas układania półwyrobu na palecie.
- niepoprawne umieszczenie palety na wadze półautomatycznej,

a następnie przedstawiono te same przyczyny po wprowadzeniu środków zaradczych i zmniejszeniu wskaźnika WPR.

5. Wnioski

W wyniku przeprowadzonych badań w przedsiębiorstwie produkującym mieszankę gumową, określono główne przyczyny źle ułożonego materiału na palecie w procesie produkcji. Wykorzystano do tego diagram Ishikawy, analizę FMEA oraz wykres Pareto-Lorenza. Dzięki zastosowaniu wybranych metod i narzędzi zidentyfikowano przyczyny, które wymagają zastosowania środków korygujących i zapobiegawczych, aby w przyszłości dany problem się nie powtórzył. Po określeniu przyczyn za pomocą diagramu przyczynowo-skutkowego określono wartość liczb priorytetowych i zastosowano środki zapobiegawcze dla wszystkich przyczyn powstałej wady. Przyczyny, które zaliczyły się do kategorii WPR powyżej 25 to: za duża ilość półwyrobów na palecie, duża ilość obowiązków na stanowisku pracy, powtarzalność czynności (rutyna), niedokładność, znużenie pracownika, rozkojarzenie pracownika, niepoprawne umieszczenie palety na wadze półautomatycznej, nieobecność pracownika przy maszynie, podczas układania półwyrobu na palecie.

Z wykresów Pareto-Lorenza wynika, iż należałoby skupić się głównie na 20% zaistniałych przyczyn, gdyż zgodnie z zasadą to one powodują 80% skutków. Takie rozwiązanie miało na celu nie tylko eliminację najważniejszych przyczyn, ale również usprawnienie procesu produkcji mieszanki gumowej. Z wyników przeprowadzonych analiz, można zauważyć, że głównym powodem zaistnienia problemu, jest operator. W 20% zaistniałych przyczyn zidentyfikowana następujące problemy: powtarzalność czynności (rutyna), niedokładność, duża ilość obowiązków na stanowisku pracy, znużenie pracownika, rozkojarzenie pracownika, nieobecność pracownika przy maszynie, podczas układania półwyrobu na palecie. Niepoprawne umieszczenie palety na wadze półautomatycznej. Znużeni, czy rutyna prowadzi do zaniedbań, nieprzywiązywania wagi do wykonywanej pracy, a zbyt duża ilość obowiązków może spowodować, iż pracownik pośpiesznie położy uszkodzone paletę na wagę lub nie wyprostuje zwijającego się półwyrobu. Zasugerowano, zatem, niezaplanowanie kontrole pracowników, w celu ich zdyscyplinowania, okresową zmianę stanowiska pracy lub zatrudnienie dodatkowego pracownika. Dla przyczyn, które związane są z maszyną zaproponowano zainstalowanie sygnału dźwiękowego, który poinformuje pracownika o problemie oraz zastosowanie metody POKA-YOKE, która wymusi na pracowniku prawidłowe umieszczenie palety na wadze. Dla rozwiązania zaistniałego problemu zastosowano metody i narzędzi zarządzania jakością, ponieważ ich oddziaływanie jest krótkotrwałe, a efekty ich zastosowania są niemalże widoczne natychmiast. Pozwoliło to na szybką identyfikację i eliminację przyczyn analizowanego problemu.

Tabela 5. Analiza FMEA dla wybranego problemu

Lp.	Część procesu	Potencjalna wada	Skutki wady	Przyczyny wady	Ocena			WPR	Wyniki działania				
					Z	W	R		Zalecane środki zaradcze	Z	W	R	WPR
1	Układanie półwyrobu na palecie umieszczonej na wadze półautomatycznej przez maszynę	Źle ułożony półwyrób na palecie	Spadanie półwyrobu z palety podczas transportu	Awaria maszyny	1	1	5	5	Zaplanowanie okresowych przeglądów maszyny	1	1	5	5
				Uszkodzona paleta	1	2	5	10	Kontrola wizualna każdej palety dokonana przez pracownika	1	2	5	2
				Źle zaprogramowana długość przejazdu maszyny	1	4	2	8	Wykonanie przejazdów kontrolnych po zaprogramowaniu maszyny	1	3	2	6
				Za duża ilość półwyrobów na palecie	1	5	5	**25**	Umieszczenie sygnału dźwiękowego w momencie przeładowania	1	3	2	6
				Za szybki przejazd maszyny	1	5	4	20	Wykonanie przejazdów kontrolnych po zaprogramowaniu maszyny	1	3	2	6
				Błąd w programowaniu maszyny	1	3	2	6	Wykonanie przejazdów kontrolnych po zaprogramowaniu maszyny	1	3	2	6
				Brak szkoleń z zakresu obsługi maszyny	1	3	1	3	Plan szkoleń pracowników	1	3	1	3
				Brak instrukcji stanowiskowej	1	3	1	3	Stworzenie instrukcji stanowiskowej	1	3	1	3
				Duża ilość obowiązków na stanowisku pracy	1	9	5	**45**	Zatrudnienie dodatkowego pracownika	1	1	1	1

				Powtarzalność czynności (rutyna)	1	5	10	**50**	Okresowa zmiana stanowiska pracy	1	3	4	12
				Niedokładność	1	10	5	**50**	Niezaplanowanie kontrole pracownika prze przełożonego	1	4	3	12
				Nierozwinięcie półwyrobu przed ułożeniem kolejnej warstwy	1	1	2	2	Zastosowanie sygnału dźwiękowego sygnalizującego zakończenie operacji chłodzenia	1	1	2	2
				Nieprzestrzeganie instrukcji stanowiskowej	1	9	2	18	Zaplanowanie kontroli pracowników	1	5	2	10
				Znużenie pracownika	1	10	4	**40**	Okresowa zmiana stanowiska pracy	1	4	3	12
				Rozkojarzenie pracownika	1	10	4	**40**	Niezaplanowanie kontrole pracownika prze przełożonego	1	5	2	10
				Niepoprawne umieszczenie palety na wadze półautomatycznej	1	4	7	**28**	Zastosowanie metody POKA-YOKA	1	2	2	4
				Nieobecność pracownika przy maszynie, podczas układania półwyrobu na palecie	1	10	3	**30**	Umieszczenie sygnału dźwiękowego w momencie przeładowania	1	3	2	6

6. Literatura

Hamrol A., Mantura W.: *Zarządzanie jakością. Teoria i praktyka.* Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2011, str. 218.

Krzemień E.: *Zintegrowane zarządzanie. Aspekty towaroznawcze jakość, środowisko, technologia, bezpieczeństwo.* Wydawnictwo Naukowe Śląsk, Katowice-Warszawa, 2004, str. 87.

Łuczak J., Matuszak-Flejszman A.: *Metody i techniki zarządzania jakością. Kompendium wiedzy.*Quality Progress, Poznań, 2007, str. 99.

Wolniak M., Skotnicka B.: *Metody i narzędzia zarządzania jakością. Teoria i praktyka.* Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2005, str. 20.

Ochrona cieplna budynku mieszkalnego z pustaków ceramicznych na zaprawie poliuretanowej

Joanna Borowska [(1)], Natalia Taraszkiewicz [(1)]

[1] Katedra Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa Energooszczędnego, Politechnika Białostocka
Joanna Borowska: j.borowska@doktoranci.pb.edu.pl

Streszczenie
W artykule został opisany i scharakteryzowany system Porotherm 25 Dryfix - rozwiązanie konstrukcyjne ściany zewnętrznej z pustaków ceramicznych na poliuretanowej zaprawie murarskiej. Dokonano obliczeń zapotrzebowania na energię przykładowego budynku mieszkalnego przy dwóch wariantach grubości spoiny poliuretanowej. Dokonano Oceny efektów energetycznych przy różnych uwarunkowaniach zastosowania zaprawy poliuretanowej

Słowa kluczowe: zaprawa poliuretanowa, zapotrzebowanie budynku na energię, system Porotherm Dryfix 25

Thermal protection of a residential building with ceramic hollow bricks on polyurethane mortar

Summary
The article describes and describes the Porotherm 25 Dryfix system - a structural solution of the external wall made of ceramic hollow bricks on a polyurethane mortar. Calculations were made for the energy demand of an exemplary residential building with two variants of polyurethane joint thickness. The energy effects were assessed under different conditions of application of polyurethane mortar.

Keywords: polyurethane mortar, building demand for energy, Porotherm Dryfix 25 system

1. Wstęp

Żyjąc w XXI wieku, pragniemy mieszkać w domach ciepłych, wewnątrz których panuje przyjazny mikroklimat. By dom mógł spełniać oba te kryteria, już na etapie pomysłu, a później projektowania, wykonania i eksploatacji, trzeba dołożyć wszelkich starań, by zostały dobrane odpowiednie materiały oraz technologie wznoszenia ścian. Baczną uwagę należy zwrócić nie tylko na wybór konkretnych komponentów budowlanych, ale także na solidne i dokładne wykonanie murów.

Nie da się nie zauważyć, że w przeciągu ostatnich dziesięcioleci wyroby murowe przeszły ogromną metamorfozę. Kiedyś nie zwracano uwagi na to, jaki współczynnik przewodzenia ciepła mają komponenty do wznoszenia murów – budowano z tego, jaki materiał był wówczas dostępny. Dziś natomiast, gdy rynek obfituje w setki albo i nawet tysiące przeróżnych wyrobów, inwestorzy mają, w czym wybierać. Wybór nie jest to prosty, lecz gdy weźmie się pod uwagę najważniejszą cechę elementów murowych – współczynnik l – z ogromnej gamy produktów atrakcyjna zostanie już tylko garstka. Dzieje się tak, dlatego, że producenci prześcigają się w tworzeniu coraz to nowszych i lepszych technologii w oparciu o zmniejszanie maksymalnie jak tylko się da współczynnika przewodzenia ciepła

dla materiałów, a wiadomo, że im niższy jest ten parametr, tym produkt ma lepszą izolacyjność termiczną.

Obecnie na rynku mamy dostęp do różnorodnych komponentów murowych – począwszy już od stuleci stosowanego kamienia, poprzez wszelkiego rodzaju ceramikę zarówno pełną jak i drążoną czy poryzowaną, dalej mając do wyboru bloczki silikatowe lub wyroby z betonu komórkowego zwykłego lub lekkiego skończywszy a kremzytbetonie. Mimo, że wszystkie te wyroby służą tej samej sprawie – wznosimy z nich mury naszych domów, to nie wszystkie są do tego odpowiednie. Różnią się wieloma cechami, przede wszystkim są to parametry izolacyjności cieplnej i akustycznej, chłonność wody, przepuszczalność pary wodnej, a w końcu cena.

Sprawa ma się podobnie z zaprawami murarskimi. Mimo, że w tym przypadku nie dokonał się jeszcze przełom, dzięki któremu zaprawy na bazie cementu i wapna miałyby podobne współczynniki przewodzenia ciepła jak cegły czy bloczki, to asortyment na rynku jest przeogromny. Tradycyjne zaprawy, czyli takie dostarczane na plac budowy w workach i rozrabiane oraz przygotowywane na miejscu, mają współczynnik l na poziomie ok. 0,9-0,8 $\frac{W}{m \cdot K}$.

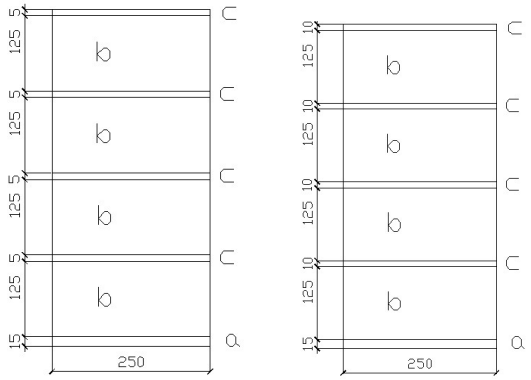
Jednakże producenci z Zachodu, Niemcy oraz Amerykanie stworzyli inny rodzaj zaprawy – poliuretanową zaprawę murarską, która ma kilkukrotnie lepsze parametry izolacyjności cieplnej niż zaprawy zwykłe, które były dotychczas bardzo powszechnie stosowane. Taka zaprawa jest dostarczana na plac budowy w puszkach i bezpośrednio z nich, po zamontowaniu do pistoletu, jest nakładana na wyroby budowlane. Bardzo ważne jest, że ten rodzaj zaprawy może być stosowany jedynie z jednym rodzajem komponentów murowych – pustakami ceramicznymi, inaczej zwanymi ceramiką poryzowaną. System został wykreowany przez firmę Porotherm i nosi nazwę Porotherm Dryfix. Cechą szczególną tej innowacyjnej metody jest czystość prac oraz szybkie tempo wznoszenia muru. Dzięki zastosowaniu dwóch głównych elementów tego systemu, czyli zaprawy w piance oraz pustaków ceramicznych, mur nie ma pionowych i poziomych mostków termicznych (tak jak w przypadku zastosowania tradycyjnej zaprawy) i charakteryzuje się idealnymi parametrami izolacyjnymi.

W związku z powyższym, celem niniejszej publikacji jest przeanalizowanie ochrony cieplnej budynku mieszkalnego z pustaków ceramicznych na poliuretanowej zaprawie murarskiej z oceną efektów energetycznych.

2. Metoda określenia współczynnika przenikania ciepła stolarki okiennej

W oparciu o Poradnik Rzeczoznawcy Rynku Nieruchomości i WT2017 autorzy zdecydowali, że najefektywniejszym sposobem obliczenia oporu cieplnego muru ceglanego będzie podział tegoż muru na strefy (wycinki), z których każda będzie charakteryzowała się inną powierzchnią i innymi właściwościami cieplnymi. Jest to najskuteczniejsza metoda obliczeń oporu cieplnego murów niejednorodnych.

Stworzony algorytm opiera się na rysunkach przedstawionych poniżej dla wariantu I i wariantu II (Rys. 1.):



Rys.1. Mur ceglany z zaznaczonym podziałem na strefy: cegła – zaprawa – cegła + zaprawa, a) dla wariantu I; b) dla wariantu II (opracowanie własne)

Powyżej widać przykładowy kawałek muru ściany zewnętrznej analizowanego budynku. Warstwa „a" to zaprawa wyrównująca systemu Porotherm Dryfix o współczynniku l=0,820 W/(mK). Warstwa „b" odnosi się do cegły systemowej Porotherm 25 Dryfix o współczynniku l=0,283 W/(mK). Warstwa „c" to zaprawa systemowa Porotherm Dryfix, czyli poliuretanowa zaprawa murarska o współczynniku l=0,023 W/(mK).

Opracowany algorytm opiera się na wyliczeniu kresu górnego i kresu dolnego oporu cieplnego dla określonych wycinków muru. Kres górny oporu cieplnego liczony jest dla poszczególnych warstw całej ściany w oparciu o warstwy muru („a", „b" oraz „c"). Natomiast w przypadku kresu dolnego wzięto pod uwagę wycinek ściany zewnętrznej dla poszczególnych warstw tej ściany w oparciu o wycinek muru o układzie warstw: zaprawa poliuretanowa – cegła - zaprawa poliuretanowa (gdyż warstwa wyrównująca ma niewielki wpływ na właściwości cieplne całego muru).

By móc obliczyć opór cieplny badanej przegrody, należy posłużyć się następującymi wzorami (Ickiewicz i in. 2000):

$$R_T=(R_T'+R_T'')/2 \quad (1)$$

$$1/R_T'=f_a/R_{Ta}+ f_b/R_{Tb}+\ldots+ f_q/R_{Tq} \quad (2)$$

$$R_T''= R_{si}+ R_1+ R_2+\ldots+ R_n+ R_{se} \quad (3)$$

gdzie:

R_T – całkowity opór cieplny muru,

R_{Ta}, $R_{Tb, ...,}$ R_{Tq} – całkowite opory cieplne od środowiska do środowiska każdego wycinka,

R_T' – kres górny oporu cieplnego,

R_T'' – kres dolny oporu cieplnego,

f_a ,f_b, …, f_q - względne pola powierzchni wycinka.

$$f_a=a/(a+b+c+\ldots) \quad (4)$$

$$f_b=b/(a+b+c+\ldots) \quad (5)$$

Dane wejściowe do obliczeń parametrów cieplnych ściany zewnętrznej z pustaków ceramicznych na poliuretanowej zaprawie murarskiej są następujące: zaprawa wyrównująca systemu Porotherm Dryfix o współczynniku l=0,820 W/(mK) i grubości warstwy d=0,015m; pustak ceramiczny systemowy Porotherm 25 Dryfix o współczynniku l=0,283 W/(mK) i grubości warstwy d=0,250m; poliuretanowa zaprawa murarska systemu Porotherm Dryfix o współczynniku l=0,023 W/(mK) i oporze R odpowiednim dla grubości warstwy (uzależniona wariantowo).

Warstwy ściany zewnętrznej to kolejno : tynk cementowo wapienny, o współczynniku l=0,820 W/(mK) i grubości 1,5cm; styropian EPS 80-036, o współczynniku l=0,035 W/(mK) i grubości 20cm; mur ceglany, parametry wg obliczeń, tynk cienkowarstwowy, o współczynniku l=0,820 W/(mK) i grubości 1,5cm.

Do obliczeń przyjęto dwa warianty grubości spoiny z poliuretanowej zaprawy murarskiej. Grubość spoiny jest uzależniona od objętości użytej zaprawy oraz od ilości wyciśniętych pasków zaprawy z puszki. Pierwszy wariant odnosić się będzie do 1 paska zaprawy, która rozpręża się do grubości spoiny 0,5cm. Drugi wariant odnosić się będzie do 2 pasków zaprawy, które rozprężają się do grubości 1,0cm. Drugi wariant jest dwukrotnością pierwszego, gdyż nawet przy użyciu większej ilości zaprawy, żadna jej część nie dostaje się w pustki w cegle (Porotherm Dryfix – technologia murowania ceramiki poryzowanej na gotowej zaprawie w piance 2011).

3. System Porotherm Dryfix jako innowacyjna technologia wznoszenia murowanych ścian zewnętrznych

System Porotherm Dryfix jest technologią murowania specjalistycznych szlifowanych pustaków ceramicznych sygnowanych marką Porotherm na określoną specjalną zaprawę murarską w postaci pianki. Pustaki ceramiczne Porotherm Dryfix charakteryzują się idealne gładkimi umyślnie wyszlifowanymi powierzchniami wspornymi, (czyli poziomymi), dzięki czemu idealnie dopasowują się do siebie nawzajem i zaprawa ma do nich bardzo dobrą

przyczepność. Poliuretanowa zaprawa murarska jest konfekcjonowana pod ciśnieniem w puszkach. Do jej ułożenia na warstwie cegieł należy użyć pistoletu, a specjalny aplikator daje łatwą możliwość, by umieścić puszkę w pistolecie. Na wstępie warto też wspomnieć, iż poliuretanowa zaprawa murarska Porotherm Dryfix uzyskała Aprobatę Techniczną Instytutu Techniki Budowlanej, jako pierwsza tego typu zaprawa w Polsce (Aprobata Techniczna Instytutu Techniki Budowlanej AT – 15-8222/2009).

Do głównych zalet systemu Porotherm Dryfix możemy zaliczyć: zapewnienie maksymalnej ochrony cieplnej poprzez eliminację mostków cieplnych zarówno w spoinach poziomych jak i pionowych; maksymalne wydłużenie sezonu budowlanego, dzięki możliwości wznoszenia ścian nawet przy temperaturze -5°C; możliwość zaoszczędzenia czasu pracy nawet do 50% w porównaniu do technologii murowania tradycyjnej – łatwość i szybkość murowania ścian dzięki mało skomplikowanej technologii; możliwość wznoszenia ścian we wszystkich grubościach oraz we wszystkich rozwiązaniach (ściany jedno-, dwu- oraz trójwarstwowe); murowanie jest stosunkowo czyste, nie używa się narzędzi do rozrabiania zaprawy oraz jej nakładania, jest bardzo mało prac porządkowych, co jest pokazane na rysunku poniżej; ściany wzniesione w systemie Porotherm Dryfix charakteryzują się dużą wytrzymałością, a dzięki specjalnym właściwościom użytej zaprawy mur już po paru godzinach od wzniesienia uzyskuje deklarowane przez producenta parametry wytrzymałościowe i może zostać obciążony; mur po wzniesieniu jest czysty, spoiny praktycznie są niewidoczne, co stanowi idealne podłoże pod warstwę kończącą tynku;

Pierwszym, i według autorów najważniejszym, elementem systemu Porotherm Dryfix, jaki zostanie dokładniej omówiony, są pustaki ceramiczne zwane także ceramiką poryzowaną. Przygotowanie zaprawy i następnie równanie różnic pomiędzy poszczególnymi elementami murowymi już po wzniesieniu muru, to czynności, które na placu budowy zajmują bardzo wiele cennego czasu. Dzięki zastosowaniu szlifowanych pustaków sytuacja staje się o wiele bardziej komfortowa. Ich cechą charakterystyczną są bardzo precyzyjne wymiary. Głównym celem szlifowania ceramiki tuż po jej wypaleniu jest nadanie powierzchniom wspornym doskonale gładkiej i równej powierzchni. Dlatego też już wypoziomowanie pierwszej warstwy muru nadaje się do precyzyjnego wzniesienia całej ściany. Zatem, by mur był równy, należy pierwszą warstwę komponentów murowych ułożyć na doskonale poziomej warstwie zaprawy wyrównującej. To jedyny moment, gdzie w systemie Porotherm Dryfix używa się zaprawy innej niż poliuretanowa – może to być zaprawa cementowo – wapienna (Porotherm Dryfix – technologia murowania ceramiki poryzowanej na gotowej zaprawie w piance 2011).

Drugim, równie ważnym elementem systemu Porotherm Dryfix jest poliuretanowa zaprawa murarska. Jest to typ zaprawy twardniejącej pod wpływem wilgoci. Jest komponentem jednoskładnikowym, przeznaczonym tylko i wyłącznie do łączenia ceramiki poryzowanej szlifowanej sygnowanej Porotherm Dryfix. Dostawa i przygotowanie zaprawy jest bardzo komfortowe, gdyż znajduje się ona w lekkich i poręcznych puszkach, i nie wymaga żadnego mieszania ani łączenia z innymi składnikami.

Szczególne właściwości zaprawy są takie, że mur osiąga pełną wytrzymałość już po dwóch dobach od wymurowania i może zostać wtedy już obciążony nawet na stałe. Dodatkowym pozytywnym aspektem jest fakt, że 1 m^2 muru z najgrubszych pustaków (grubości 44cm) można wznieść już nawet w 40 minut, więc szybkość prac jest powalająca. Dodatkowo, zaprawy w piance można używać w temperaturach otoczenia od +35° do nawet -5°C, przez co prace mogą być prowadzone prawie przez cały rok. Skuteczność technologii proponowanej przez Porotherm została zagwarantowana przez testy wytrzymałościowe oraz inne badania przeprowadzone w Instytucie Techniki Budowlanej (Aprobata Techniczna Instytutu Techniki Budowlanej AT – 15-8222/2009).

Jako najważniejsze korzyści, które wynikają z zastosowania innowacyjnego systemu Porotherm Dryfix można wymienić: dostępność gotowej zaprawy w puszce, łatwość wznoszenia murów na znacznych wysokościach bez potrzeby wciągania wiader z zaprawą w górę; dostępność komponentów w systemie w różnych wymiarach i opcjach zastosowania, możliwość prowadzenia prac murarskich przez cały rok.

4. Ocena efektów energetycznych przy różnych uwarunkowaniach zastosowania zaprawy poliuretanowej

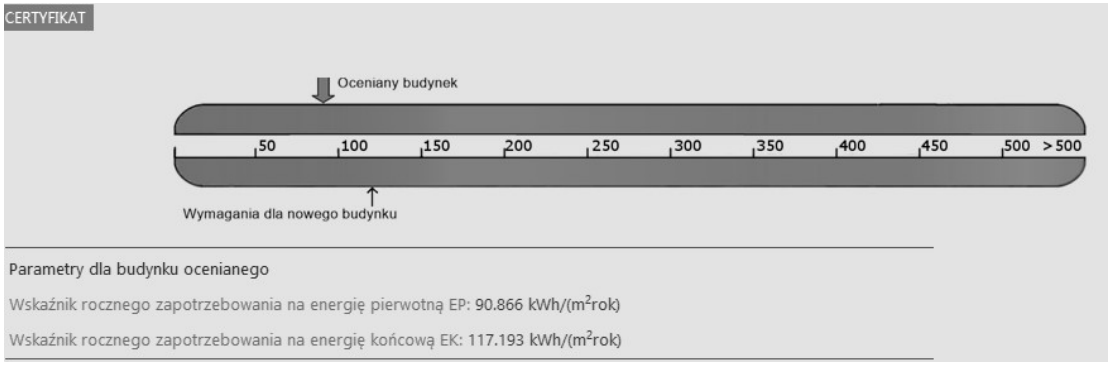
Obliczenia efektów energetycznych dla analizowanego budynku zostały przeprowadzone dla następujących danych: powierzchnia użytkowa budynku: 125,1 m^2, wentylacja grawitacyjna, współczynnik przenikania ciepła okien 1,1 W(m^2K), współczynnik przenikania ciepła podłogi na gruncie: 0,18 W/(m^2K), współczynnik przenikania ciepła dachu: 0,15 W/(m^2K), stropy między kondygnacyjne monolityczne wylewane, lokalizacja: Białystok, oraz dla dwóch wariantów zastosowania zaprawy poliuretanowej. Wariant I odnosi się do cegły poryzowanej Porotherm 25 Dryfix na zaprawie systemowej o grubości spoiny 0,5 cm.

Rys.2. Wydajność zaprawy dla 0,5cm spoiny w murze (Rozwiązania ścienne, Porotherm 25 Dryfix, Wienerberger, Niemcy 2014)

Wariant II odnosi się również do cegły poryzowanej Porotherm 25 Dryfix na zaprawie systemowej, lecz grubość spoiny to 1,0 cm.

Obliczony opór cieplny dla wariantu I wynosi (grubość spoiny 0,5cm): R_T=7,545(m^2K)/W, zaś obliczony opór cieplny dla wariantu II wynosi (grubość spoiny 1cm): R_T=7,785(m^2K)/W.

Jak wspomniano wcześniej, dla wariantu I i grubości spoiny 0,5 cm, używa się 1 paska zaprawy z puszki (jak jest zobrazowane na rysunku 5.6.). Dla takiego zastosowania zaprawy murarskiej, wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną EP dla analizowanego budynku wynosi 90,886 kWh/(m^2rok). Dodatkowo warto wspomnieć, że także wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię końcową EK dla tegoż budynku wynosi 117,193 kWh/(m^2rok).



Rys.3. Suwak energetyczny z zaznaczonym rocznym zapotrzebowaniem analizowanego budynku na energię pierwotną dla wariantu I (opracowanie własne)

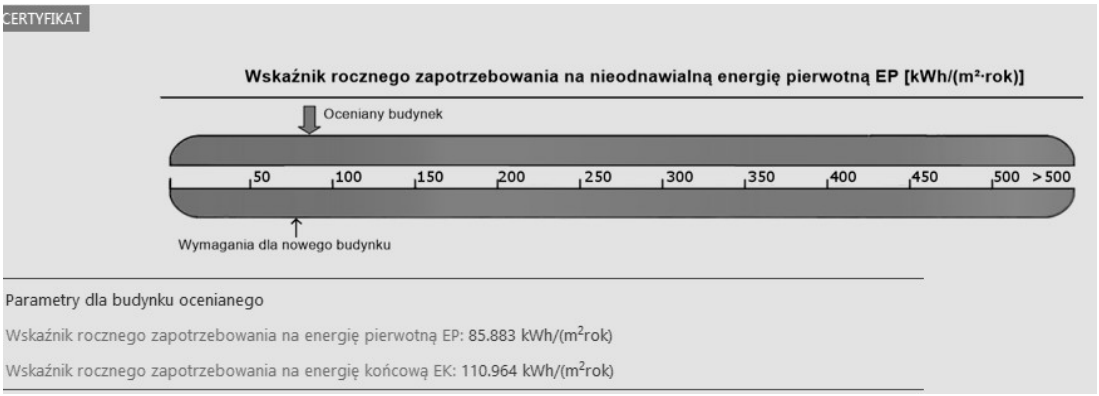
Powyżej, na rysunku 3 widzimy, że analizowany budynek spełnia wymagania określone w WT 2017 dla budynku nowoprojektowanego, a jego poziom energetyczny został określony, jako niskoenergetyczny.

Rys.4. Wydajność zaprawy dla 1cm spoiny w murze (Rozwiązania ścienne, Porotherm 25 Dryfix, Wienerberger, Niemcy 2014)

Dla wariantu II i grubości spoiny 1,0 cm, używa się 2 pasków zaprawy z puszki (jak jest zobrazowane na Rys.4.).

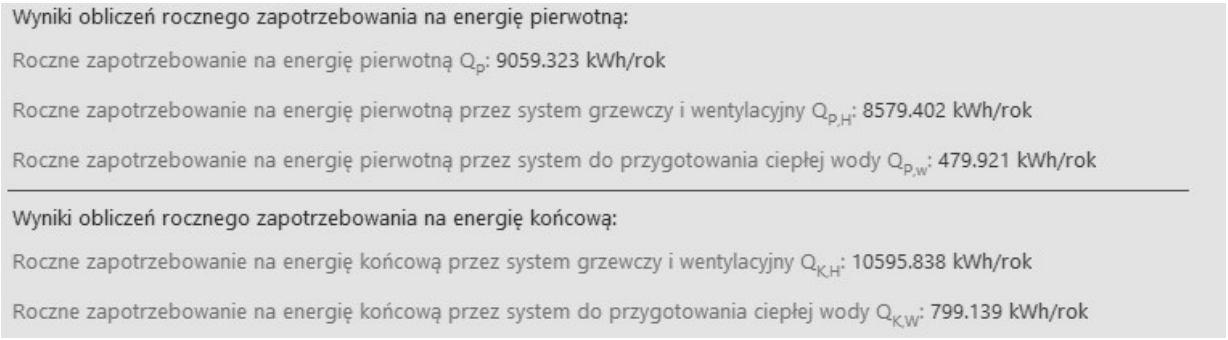
Dla takiego zastosowania zaprawy murarskiej, wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną EP dla analizowanego budynku wynosi 85,883 kWh/(m^2rok). Dodatkowo warto wspomnieć, że także wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię końcową EK dla tegoż budynku wynosi 110,964 kWh/(m^2rok).

Nie da się nie zauważyć, że zwiększenie grubości spoiny w murze, której rolę pełni zaprawa poliuretanowa o świetnych parametrach izolacyjności termicznej sprawia, że wskaźnik zarówno EP jak i EK dla tego samego budynku różni się diametralnie.



Rys.5. Suwak energetyczny z zaznaczonym rocznym zapotrzebowaniem analizowanego budynku na energię pierwotną dla wariantu II (opracowanie własne)

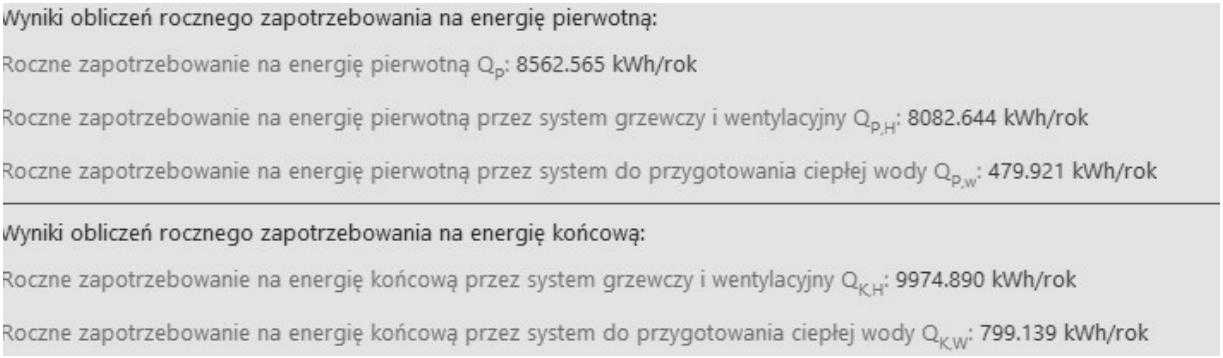
Powyżej, na Rys 5. widać, że analizowany budynek spełnia wymagania określone w WT 2017 dla budynku nowoprojektowanego, a jego poziom energetyczny został określony, jako niskoenergetyczny.



Rys.6. Wyniki rocznego zapotrzebowania na energię analizowanego budynku dla wariantu I (opracowanie własne)

Rysunek powyżej (Rys.6) pokazuje, że wyliczone roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną dla celów przygotowania ciepłej wody, ogrzewania i wentylacji Q_p dla analizowanego budynku w przypadku wariantu I obliczeń wynosi 9059,323 kWh/rok. Zaś roczne zapotrzebowanie na energię końcową dla celów przygotowania ciepłej wody, ogrzewania i wentylacji Q_K wynosi (10595,838+799,139) kWh/rok=11394,977 kWh/rok.

Zaś na rysunku poniżej (Rys.7) zostały przedstawione liczenia dla wariantu II:



Rys.7. Wyniki rocznego zapotrzebowania na energię analizowanego budynku dla wariantu II (opracowanie własne)

Wyliczone roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną dla celów przygotowania ciepłej wody, ogrzewania i wentylacji Q_p dla analizowanego budynku w przypadku wariantu II obliczeń wynosi 8562,565 kWh/rok. Zaś roczne zapotrzebowanie na energię końcową dla celów przygotowania ciepłej wody, ogrzewania i wentylacji Q_K wynosi (9974,890+799,139) kWh/rok=10774,029 kWh/rok.

Analizując przedstawione wyżej wyniki, dochodzimy do wniosku, że:

$$Q_P^I = 9059{,}323\,\frac{kWh}{rok} > Q_P^{II} = 8562{,}565\,kWh/rok$$

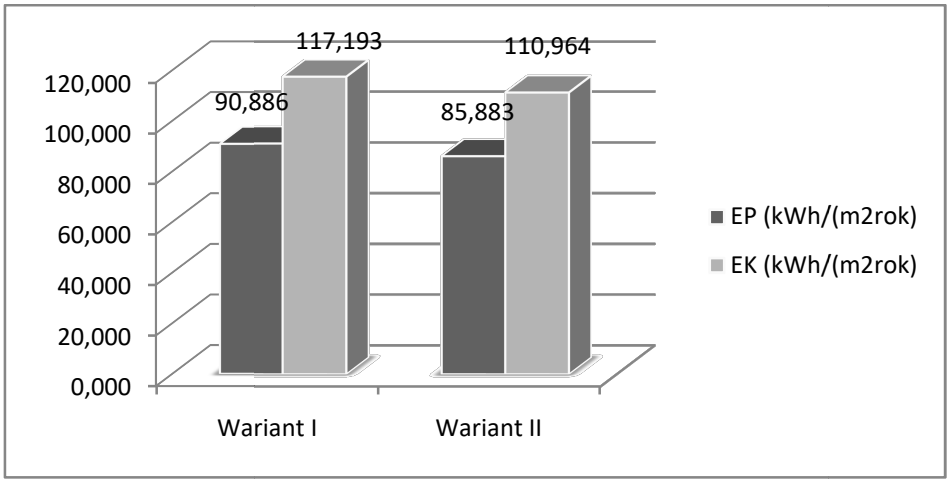
czyli wartość zapotrzebowania na energię pierwotną dla analizowanego budynku, w przypadku wariantu I jest wyższa, niż w przypadku wariantu II.

$$Q_K^I = 11394{,}977\,\frac{kWh}{rok} > Q_K^{II} = 1074{,}029\,kWh/rok$$

czyli wartość zapotrzebowania na energię końcową dla analizowanego budynku, w przypadku wariantu I jest wyższa, niż w przypadku wariantu II.

Jak widać na wykresie kolumnowym poniżej (Rys. 8), wariant II zastosowania poliuretanowej zaprawy murarskiej jest o wiele bardziej korzystny pod względem energetycznym dla analizowanego budynku niż wariant I.

Zarówno wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną jak i rocznego wskaźnik zapotrzebowania na energię końcową jest wyższy w przypadku wariantu I niż dla wariantu II. Zależne jest to w całości od faktu, iż zastosowanie grubszych spoin z poliuretanowej zaprawy murarskiej polepsza właściwości termiczne ściany, przez co współczynnik przenikania ciepła U przez taką ścianę ulega zmniejszeniu i automatycznie straty ciepła przez tą ścianę są niższe, więc i zapotrzebowanie całego budynku na ciepło maleje.



Rys.8. Wykres porównujący wskaźniki EP i EK dla wariantu I i wariantu II (opracowanie własne)

Przedstawione wyżej wyniki można zapisać następująco:

$$E_P^I = 90{,}886\frac{kWh}{m^2rok} > E_P^{II} = 85{,}883\ \frac{kWh}{m^2rok}$$

czyli wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną dla analizowanego budynku, w przypadku wariantu I jest wyższy, niż w przypadku wariantu II.

$$E_K^I = 117{,}193\frac{kWh}{m^2rok} > E_K^{II} = 110{,}964\ \frac{kWh}{m^2rok}$$

czyli wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię końcową dla analizowanego budynku, w przypadku wariantu I jest wyższy, niż w przypadku wariantu II.

5. Wnioski

Dokładnie opisano i scharakteryzowano rozwiązanie konstrukcyjne ściany zewnętrznej z pustaków ceramicznych na poliuretanowej zaprawie murarskiej w systemie Porotherm 25 Dryfix.

Wyliczony opór cieplny dla ściany zewnętrznej na poliuretanowej zaprawie murarskiej wynosi kolejno: R_T= $7{,}545\frac{m^2K}{W}$ dla wariantu o spoinie w murze grubości 0,5 cm oraz R_T=$7{,}785\frac{m^2K}{W}$ dla wariantu o spoinie w murze grubości 1,0 cm.

Obliczono parametry cieplne oraz wskaźniki energetyczne dla wybranego budynku. Wskaźnik energii pierwotnej dla wariantu I wykorzystania poliuretanowej zaprawy murarskiej i grubości spoiny 0,5 cm wynosi: EP=$90{,}866\frac{kWh}{m^2rok}$, zaś dla wariantu II wykorzystania poliuretanowej zaprawy murarskiej i grubości spoiny 1,0 cm wynosi: EP=$85{,}883\frac{kW}{m^2rok}$.

W przypadku efektu energetycznego również najkorzystniejszy okazał się II przypadek muru, dla którego oszczędność energii w stosunku do najmniej korzystnego wariantu wynosi 9,6%.

6. Literatura

Aprobata Techniczna Instytutu Techniki Budowlanej AT – 15-8222/2009.

Poradnik Rzeczoznawcy Rynku Nieruchomości. Ochrona cieplna budynków wg PN-ISO 6946, Wacetob Sp.z o.o., Warszawa 2008.

Ickiewicz I., Sarosiek W., Ickiewicz J., 2000. Wybrane zagadnienia z fizyki budowli. Politechnika Białostocka.

Porotherm Dryfix – technologia murowania ceramiki poryzowanej na gotowej zaprawie w piance. Wienerberger, Niemcy 2011.

Porotherm.Dryfix System, Wienerberger Building Value, Niemcy 2011

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dnia 17 lipca 2015 r.. (WT2017)

Model matematyczny współczynnika przenikania ciepła okien o zmiennej powierzchni w zależności od parametrów fizykalnych

Joanna Borowska [(1)], Walery Jezierski [(1)]

[1] Katedra Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa Energooszczędnego, Politechnika Białostocka
Joanna Borowska: j.borowska@doktoranci.pb.edu.pl

Streszczenie
Wartykule przeanalizowano charakter i stopień wpływu wybranych parametrów fizykalnych charakteryzujących właściwości cieplne elementów stolarki okiennej (współczynnika przenikania ciepła oszklenia U_g; współczynnika przenikania ciepła ramy U_f; liniowego współczynnika przenikania ciepła mostka termicznego na styku szkło-rama $\psi_{g,f}$) oraz powierzchni okna $A_w$na współczynnik przenikania ciepła $U_w$okien w budynkach mieszkalnych. Analizę wykonano na podstawie opracowanego deterministycznego modelu matematycznego opisującego tą zależność. Określono wartości optymalne badanych czynników. Informacja może być przydatna dla projektantów, producentów i konsumentów stolarki okiennej, a także dla studentów i doktorantów.

Słowa kluczowe: współczynnik przenikania ciepła, stolarka okienna, model matematyczny, analiza regresyjna

Mathematical model of heat transfer coefficient of windows with variable surface depending on physical parameters

Summary
The article analyses the nature and degree of influence of selected physical parameters characterizing the thermal properties of windows (glazing coefficient U_g, heat transfer coefficient U_f, linear thermal coefficient of thermal bridging at the glass-frame contact $\psi_{g,f}$) on the coefficient of heat transfer U_w in residential buildings. The analysis was based on the developed deterministic mathematical model describing this relation. The optimum values of the tested factors were determined. Information can be useful for designers, manufacturers and consumers of window frames, as well as for students and doctoral students.

Keywords: heat transfer coefficient, windows, mathematical model, regression analysis

1. Wstęp

Ostatnie lata przyniosły ogromny przełom na rynku stolarki okiennej. Zaczęto produkować okna niezwykle szczelne i ciepłe o przeróżnej charakterystyce parametrów fizycznych i technicznych.

Okno złożone jest z wielu elementów, z czego każdy z nich charakteryzuje się własnymi unikatowymi właściwościami i parametrami. Jednakże ostatecznie poszczególne elementy składają się na całe okno i wpływają na końcową wartość współczynnika przenikania ciepła U_w. Dodatkowo izolacyjność cieplna stolarki okiennej jest redukowana mostkami cieplnymi, które powstają na łączeniach różnych materiałów oraz w czasie montażu okien.

Na stronach internetowych producentów okien przedstawione są sugerowane zalecane ilości pakietów szybowych oraz właściwości ram okiennych czy samych szyb. Bardzo często zdarza się tak, że producenci stolarki okiennej za najniższą cenę proponują konsumentom stolarkę o wysokim (zazwyczaj maksymalnym dopuszczalnym) współczynniku przenikania ciepła pakietu szklącego U_g. Biorąc pod uwagę grubość szklenia, które może być zastosowane

w określonym typie okna, producenci (Jezierski i Borowska 2017a; Jezierski i Borowska 2017b) wyodrębniają kilka różnych zastosowań pakietów szklących.

W zależności od grubości profilu, zaleca się różne pakiety szklące. Idąc za tym tropem, przykładowo dla grubości 36 mm zaleca się pakiet szybowy składający się z jednej komory o współczynniku przenikania ciepła U_g=1,0-1,1 W/(m^{2}K), jednakże można również zastosować pakiet trzyszybowy z U_g = 0,7 W/(m^{2}K) (www.drutex.pl). Dla pakietów szybowych 44-milimetrowych i 54-milimetrowych, współczynniki U_g mogą wynosić 0,6 W/(m^{2}K) i 0,5 W/(m^{2}K). Przy grubości profilu 32 mm można wykorzystać pakiet szybowy o współczynniku U_g=0,8 W/(m^{2}K). można także wykorzystać pakiety czterokomorowe z U_g = 0,3 W/(m^{2}K) (PN-EN 673**)**.

Współczynnik przenikania ciepła ramy okiennej wykonanej z PVC (U_f), zgodnie z oceną (www.veka.pl) może wynosić od U_f=1,3 W/(m^{2}K) dla grubości zabudowy 70 mm i ramy ze standardowym wzmocnieniem stalowym do U_f=0,95 W/(m^{2}K) dla grubości zabudowy 82 mm i ramy z termicznie dzielonym wzmocnieniem stalowym.

Zgodnie z danymi tegoż samego producenta (www.veka.pl), liniowy współczynnik mostka termicznego na styku szkło-rama $y_{g,f}$ może być na poziomie rzędu 0,05 W/(mK) dla mniej korzystnych wartości U_g i 0,035 W/(mK) dla lepszych wartości U_g.

Niestety, zarówno w literaturze naukowo-technicznej, jak i w materiałach marketingowych trudno jest znaleźć charakterystyki cieplne dla całego kompleksowego wyrobu, jakim jest okno. Ciężko jest również poradzić sobie przy oszacowaniu współczynnika przenikania ciepła okien. Ostatecznie najtrudniejszym zadaniem, bez posiadania specjalistycznej wiedzy, jest ostateczny wybór konkretnych typów elementów stolarki oraz zamówienie okna, zmontowanego z nich.

Konieczność oszacowania parametrów stolarki okiennej jest ważna szczególnie teraz, kiedy konsumenci decydują się na okna o dużych, często niestandardowych rozmiarach i kształtach, które mają pełnić funkcję przeszklonych ścian. Z drugiej strony współczesne materiały i technologii pozwalają produkować okna o zmiennej powierzchni i konfiguracji (Jezierski i Borowska 2017a; Jezierski i Borowska 2017b).

W związku z powyższym celem danego badania jest analiza współczynnika przenikania ciepła stolarki okiennej z PCV w budynkach mieszkalnych w zależności od grupy czynników, obejmujących parametry fizykalne elementów stolarki okiennej i rozmiary okien, wraz z oceną stopnia i charakteru wpływu tych czynników oraz określeniem ich wartości optymalnych na podstawie deterministycznego modelu matematycznego opracowanego z danych eksperymentu obliczeniowego.

2. Metoda określenia współczynnika przenikania ciepła stolarki okiennej

Uznano, że do obliczania współczynnika przenikania ciepła stolarki okiennej najbardziej przydatna i oczywista jest składnikowa metoda. Zgodnie z nią, fragment przegrody dzieli się na pola powierzchni o różnych właściwościach cieplnych, a całkowity współczynnik przenikania ciepła oblicza się za pomocą ważonych powierzchniowo wartości U elementów składowych z wykorzystaniem dodatkowych członów korekcyjnych, które uwzględniają wzajemne oddziaływania cieplne między tymi elementami (PN-EN ISO 12631:2013-03). Współczynnik przenikania ciepła U_w pojedynczego okna należy obliczać zgodnie z równaniem:

$$U_w = \frac{A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + A_m \cdot U_m + l_{f,m} \cdot \psi_{f,m} + l_{g,f} \cdot \psi_{g,f} + l_{g,m} \cdot \psi_{g,m}}{A_g + A_f + A_m} \quad (1)$$

gdzie:

U_g, U_f, U_m– współczynniki przenikania ciepła, odpowiednio: oszklenia; ramy; słupków okiennych;

$\psi_{f,m}$, $\psi_{g,f}$, $\psi_{g,m}$ –liniowe współczynniki przenikania ciepła spowodowane połączonymi efektami cieplnymi elementów, odpowiednio: szklącego i ramy; szklącego i słupka; ramy i słupka okiennego;

$l_{g,f}$,$l_{g,m}$, $l_{f,m}$- długość liniowego mostku cieplnego powstającego na styku, odpowiednio: szkła i ramy; szkła i słupka; ramy i słupka;

A_g, A_m, A_f– pole powierzchni, odpowiednio: oszklenia; słupków okiennych; ramy.

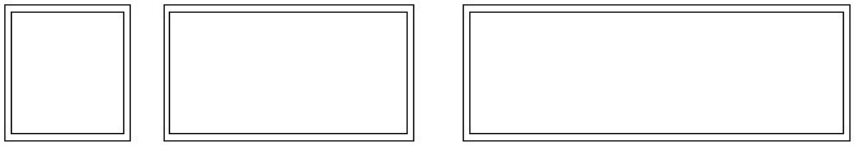
Odnosząc się do przedstawionego wzoru (1) autorzy stworzyli algorytm, który służy do wyliczania szukanego współczynnika przenikania ciepła okna U_w przy zmianie wartości wybranych czynników, który to stanowił podstawę do opracowania modelu matematycznego.

3. Badane warianty okien oraz model matematyczny współczynnika przenikania ciepła

Rozmiary współczesnych okien w budynkach mieszkalnych są ograniczone gabarytami pomieszczeń. Wysokość okien może osiągać 2-3 m, a szerokość nawet do 4-5 m. W oknach często występują pionowe słupki, tworzące w oknie kilka skrzydeł. Z uwzględnieniem najczęściej stosowanych rozmiarów okien w budynkach mieszkalnych oraz postawionego celu badania, zostały wybrane następujące warianty stolarki okiennej: powierzchnia od 1,82 m^2(okno standardowe) do 4,00 m^2;wysokość okna stała – 1,48m. Schematy badanych wariantów okien podano na rys. 1.

Przy opracowaniu modelu matematycznego bardzo ważne jest, by zapewnić jego praktyczną przydatność czy utylitarność oraz skuteczność. Takie cechy można osiągnąć

opracowując krótkie modele, w których wykorzystuje się najważniejsze czynniki, opisujące badany proces czy właściwość oraz mające istotne znaczenie dla odbiorców informacji o badanym obiekcie.

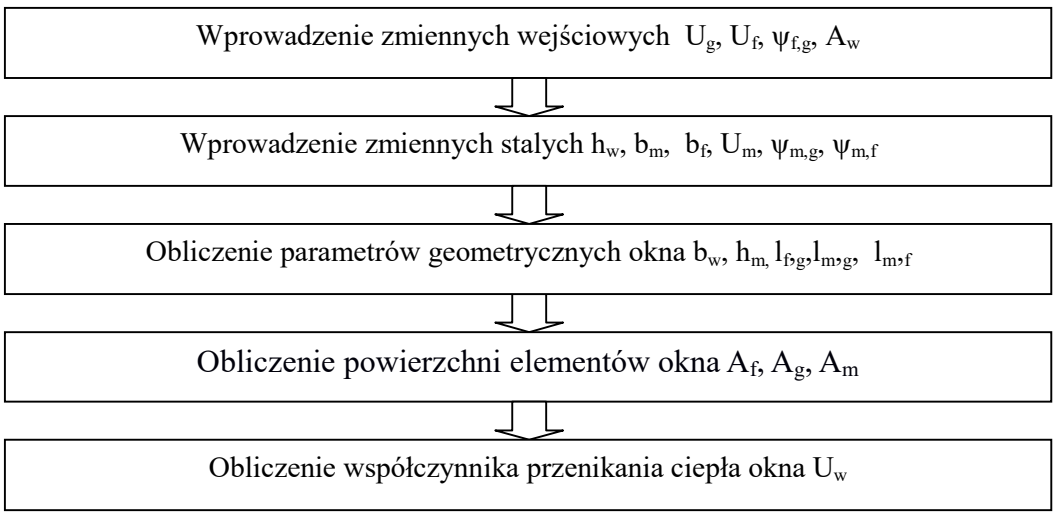


Rys.1. Schematy badanych wariantów stolarki okiennej o zmiennej powierzchni (opracowanie własne)

Jako funkcję celu Y wybrano współczynnik przenikania ciepła stolarki okiennej U_w [W/(m^{2}K)]. Badano zależność współczynnika $U_w(Y)$ od następujących czynników: współczynnika przenikania ciepła oszklenia U_g(czynnik X_1); współczynnika przenikania ciepła ramy U_f (czynnik X_2); liniowego współczynnika przenikania ciepła mostka, spowodowanego połączeniem elementów szkło-rama, $\psi_{g,f}$(czynnik X_3); pola powierzchni okna A_w(czynnik X_4).

Przypuszczano, że szukaną zależność $Y=f\ (X_1,X_2,X_3,X_4)$ może opisywać wielomian drugiego stopnia. W celu uzyskania danych do opisu tej zależnościprzeprowadzono 4-czynnikowy eksperyment obliczeniowy według planu drugiego stopnia (tabela 1). Zastosowano kompozycyjny symetryczny trójpoziomowy D-optymalny plan, zawierający 24 próby (PN-EN ISO 12631:2013-03). Do wyliczenia wartości Y_i w 24 wierszach planu wykorzystano oprogramowanie Microsoft Excel.

Na rys. 1 został przedstawiony schemat blokowy wyliczania współczynnika przenikania ciepła okien o zmiennej powierzchni. Zaproponowany algorytm obliczeń wykorzystano do realizacji eksperymentu obliczeniowego.



Rys. 2. Schemat blokowy obliczania współczynnika przenikania ciepła U_w stolarki okiennej o zmiennej powierzchni (opracowanie własne)

Przy wyborze zakresu zmienności czynników oraz wartości parametrów stałych, od których także zależą efekty wpływu rozpatrywanych czynników, opierano się na informację, uzyskaną z publikacji (Jezierski i Borowska 2017a; Jezierski i Borowska 2017b) oraz od producentów stolarki okiennej (www.drutex.pl; www.veka.pl).

Współczynnik przenikania ciepła oszklenia U_g(czynnik X_1) na poziomie średnim przyjęto 0,7 W/(m^{2}K). Na górnym poziomie wybrano wartość równą 1,1 W/(m^{2}K), a na dolnym - 0,3 W/(m^{2}K).

Współczynnik przenikania ciepła ramy U_f (czynnik X_2) na średnim poziomie przyjęto 1,10 W/(m^{2}K). Na poziomie wyższym wybrano wartość równą 1,40 W/(m^{2}K), a najniższa wartość przyjęta została na poziomie 0,8 W/(m^{2}K).

Liniowy współczynnik przenikania ciepła mostka spowodowanego połączeniem elementów szkło-rama $\psi_{g,f}$, (czynnik X_3) na średnim poziomie przyjęto 0,060 W/(m^{2}K). Na poziomie wyższym wybrano wartość równą 0,090 W/(m^{2}K), a najniższa wartość przyjęta została na poziomie 0,030 W/(m^{2}K).

Pole powierzchni okna A_w(czynnik X_4) na dolnym poziomie przyjęto równe 1,48x1,23=1,82m^2, tj. odpowiednie polu powierzchni okna referencyjnego. Jako poziom średni przyjęto powierzchnię okna 1,48x1,97=2,91m^2, a poziom górny 1,48x2,70=4,00 m^2.

Pozostałe zmienne wymienione we wzorze (1) wyliczano na podstawie wartości wybranych czynników. Wartości współczynnika przenikania ciepła słupków okiennych $U_m$oraz liniowego współczynnika przenikania ciepła mostka spowodowanego połączeniem elementów rama-słupek okienny $\psi_{g,m}$ zostały przyjęte na tym samym poziomie, co i wartości współczynników $U_f$oraz $\psi_{g,f}$.

Wyżej wymienione wartości naturalne czynników $\dot{X}_1,\dot{X}_2,\dot{X}_3,\dot{X}_4$ i odpowiadające im wartości unormowane X_1,X_2,X_3,X_4 przedstawiono w tabeli 1. Przejście z wartości naturalnych $\dot{X}_i$do unormowanych X_i wyraża się wzorem (Polański 1984):

$$X_i = [2\dot{X}_i - (\dot{X}_{i\max} + \dot{X}_{i\min})]/(\dot{X}_{i\max} - \dot{X}_{i\min}) \quad (2)$$

gdzie: $\dot{X}_i$, $\dot{X}_{imax}$, $\dot{X}_{imin}$odpowiednio bieżące, maksymalne i minimalne wartości naturalne i-tego czynnika.

Tabela 1. Naturalne i unormowane wartości wybranych czynników (opracowanie własne)

$\dot{X}_i$	U_g (X_1)	U_f (X_2)	$\psi_{f,g}$ (X_3)	A_w (X_4)
Poziom dolny (-1)	0.30	0.80	0.03	1.82
Poziom średni (0)	0.70	1.10	0.06	2.91
Poziom górny (+1)	1.10	1.40	0.09	4.00
Zakres zmiany ΔX_i	0.80	0.60	0.06	2.18

Tabela 2. Macierz planowania i wyniki eksperymentu obliczeniowego (opracowanie własne)

Nr	U_g (X_1)	U_f (X_2)	$\psi_{f,g}$ (X_3)	A_w (X_4)	U_w (Y_i)	$\Sigma(Y_i-\hat{Y}_i)^2$
1.	0.30 -1	0.80 -1	0.03 -1	1.82 -1	0.536	<0,0001
2.	1.10 1	0.80 -1	0.03 -1	1.82 -1	1.076	<0,0001
3.	0.30 -1	1.40 1	0.03 -1	1.82 -1	0.732	<0,0001
4.	1.10 1	1.40 1	0.03 -1	1.82 -1	1.271	<0,0001
5.	0.30 -1	0.80 -1	0.09 1	1.82 -1	0.683	<0,0001
6.-19.	…	…	…	…	…	…
20.	0.70 0	1.40 1	0.06 0	2.91 0	1.007	<0,0001
21.	0.70 0	1.10 0	0.03 -1	2.91 0	0.867	<0,0001
22.	0.70 0	1.10 0	0.09 1	2.91 0	0.989	<0,0001
23.	0.70 0	1.10 0	0.06 0	1.82 -1	0.977	<0,0001
24.	0.70 0	1.10 0	0.06 0	4.00 1	0.904	<0,0001

Na podstawie wyników obliczeń (Tab. 2) metodą najmniejszych kwadratów (Hartmann i in. 1977) opracowano równanie regresji zależności $Y=f(X_1,X_2,X_3,X_4)$. Istotność współczynników tego równania oceniono za pomocą t-kryterium (Krysicki i in. 2003). Metoda testowania współczynników szczegółowo opisana przez Autorów w (Jezierski i Borowska 2017a). W wynikutestu 6 współczynników okazało się nieistotnych. Po ich usunięciu przyjęto postać końcową równania z k+1=9 współczynnikami:

$$\hat{Y} = 0.928 + 0.288x_1 + 0.084x_2 + 0.064x_3 - 0.036x_4 + 0.018x_1x_4 + 0.013x_2x_4 - 0.009x_3x_4 + \\ + 0.013x_4^2 \quad (3)$$

Potwierdzona została również adekwatność uzyskanego modelu według metody, opisanej szczegółowo przez Autorów w (Jezierski i Borowska 2017a).Dany model posiadał: $\Sigma(Y_i- \hat{Y}_i)^2 = 0{,}0001$; $S^2_a= \Sigma(Y_i-\hat{Y}_i)^2/(N-(k+1))=0{,}00001$; $R^2= 0{,}9999$. Dodatkowo jakość aproksymacji danych opracowanym równaniem oceniono według kryterium F (Hartmann i in. 1977). Przy poziomie istotności α=0,05 i liczbie stopni swobody $f_1=N-1=24-1=23$; $f_2 =N-(k+1) =24-15=9$ okazało się, że wartość obliczeniowa kryterium $F_0=S^2_y/S^2_a =4691{,}4300$ wielokrotnie przekracza wartość tabelaryczną $F_{0,05;23;9} = 2{,}9235$ (Hartmann i in. 1977), co potwierdza wysoką jakość uzyskanego modelu.

4. Analiza wpływu wybranych czynników na współczynnik przenikania ciepła okna

Za pomocą równania regresji (3) przeanalizowano stopień i charakter wpływu poszczególnych czynników na współczynnik przenikania ciepła U_w okna. Analizę przeprowadzono dla zmiennych w postaci naturalnej. Interesowały nas przede wszystkim warianty stolarki okiennej o najniższym współczynniku U_w.

Wykryto, że na współczynnik U_w niewielki korzystny wpływ okazuje powierzchnia okna $A_w(X_4)$. Przy zmianie $A_w$od 1,82 do 4,00 m^2 wartość współczynnika U_w zmalała o 7,4%. Wpływ A_w nie jest równomierny, o tym świadczy niewielki efekt kwadratowy tego czynnika. Przy zmianie $A_w$od 1,82 do 2,91 m^{2}współczynnik $U_w$zmalał o 5%, natomiast w zakresie od 2,91 do 4,00 m^{2}efekt wpływu tego czynnika wynosi tylko 2,4%. Związane to jest z nierównomierną zmianą udziału powierzchni szkła w stolarce okiennej przy wahaniach pola powierzchni okna, co potwierdzono dodatkowymi obliczeniami (przy A_w=1,82 m^2 udział powierzchni szklonej wynosi 0,52; przy A_w=2,91 m^2 - 0,74; przy A_w= 4,00 m^2- 0,76).

Wraz ze wzrostem pozostałych czynników, współczynnik U_w się zwiększa. Przy zmianie wartości czynników U_g (X_1), U_f (X_2), $\psi_{f,g}$ (X_3)z poziomu dolnego do górnego (tab.1), ich niekorzystny wpływ przejawia się istotnym przyrostem $U_w$wynoszącym odpowiednio: 90,0%; 19,9%; 14,8% (w odniesieniu do wartości uzyskanej dla odpowiedniego czynnika na dolnym poziomie). Uzyskane efekty pozwalają porównać charakter i stopień wpływu czynników fizykalnych. Jednak standardowa procedura analizy modelów przewiduje oszacowanie wpływu każdego z czynników pod warunkiem, że pozostałe czynniki utrzymują się na średnim poziomie. To znaczy, że w danym przypadku analizę wykonano pod warunkiem A_w=2,91 m^2. Przy takim podejściu, nie objęto oceny efektów wspólnych oddziaływań czynników, w których najczęściej znajduje się nieoczekiwana i najciekawsza część informacji. Ponieważ uzyskany model zawiera 3 współczynniki charakteryzujące interakcje czynników, warto przeanalizować efekty ich wspólnych oddziaływań.

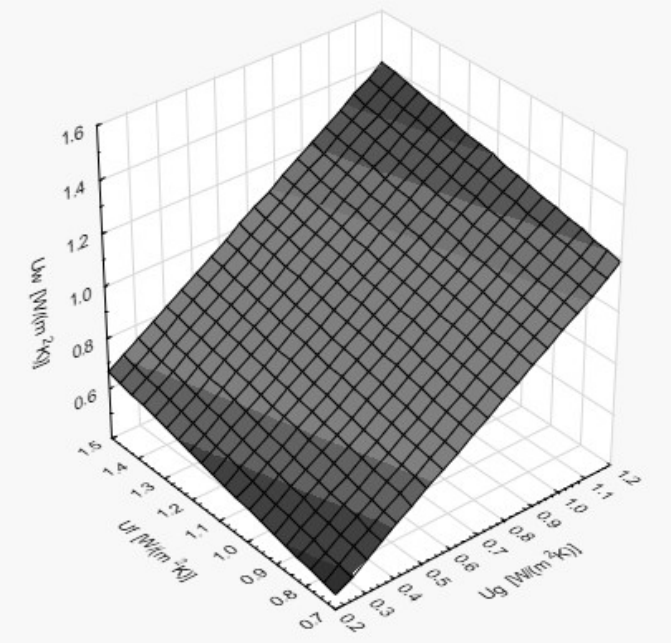
Po porównania znaków i wielkości współczynników modelu wykryto, że charakter i stopień wpływu czynników fizykalnych zależy od czwartego czynnika. Okazało się, że stopień wpływu czynników U_g (X_1) i U_f (X_2) wzmacnia się ze wzrostem $A_w(X_4)$. Odwrotna sytuacja jest ze współczynnikiem $\psi_{f,g}$ (X_3), którego stopień wpływu osłabia się wraz ze wzrostem $A_w(X_4)$. Związane jest to z tym, że proces przenoszenia ciepła przez stolarką okienną ma charakter przestrzenny i zależy nie tylko od właściwości cieplnych materiału elementów okna, lecz także od ich powierzchni.

W celu uzyskania przydatnej informacji dla projektantów i konsumentów stolarki okiennej, przeanalizowano dokładnie współzależności czynników X_1X_4, X_2X_4, X_3X_4

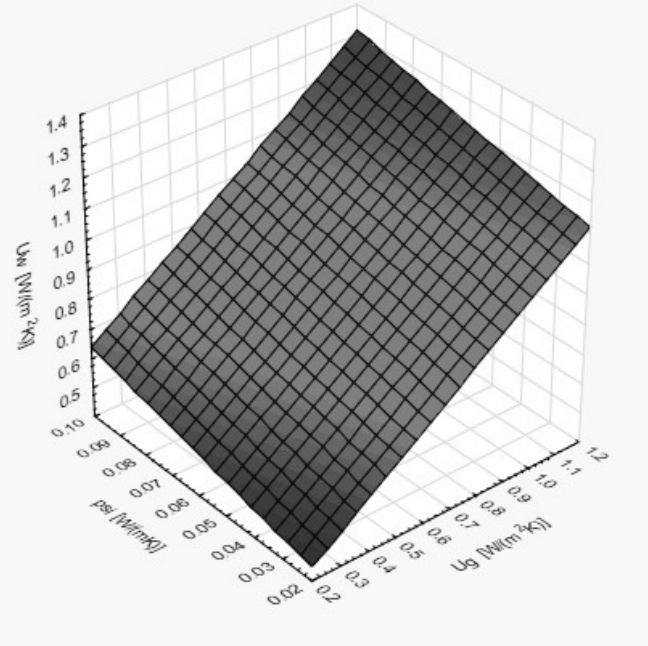
i oszacowano efekty ich interakcji. Okazało się, że przy obniżeniu powierzchni okna A_w do1,82 m^2,stopień wpływu pierwszych dwóch czynników maleje: Ug (X_1) od 90,0 do 76,4%; U_f (X_2) – od 19,9 do 15,7%., a czynnika $\psi_{f,g}$ (X_3) - nieznacznie rośnie od 14,8 do 16,2%. Przy podwyższeniu powierzchni okna A_w do 4,00 m^2 stopień wpływu pierwszych dwóch czynników wzrasta: U_g (X_1) do 102,2%; U_f (X_2) – do 24.0%, a wpływ czynnika $\psi_{f,g}$ (X_3) maleje do 12,9%.

Wzmocnienie wpływu czynników U_g (X_1) i U_f (X_2) oszacowano poprzez określenie właściwego wkładu każdego z czynników w podwyższenie U_w, uzyskanego poprzez dzielenie przyrostu współczynnika $U_w$na zakres zmiany czynnika ($\Delta U_{wi}/\ \Delta X_i$) i wyrażonego w [W/(m^{2}K)] współczynnika $U_{wi\ na}$ każdą 0,10 [W/(m^{2}K)] odpowiedniego czynnika. Okazało się, że dla okien z powierzchnią Aw =4,00 m^{2}stopniowe obniżenie co 0,1 W/(m^{2}K) czynników U_g (X_1) i U_f (X_2) od górnego do dolnego poziomu (tab.1), pozwała obniżać współczynnik przenikania ciepła U_w okien odpowiednio o 0,077 i 0,032 W/(m^{2}K) na każdy stopień. Dla okien z powierzchnią Aw = 1,82 m^2 te liczby wynosiły odpowiednio 0,068 i 0,024 W/(m^{2}K); dla okien A_w = 2,91 m^2 – odpowiednio 0,072 i 0,028 W/(m^{2}K) na każdy stopień. Dane o właściwym wkładzie czynników pozwalają na oszacowanie efektów od zastosowania różnych typów elementów stolarki okiennej.

Opisany charakter wpływu czynników odzwierciedlają wykresy na rys.3 i 4, na których pokazano graficzne zależności Uw=f (U_g,U_f) dla $\psi_{f,g}$ =0,06 W/(m^{2}K); A_w=2,91 m^2 oraz U_w=f (U_g,$\psi_{f,g}$) dla U_f= 0,8 W/(m^{2}K); A_w=1,82 m^2.



Rys. 3. Zależność współczynnika przenikania ciepła stolarki okiennej U_w[W/(m^{2}K)] od współczynnika przenikania ciepła oszklenia U_g [W/(m^{2}K)] i współczynnika przenikania ciepła ramy U_f [W/(m^{2}K)] przy $\psi_{f,g}$ =0,06 W/(m^{2}K); A_w=2,91 m^2(opracowanie własne)



Rys. 4. Zależność współczynnika przenikania ciepła stolarki okiennej U_w,[W/(m^{2}K)] od współczynnika przenikania ciepła oszklenia U_g [W/(m^{2}K)] i liniowego współczynnika przenikania ciepła mostka termicznego na styku szkło-rama $\psi_{g,f}$[W/(m^{2}K)] przy U_f= 0,8 W/(m^{2}K); A_w=1,82 m^2(opracowanie własne)

W wyniku optymalizacji równania regresji (3) wykryto, że uzyskana funkcja osiąga minimalną (najlepszą) wartość $U_{w,\min}$ = 0,473 W/(m^{2}K) przynastępujących wartościach czynników:U_g = 0,30 W/(m^{2}K); U_f = 0,80 W/(m^{2}K); $\psi_{g,f}$= 0,03 W/(m^{2}K); A_w = 4,00 m^2. Przy zapewnieniu minimalnej wartości $U_{w,\min}$, wkłady omawianych elementów w proces przenoszenia ciepła przez okno wynosiły: powierzchnia szkląca – 48%; rama – 40%; mostki liniowe – 12%. Maksymalną (najgorszą) wartość $U_{w,\max}$= 1,418 W/(m^{2}K) obserwuje się przy U_g= 1,10 W/(m^{2}K); U_f = 1,40 W/(m^{2}K); $\psi_{g,f}$=0,09 W/(m^{2}K); A_w=1,82 m^2. Wtedy wkłady poszczególnych elementów w proces przenoszenia ciepła wynosiły: powierzchnia szkląca – 52%; rama – 32%; mostki liniowe – 16%.

Uzyskane dane z przeprowadzonego badania wzbogacają przydatną informację o wpływie parametrów fizykalnych na współczynnik przenikania ciepła okien i mogą być wykorzystane przy podjęciu decyzji podczas wyboru elementów stolarki okiennej. Opracowany model matematyczny dla zbiorów dowolnych wartości badanych czynników (w przyjętych zakresach zmienności) po ich unormowaniu wg wzoru (2) pozwala obliczyć współczynnik przenikania ciepła stolarki okiennej.

5. Wnioski

Zaproponowany deterministyczny model matematyczny pozwolił dokładnie określić charakter i stopień wpływu najważniejszych parametrów fizykalnych w wybranym zakresie ich zmienności na współczynnik przenikania ciepła U_w okien przy zmianie ich pola powierzchni.

Wykryto, że stopień i charakter wpływu czynników fizykalnych na współczynnik U_w stolarki okiennej zmienia się przy wahaniach powierzchni okien, ponieważ ich wpływ jest mocno obciążony interakcją czynnika geometrycznego.

Dla badanych okien określono właściwe wkłady czynników w podwyższenie U_w, pozwalający oszacować efekty zastosowania różnych typów elementów stolarki okiennej.

Ustalono, że optymalne wartości zbadanych czynników są:U_g=0,30 W/(m^{2}K); U_f=0,80 W/(m^{2}K); $\psi_{g,f}$ =0,03 W/(m^{2}K); A_w= 4,00 m^2. Pozwalają one osiągnąć minimalną wartość współczynnika $Uw_{,min}$=0,473 W/(m^{2}K).

6. Literatura

Hartmann K., Lezki E., Schär W., 1977. StatistischeVersuchsplanung und –auswertung in der Stoffwirtschaft". VEB, Leipzig .

Jezierski W., Borowska J., 2017a. Analiza parametrów cieplnych współczesnej stolarki okiennej. Izolacje 4/2017: 90-94.

Jezierski W., Borowska J., 2017b. Parametry cieplne wieloskrzydłowej stolarki okiennej w budynkach mieszkalnych. Izolacje 6/2017: 36-40.

Krysicki W., Bartos J., Dyczka W., Królikowska K., Wasilewski M., 2003. Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna w zadaniach. Część II. Statystyka matematyczna. Wyd. PWN, Warszawa.

PN-EN 673 „Szkło w budownictwie, Określanie współczynnika przenikania ciepła U. Metoda obliczeniowa".

PN-EN ISO 12631:2013-03, „Cieplne właściwości użytkowe ścian osłonowych. Obliczanie współczynnika przenikania ciepła".

Polański Z., 1984. Planowanie doświadczeń w technice. Wyd. PWN, Warszawa.

www.drutex.pl

www.veka.pl

A model of liquid single phase natural circulation

Rafał Bryk [1, 2], Thomas Mull [2], Oliver Herbst [2], Ingo Ganzmann [2]

[1] Instituteof Heat Engineering, Warsaw University of Technology
[2] Framatome GmbH, Paul-Gossen-Strasse 100, 91052 Erlangen, Germany
Rafał Bryk: rafal.bryk@areva.com, test-labs@areva.com

Summary
This paper discusses results obtained during simulation of a one-dimensional model for prediction of the dynamic behavior of a fluid in a rectangular natural circulation loop. In particular, the influence of heat exchange on the stability of natural circulation was investigated.The purpose of the work was a preliminary study for further investigation of the flow in the Containment Cooling Condenser – one of the passive safety systems of a new Boiling Water Reactor design. The model was developed with the object-oriented Modelica modelling language and open-source OpenModelica environment.In order to model the heat transfer, a new component was introduced to cover large range of Reynolds number in the single phase flow. Due to its modularity, the model may be used in the future in similar applications.

Słowa kluczowe: konwekcja swobodna, wymiana ciepła, modelowanie obiektowe, Modelica

Model cyrkulacji wody w stanie ciekłym

Streszczenie
Artykuł prezentuje wyniki otrzymane podczas symulacji jednowymiarowego modelu obliczeniowego, służącego do badania nieustalonego przepływu płynu w prostokątnym obiegu zamkniętym o orientacji pionowej. W szczególności zbadany został wpływ intensywności wymiany ciepła na stabilność naturalnej cyrkulacji cieczy. Celem symulacji była wstępna analiza służąca dalszej pracy nad modelem kondensatora chłodzącego wnętrze obudowy reaktora jądrowego wrzącego wodnego generacji III+. Model obliczeniowy został wykonany w języku modelowania obiektowego Modelica oraz środowisku open-source OpenModelica. W celu zamodelowania wymiany ciepła przy uwzględnieniu możliwie szerokiego spektrum liczby Reynoldsa przy przepływie jednofazowym, nowy komponent został wprowadzony do środowiska. Dzięki swojej uniwersalności i modułowej budowie całego systemu, komponent ten będzie mógł być wykorzystywany w przyszłości przy podobnych problemach.

Keywords: natural circulation, object-oriented modelling, thermal-hydraulics, Modelica

1. Introduction

Currently, nuclear power plants provide over 11% of the world's electricity. In 30 countries all over the world, there are 448 operational reactors, a vast majority of which are generation II reactors (IAEA 2017). The generation II reactors have been successfully implemented during the last decades and this implementation delivered large expertise in the scope of active safety systems, which operation is dependent on external power supply e.g. diesel engine, steam turbine or electrical motor. The modern approach of nuclear reactor designs is to avoid this need for the external source of power and to equip reactors with passive safety systems. The passive systems are triggered automatically and they function according to basic laws of physics such as gravity and natural convection. By combining these passive systems with proven active systems, the advanced reactors of generation III/III+ are undoubtedly the safest ever developed.Furthermore, it has been recognized that the application of passive safety systems can contribute to simplification and potentially – due to

elimination of dispensable devices – to improved economics of new nuclear power plant designs.

In order to develop the Boiling Water Reactor (BWR) product line, AREVA in collaboration with German nuclear utilities and with support from European partners developed a new BWR design – KERENA – a medium-capacity boiling water reactor (Drescher at al. 2014).Fig. 1 shows a cross section through the containment of KERENA.

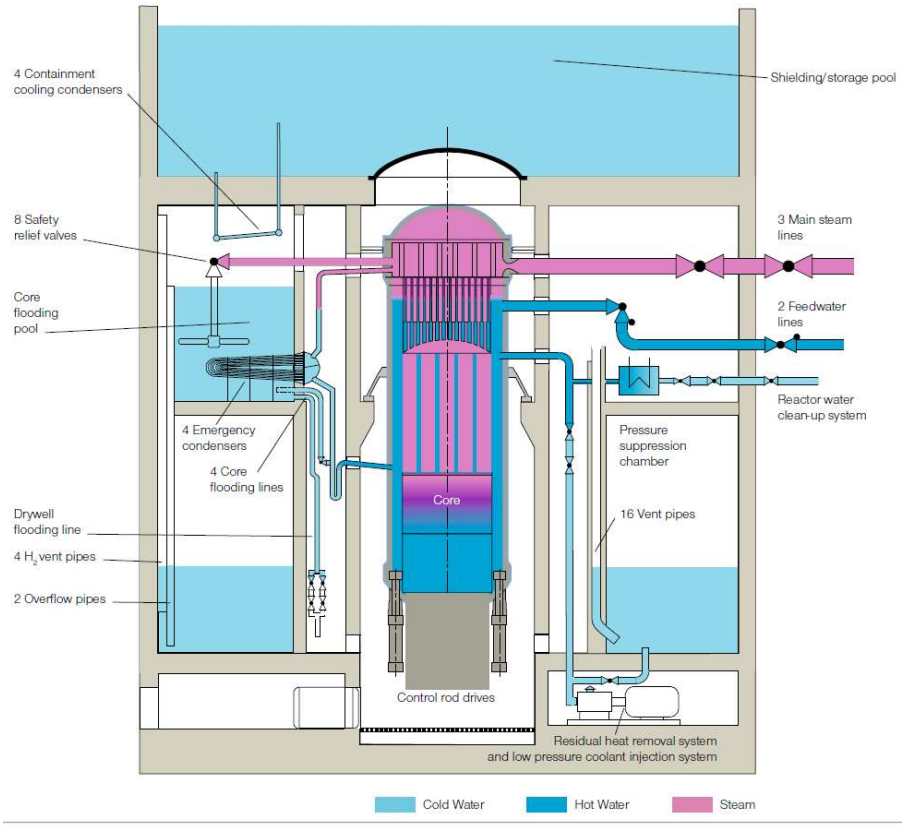


Fig. 1. Cross section through the KERENA containment (AREVA SA 2010)

One of the passive safety systems of the reactor is the Containment Cooling Condenser (CCC). The main task of the system is heat removal from the containment of the reactor in case of Loss of Coolant Accident (LOCA). During LOCA e.g. due to break of the main steam line, hot steam gets into the containment. Since the tubes of the CCC are initially filled with cold water, there is a temperature difference between the water in the tubes and the medium in the containment. This leads to heat transfer and consequent heat-up of the water in the tubes. The increase of water temperature in the CCC pipes is connected with the decrease of its density, which due to inclination of the tubes results in circulation of the fluid. Fig. 2 shows operation of the CCC.

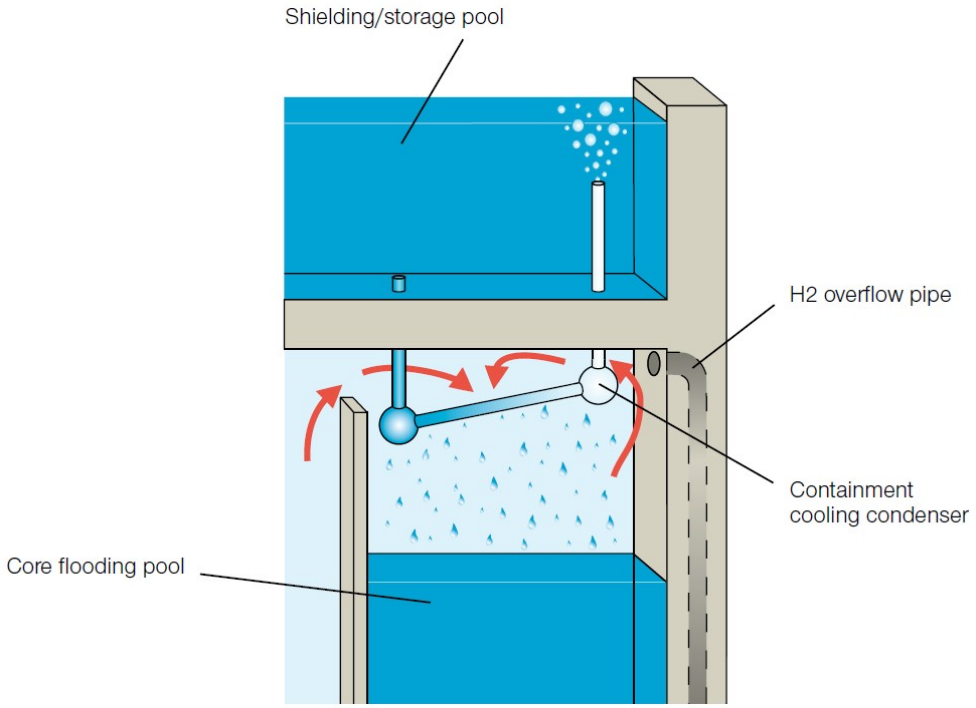


Fig. 2. Operation of the Containment Cooling Condenser (AREVA SA 2010)

The first step to develop a model of the CCC was elaboration of a model of the single-phase natural circulation with corresponding heat transfer mechanisms.Since it has been shown in the literature (Vijayan 2010, Misale at al. 1999, Garibaldi 2008, Pini at al. 2016), that the behavior of such a system – even in the scope of single phase flow – may be strongly unstable, the target of this work was to implement valid correlations which at the same time would be stable with respect to various inputs of the heat flow rate.

The model was developed with the open-source OpenModelica Connection Editor (OMEdit) environment utilizing the Modelica language.Modelica is a non-proprietary, object-oriented, equation-based language to conveniently model complex physical systems (Modelica, 2017). OpenModelica is an open-source Modelica-based modelling and simulation environment intended for industrial and academic usage (OpenModelica, 2017). OMEditis equipped with several large multi-domain libraries. Components encapsulated in the libraries may be developed, enhanced and other objects may inherit their features.

2. System description

The analysed thermal-hydraulicsystem is a vertical rectangular loop built with circular pipes. The loop is equipped with a heater which delivers heat to the system and a cooler which cools the medium down. Fig.3 shows such a system.

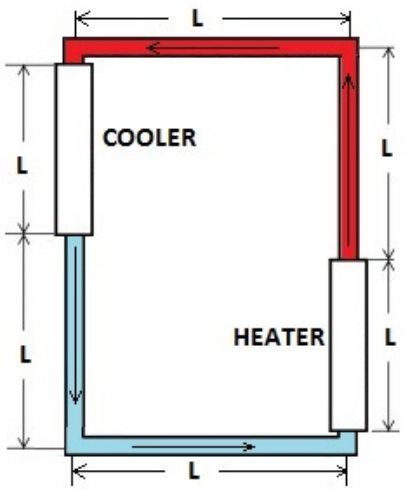


Fig. 3. Scheme of the analysed system

Similarly to the CCC, the motion of the fluid in the systemis a result of theheat input and corresponding decrease of density. The heat is delivered by the heater at the right-bottom side of the system. The water inside the tube is driven up due to the buoyancy force. Once the water reaches the cooler, its density decreases again and the flow proceeds downwards. The steady-state flow is reached when a dynamic equilibrium is established between the buoyancy and the frictional forces. This equilibrium can be either stable or unstable. In the second case, the instabilities can lead to large pulsations of the mass flow and corresponding critical behaviour of the system.

3. Model development

- Governing equations

The flow through the pipes is governed by dynamic mass, energy and momentum conservation equations, as one-dimensional, partial differential equations discretised with the finite volume method. The basic modelling assumptions are:

- uniform velocity is assumed on a cross section of the tube, leading to 1D distributed parameter model,
- longitudinal heat diffusion term in the tube is neglected,
- the energy balance equation is formulated by assuming a uniform pressure distribution; the fluid compressibility effects are lumped at the middle of the pipes,
- tubes walls are assumed to have constant thermal conductivity,
- tubes are perfectly isolated,
- the fluid can exchange heat through lateral surface. Heat transfer coefficient between the fluid and the wall is calculated by a separate module according to

correlations for single phase flow recommended by Gnielinski (VDI Heat Atlas 2010).

Fig. 4 shows the diagram view of the model.

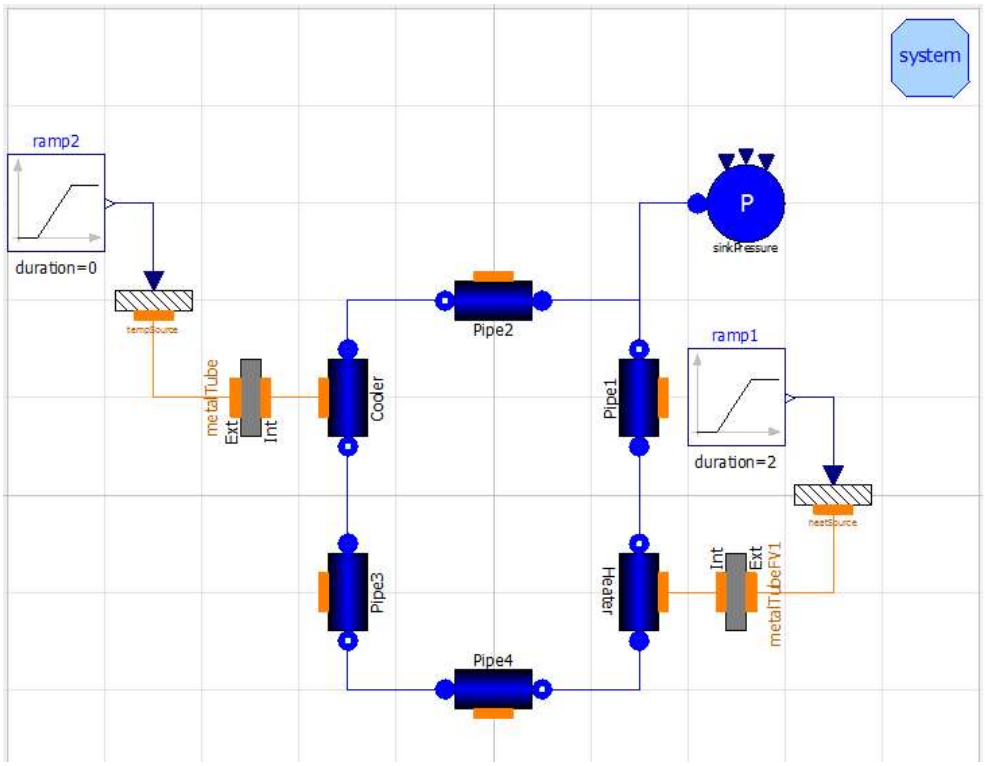


Fig. 4. View of the object-oriented model

In the model, the length of each tube was 5 m and the diameter was 0.02 m. The initial pressure and temperature were set to 20 bars and 57 ℃, respectively. The temperature of the external wall of the cooler was 57 ℃. In order to investigate thedynamic behaviour of the system and the stability of the model, various heat flow rates were applied to the heater section, i.e. 1.5 kW, 2.5 kW, 5 kW and 10 kW.

As an expansion tank, standard SinkPressure component from the ThermoPower library was utilized. The pipe model was set by adopting the Flow1DFV component from the same library. The mass balance in the flow component is given by:

$$\sum_{j=1}^{N} Al\left(\left(\frac{\partial \rho_j}{\partial h_j}\right)_p \frac{dh_j}{dt} + \left(\frac{\partial \rho_j}{\partial p}\right)_h \frac{dp}{dt}\right) = \dot{m}_{in} + \dot{m}_{out} \tag{1}$$

The energy balance is formulated for each discrete volume of the pipe and it is given by:

$$Al\rho_j \frac{dh_j}{dt} - \dot{Q}_J = \dot{m}_j(h_j - h_{j+1}) \tag{2}$$

The momentum balance is given by:

$$\frac{L}{A}\frac{d\dot{m}_{in}}{dt} + \Delta p_{stat} + \Delta p_{fric} = p_{in} + p_{out} \tag{3}$$

Where:

$$\Delta p_{stat} = \sum_{j=1}^{N} g l \rho_j sin\theta \tag{4}$$

and

$$\Delta p_{fric} = \frac{\Lambda L}{2DA^2\bar{\rho}} \dot{m}_{in}^2 \tag{5}$$

$$\Lambda = \frac{0.332}{\left(\ln\left(\frac{e}{3.7} + \frac{5.47}{Re^{0.9}}\right)\right)^2} \tag{6}$$

Tab. 1 explains nomenclature in the equations(1-6).

Tab. 1. Nomenclature explanation for equations 1-6

Nomenclature			
Latin symbols		**Greek symbols**	
A	tube cross section	θ	inclination of the tube
D	tube internal diameter	Λ	friction coefficient
e	relative roughness of the tube	ρ	density
h	specific enthalpy		
L	total length of the tube	**Subscripts**	
l	length of a single volume	fric	pressure drop due to friction
g	acceleration of gravity	h	derivative with constant enthalpy
$\dot{m}$	mass flow	in	inlet
N	total number of volumes	j	number of volume
p	pressure	out	outlet
Q	heat delivered to a volume	p	derivative with constant pressure
Re	Reynolds number	stat	pressure drop due to static head
t	time		

- Heat transfer modelling

Convection is a heat transfer mechanism connected with movement of the fluid. It is a superposition of conductive heat transfer in the fluid and the energy transport due to the macroscopic movement of the fluid. Hence, convective heat transfer depends not only on material properties, but also on the properties of the process e.g. fluid velocity.

The heat flux normal to the wall depends on the temperature difference but also on the temperature and velocity profiles of the fluid. A simple relation for the heat flux is:

$$\dot{q} = \alpha(T_w - T_F) \tag{7}$$

Where α is the heat transfer coefficient while T_w and T_F are temperatures of the wall and fluid, respectively. The value of the heat transfer coefficient depends on the particular fluid and process properties as well as on geometrical configuration of a system.

In order to calculate the heat transfer coefficient, a new convective component was developed to implementdedicated correlations. The correlations cover the full spectrum of the flow i.e. laminar (Re < 2300), turbulent (Re > 10000) and transitional region (2300 < Re < 10000). In the range of laminar flow different correlations were applied for constant wall temperature (cooler section of the modelled system) and constant heat flux (heater section).

Hence, in the scope of the laminar flow with constant wall temperature, it has been demonstrated (Gnielinski 1989), that an equation that is valid for all lengths of pipes can be derived for the mean Nusselt number for hydrodynamically developed flow.Such a correlation (VDI Heat Atlas 2010) is as follows:

$$Nu_j = \left(3.66^3 + 0.7^3 + \left(1.615 \left(Re_j Pr_j \frac{D}{l} \right)^{\frac{1}{3}} - 0.7 \right)^3 \right)^{\frac{1}{3}} \tag{8}$$

with dimensionless numbers defined for each volume j as:

$$Nu = \frac{\alpha D}{\lambda} \tag{9}$$

$$Re = \frac{\dot{m} D}{\nu} \tag{10}$$

$$Pr = \frac{c_p \mu}{\lambda} \tag{11}$$

Tab. 2 explains these symbols used in equations (8-11) which are not included in tab. 1.

Tab. 2. Nomenclature explanation for equations 8-11

Nomenclature			
Latin symbols		**Greek symbols**	
c_p	specific heat capacity	α	heat transfer coefficient
Nu	Nusselt number	λ	thermal conductivity
Pr	Prandtl number	μ	dynamic viscosity
		ν	kinematic viscosity

Regarding the laminar flow with constant heat flux, the following correlation was applied (VDI Heat Atlas 2010):

$$Nu_j = \left(4.364^3 + 0.6^3 + \left(1.953 \left(Re_j Pr_j \frac{D}{l} \right)^{\frac{1}{3}} - 0.6 \right)^3 \right)^{\frac{1}{3}} \tag{12}$$

In case of the fully turbulent flow, the following correlation (Gnielinski 1976) was applied:

$$Nu_j = \frac{\left(\frac{\zeta}{8}\right) Re_j Pr_j}{1 + 12.7\left(\frac{\zeta}{8}\right)^{\frac{1}{2}}\left(Pr_j^{\frac{2}{3}} - 1\right)}\left(1 + \left(\frac{D}{l}\right)^{\frac{2}{3}}\right) \tag{13}$$

where:

$$\zeta = \left(1.8 log Re_j - 1.5\right)^{-2} \tag{14}$$

For the transitional region Gnielinski (Gnielinski 1995) proposed the following interpolation:

$$Nu_j = (1 - \gamma) Nu_{j,\ lam} + \gamma Nu_{j,\ tur} \tag{15}$$

where:

$$\gamma = \frac{Re_j - 2300}{10000 - 2300} \tag{16}$$

The above correlations were encapsulated into a new exchangeable component. Due to the *redeclare model* clause in the Flow1DFV model (pipe model in fig. 4), the heat transfer module could be then called from the interface of the flow model.

The dependence of the Nusselt number on the Reynolds number with assumed various constant values of Prandtl number and for the geometry of analysed system is depicted in fig. 5.

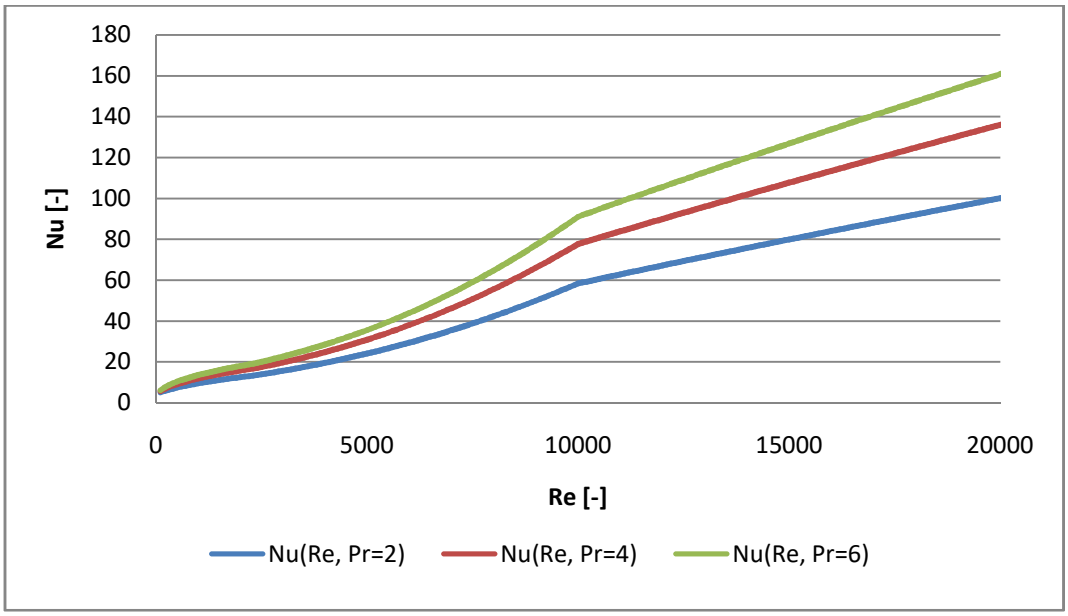


Fig. 5. Nusselt number calculated according to applied correlations

4. Results and discussion

In principle, there are many parameters which may influence the stability of the natural circulation. Among these are:

- loop geometry: pipes diameters, height of the system, orifices etc.;

- construction material;
- operation conditions: power, pressure, pressure losses etc..

In order to analyse the behaviour of the system and to investigate its stability with respect to the various values of power, the model was simulated many times, each with different heat flow rate delivered to the heater section. Application ofvarious heat flow a rate is connected with various mass flow rates in the system and therefore with varying Reynolds number. Due to the dependency of Reynolds number on the mass flow rate and viscosity of the fluid which in turn depends on the temperature, it is possible that the flow would be laminar at some part of the heater or cooler and turbulent in other. Therefore, several simulations were performed, each with different flow characteristics in the heater section: laminar at the whole length, laminar at the bottom and transitional in the upper part, fully transitional, transitional at the bottom part and turbulent at the upper part. In order to obtain these various characteristics, the model was simulated with the power inputs of: 1.5 kW, 2.5 kW, 5 kW and 10 kW.

Fig.6 shows 3 temperature profiles at the heater, in the case when the simulation was performed with the applied heat flow rate of 1.5kW. The green line corresponds to the inlet of the section. The blue one and the orange one represent the centre and the outlet of the tube, respectively. The dashed line shows the mass flow rate. Values of the mass flow rate are depicted at the secondary axis.

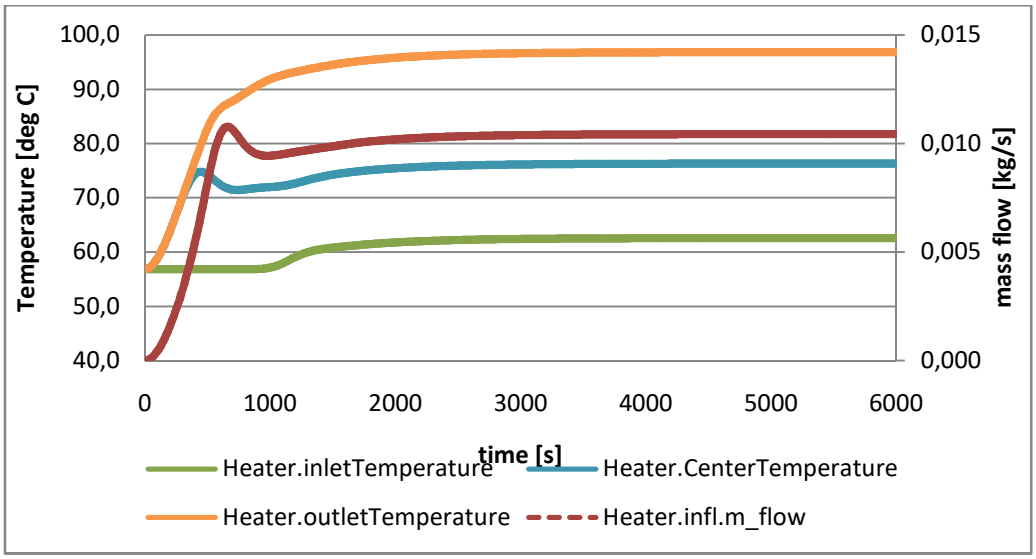


Fig. 6. Temperatures and mass flow in the heater; 1.5 kW power applied

The courses of the curves in the fig.6 show that the flow rate and temperatures increase stably. Any pulsations do not occur and the equilibrium is obtained after around 2500 seconds.

Fig. 7 depicts the temperatures and mass flow rate in the same cross sections but with the applied heat flow rate of 2.5 kW.

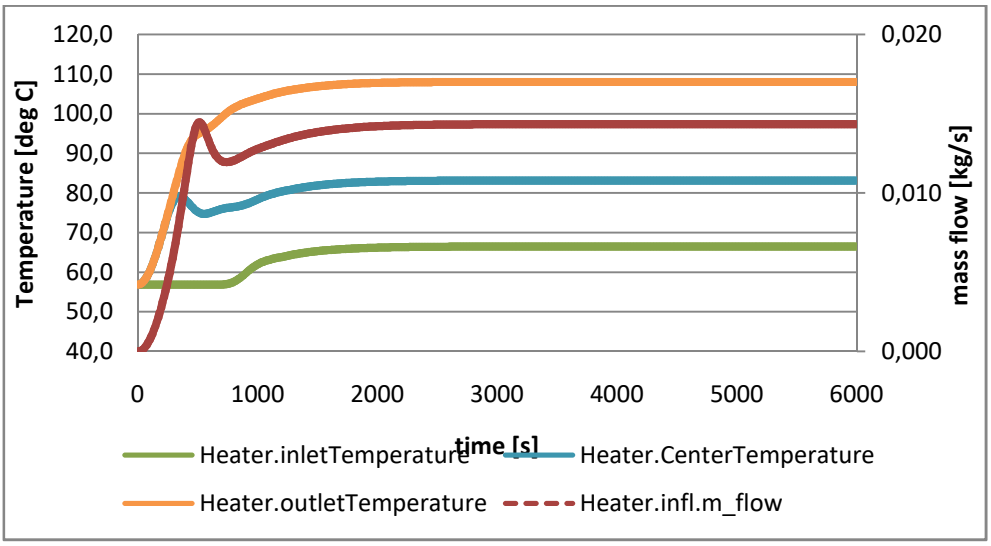


Fig. 7. Temperatures and mass flow in the heater; 2.5 kW power applied

Application of larger heat flow rate resulted obviously in larger temperatures at each cross section of the heater. It also increased the mass flow rate. Although the flow characteristics passed through the soft underbelly of Re=2300, it did notinfluenced the stability of the flow. Stable equilibrium was obtained after about 2500 seconds of the simulation.

The next simulation was performed for fully transitional flow, i.e. with the Reynolds number between 2300 and 10000 at the whole length of the heater. Fig. 8 shows the temperatures and heat flow rate in this case.

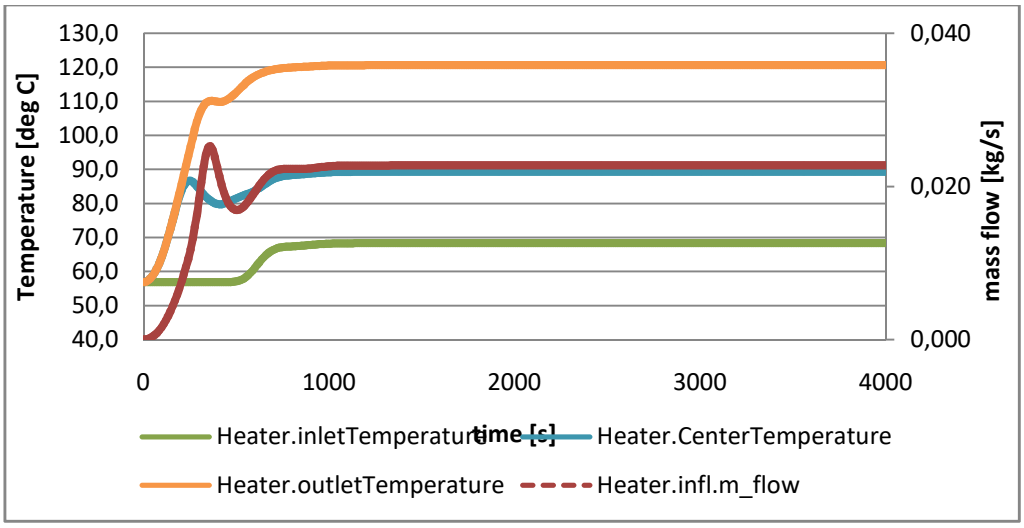


Fig. 8. Temperatures and mass flow in the heater; 5 kW power applied

Application of 5 kW heat flow rate resulted in further increase of the temperatures and mass flow rate. It may be also noticed that the steady state was obtained quicker as in previous cases i.e. after around 1000 seconds.

In the last case, 10 kW of power was applied at the heater section. This implied that the flow was in the transitional region at the bottom part of the heater and it was turbulent at the outlet. This was connected again with passing through the soft underbelly, at Re = 10000. Fig. 9 shows plotted temperatures and mass flow rate.

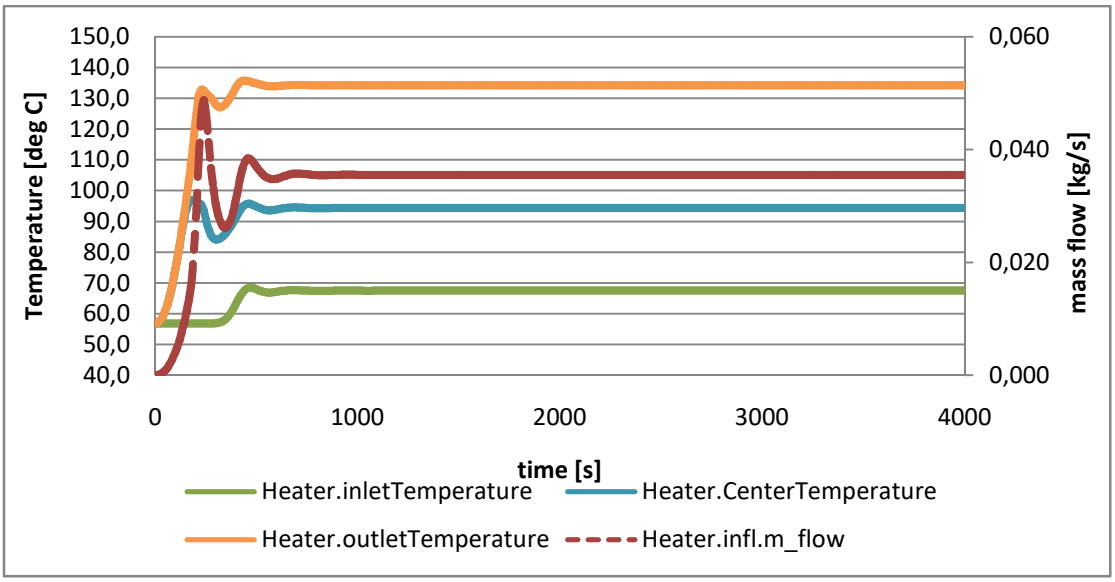


Fig. 9. Temperatures and mass flow in the heater; 10 kW power applied

In the case depicted in fig. 9, some oscillations are apparent at the beginning of the simulation. These oscillations are, however, quickly dumped and the steady-state flow is obtained after 800 seconds.

As described at the beginning of this section, application of various heat flow rates was connected with various turbulence of the flow. Fig. 10 shows the Reynolds numbers at the middle of the heater in analysed cases. The values at the inlet and at the outlet would be lower and higher, respectively.

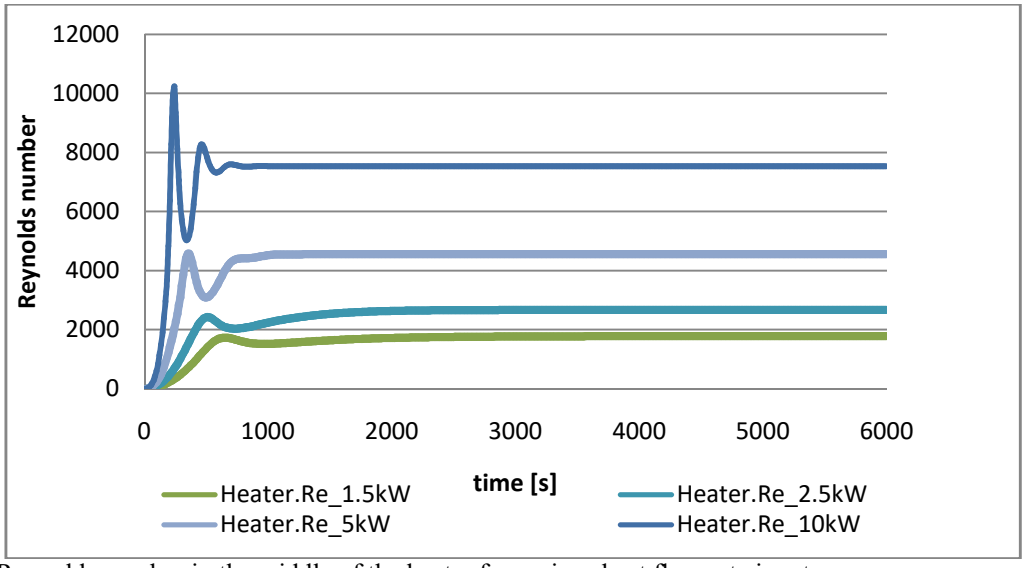


Fig. 10. Reynolds number in the middle of the heater for various heat flow rate inputs

4. Conclusions and future work

In this paper the influence of the heat exchange on the stability of the flow was investigated. The analysis was performed by the modelling of a rectangular, vertical system of circular pipes with a heater at the bottom and a cooler at the upper part of the system.

The target of this work was a preliminary study for further investigation of natural convection encountered in passive safety systems of nuclear reactors. The goal was also to develop a heat transfer component dedicated for the single-phase flows. The component was modelled as a new, exchangeable and reusable module which utilizes correlations described in the paper. The component was developed to cover large spectrum of the Reynolds number and in such a way so that the applied heat transfer correlations would not influence the stability of simulations.This stability was investigated by application of various heat flow rates in the heater section. The authors believe that it is fundamental to validate the correctness of the numbers presented in the paper.

The main conclusions from this work are:

- stability of the flow is strongly dependent on applied heat transfer correlations and on the consistency of these correlations,
- applied heat transfer correlations assure stable flow regardless of the turbulence of the flow.

Further work in the scope of the natural circulation flow will aim to reorganization of the model, so that it represented the Containment Cooling Condenser of the KERENA nuclear reactor. The next step will be to extend the model, so that itcovered also the two phase flow. The results from this reorganized and extended model will be then verified against the data obtained during experiments performed at the dedicated test facility in Karlstein, Germany.

5. Literature

AREVA SA, 2010. The 1250 MWe Boiling Water Reactor.

Cammi A., Luzzi L., Pini A., 2016. The influence of the wall thermal inertia over a single-phase natural convection loop with internally heated fluids. Chemical Engineering Science 153:411-433.

Drescher R., Wagner T., Leyer S., 2014. Passive BWR integral LOCA testing at Karlstein test facility

INKA. VGB PowerTech 5:33-37.

Garibaldi P., 2008. Single-Phase Natural Circulation Lopps: Effects of Geometry and Heat Sink Temperature on Dynamic Behaviour and Stability. University of Genoa.

Gnielinski V., 1976. New equaitons for heat and mass transfer in turbulent pipe and channel

flow. Int Chem Eng 16:359-368.

Gnielinski V., 1989. Zur Wärmeübertragung bei laminarer Rohrströmung und konstanter Wandttemperatur. Chem-Ing-Techn 61:160-161.

Gnielinski V., 1995. Ein neues Berechnungsverfahren für die Wärmeübertragung im Übergangsbereich zwischen laminarer und turbulenter Rohrstömung. Forsch im Ing-Wes 61:240-248.

IAEA, Power Reactor Information System, https://www.iaea.org/PRIS/home.aspx

Misale M., Frogheri M., 1999. Influence of pressure drops on the behavior of a singl-phase natural cirulation loop: preliminary results. Int. Comm. Heat Mass Transfer 26: 597-606.

Modelica website www.modelica.org

OpenModelica website www.openmodelica.org

Pini A., Cammi A., Luzzi L., 2016. Analytical and numerical investigation of the heat exchange effect on the dynamic behaviour of natural circulation with internally heated fluids. Chemical Engineering Science 145: 108-125.

Spang B., 1996. Einfluss der thermischen Randbedingungen auf den laminaren Wärmeübergange im Kreisrohr bei hydrodynamischer Einlaufströmung. Heat Mass Transfer 31:199-204.

VDI Heat Atlas, 2010, Second Edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Vijayan P.K., 2010. Stabilization of Natural Circulation Flow. IAEA Headquarters, Vienna, Austria.

Analiza finansowa jako narzędzie wspomagające zarządzanie przedsiębiorstwem

Aneta Drążek[(1)], Marzena Hajduk – Stelmachowicz[(2)]

[1]Studenckie Koło Naukowe Młodych Ekonomistów, Politechnika Rzeszowska
[2] Katedra Ekonomii, Politechnika Rzeszowska
Aneta Drążek: aneta1014@gmail.com

Streszczenie
Analiza finansowa jest skutecznym narzędziem optymalizacji procesu decyzyjnego w przedsiębiorstwie. Przedmiotem niniejszego opracowania jest ocena kondycji finansowej przedsiębiorstwa X. W opracowaniu przedstawiono wyniki przeprowadzonej analizy wskaźników kondycji finansowej badanego podmiotu. Analiza dotyczy okresu od 2013 r. do 2015 r. Analiza została oparta na wzorach powszechnie dostępnych w literaturze przedmiotu. W opracowaniu wykorzystano sprawozdania finansowe uzyskane bezpośrednio od podmiotu gospodarczego. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że płynność finansowa, rentowność lub zadłużenie jednostki biznesowej są na satysfakcjonującym poziomie, co wskazuje na dobrą kondycję badanej jednostki w analizowanym okresie.

Słowa kluczowe:zarządzanie organizacją, płynność finansowa, rentowność, zadłużenie

Financial analysis as a tool supporting a business management

Summary
Financial analysis is an effective tool for optimizing the decision-making process in an enterprise. The subject of this paper is the assessment of the financial condition of enterprise X. The study contains the results of the conducted analysis of the financial condition indicators of the examined entity. The analysis concerns the period from 2013 to 2015. The analysis was based on the models commonly available in the literature on the subject. The financial statements obtained directly from the business entity were used in the elaboration. Based on the obtained results, it was found that the financial liquidity, profitability or indebtedness of the business unit are at a satisfactory level, which indicates the good condition of the audited entity in the analyzed period.

Keywords: management, financial liquidity, profitability, liabilities.

W nauce istotne jest nie tyle zdobywanie nowych faktów,
ile odkrywanie nowych sposobów myślenia o nich.
L. Bragg

1. Wstęp

Analiza ekonomiczna, w której skład wchodzi analiza finansowa zajmuje wysokie miejsce w hierarchii podstawowych narzędzi zarządzania przedsiębiorstwem (Charles i in. 2000). Jest ona ważna zarówno na etapie planowania, organizowania, przewodzenia, jak i kontrolowania.Wnioski będące skutkiem dobrze przeprowadzonej analizy finansowej są kluczowe w procesie decyzyjnym (zarówno w krótko, jak i długookresowej perspektywie) (Sierpińska i in. 2012).W tym kontekście tematpracy jest istotny dla zarządzających.

W niniejszej pracy badaniom poddano sprawozdania finansowe z lat 2013-2015 przedsiębiorstwa X. Dokumenty uzyskano bezpośrednio od przedstawicieli badanego podmiotu. Przedsiębiorstwo funkcjonuje na rynku nieprzerwanie od początku lat, 90 jako spółka akcyjna. Profil jej działalności związany jest ze świadczeniem usług w zakresie robót budowlano - montażowych. Podmiot prowadzi także produkcję elementów metalowych.

Swoją działalnością obejmuje teren całej Polski. Największa koncentracja widoczna jest na terenie południowo – wschodniej części kraju. Ofertę biznesową kieruje zarówno do sektora publicznego, jak i prywatnego. Ze względu na wysoką, jakość świadczonych usług badaną firmę cechuje ugruntowana pozycja na rynku. O tym, że przedsiębiorstwo stale się rozwija świadczy między innymi fakt, iż we wszystkich latach swojej działalności uzyskiwało ono dodatni wynik finansowy.

2. Analiza wskaźnikowasprawozdań finansowych przedsiębiorstwa X

Analiza wskaźnikowa jest rozwinięciem wstępnej analizy sprawozdań finansowych jednostki. Odpowiedni dobór obliczanych wskaźników podczas prowadzenia analizy finansowej pomaga zarządzającym firmą, uzyskać cenne informacje na temat kondycji finansowej przedsiębiorstwa oraz kierunków i źródeł jej zmian.

Wyliczeniazaprezentowane w tabeli 1 pozwalają na poznanie poziomu oraz dynamiki zmian wskaźników bieżącej płynności w przedsiębiorstwie X, wokresie od roku 2013 do 2015.

Tabela 1. Wykaz wartości potrzebnych do obliczenia wskaźnika bieżącej płynności finansowej oraz obliczone wskaźniki dla przedsiębiorstwa X w latach 2013-2015 (opracowanie własne)

Wyszczególnienie	**Wartość**			**Dynamika zmian**	
				Δ %	
Rok	**2013**	**2014**	**2015**	**2014/2013**	**2015/2014**
Aktywa obrotowe	96 109 273,38 zł	122 952 047,67 zł	108 626 949,52 zł	28%	-12%
Zobowiązania bieżące	66 288 162,46 zł	86 528 720,80 zł	57 760 176,96 zł	31%	-33%
Wskaźnik bieżącej płynności	**1,45**	**1,42**	**1,88**	**-2%**	**32%**

Wskaźnik bieżącej płynności obliczany jest jako stosunek aktywów obrotowych przedsiębiorstwa do jego zobowiązań bieżących (Brigham i in. 2015). Wartość wskaźnika utrzymuje się na rekomendowanym przez literaturę przedmiotu poziomie(Sierpińska i in. 2012). Nie występują problemy związane ze spłatą zobowiązań krótkoterminowych. W 2015 r. nastąpiła pozytywna tendencja wzrostowa poziomu analizowanego wskaźnika, co świadczy o znacznej poprawie płynności finansowej.

Kolejnym wskaźnikiem z grupy statycznych wskaźników płynności finansowej jest wskaźnik szybkiej płynności finansowej. Kategorie zaprezentowane w tabeli 2 pozwalają na określenie zarówno poziomu, jak i dynamiki zmian wskaźników szybkiej płynności charakterystycznych dlaprzedsiębiorstwa X w latach 2013-2015.

Wskaźnik szybkiej płynności obliczany jest jako stosunek aktywów obrotowych pomniejszonych o zapasy i krótkoterminowe rozliczenia międzyokresowe czynne do zobowiązań krótkoterminowych (Pomykalska i in. 2007). Wskaźnik ten uwzględnia płynny

majątek firmy. Optymalna wartość wskaźnika powinna wynosić 1 (Sierpińska i in. 2012). Poziom wskaźnika w 2013 r. wynoszący 0,9 oznaczał(niewielkie, ale jednak występujące) zaangażowanie środków firmy w zapasy, które trudno zbyć. Warto zauważyć, iż sytuacja uległa istotnej zmianie w roku 2015. W badanym roku wysoki poziom wskaźnika szybkiej płynności finansowej (1,82) mógł świadczyć o tym, iż środki obrotowe zapewniały jednostce spłatę krótkoterminowych zobowiązań.

Tabela 2. Wykaz kategorii oraz wartości niezbędnych do obliczenia wskaźników szybkiej płynności finansowej (oraz dynamiki zmian) w latach 2013-2015, w badanym przedsiębiorstwie (opracowanie własne)

Wyszczególnienie	**Wartość**			**Dynamika zmian**	
				Δ %	
Rok	**2013**	**2014**	**2015**	**2014/2013**	**2015/2014**
Aktywa obrotowe	96 109 273,38 zł	122 952 047,67 zł	108 626 949,52 zł	28%	-12%
Zapasy	2 054 760,07 zł	11 569 772,59 zł	572 411,44 zł	463%	-95%
Krótkoterminowe rozliczenia międzyokresowe czynne	34 521 412,01 zł	20 339 345,98 zł	3 037 151,37 zł	-41%	-85%
Zobowiązania krótkoterminowe	66 288 162,46 zł	86 528 720,80 zł	57 760 176,96 zł	31%	-33%
Wskaźnik szybkiej płynności	**0,90**	**1,05**	**1,82**	**17%**	**73%**

Na potrzeby niniejszego opracowania dokonano także analizy dynamiki zmian wskaźnika gotówkowego w latach 2013-2015 (tab. 3).

Tabela 3. Wykaz kategorii oraz wartości koniecznych do obliczenia poziomu wskaźnika gotówkowego oraz określenia dynamiki zmian wskaźników gotówkowych dla przedsiębiorstwa X w latach 2013-2015 (opracowanie własne)

Wyszczególnienie	**Wartość**			**Dynamika zmian**	
				Δ %	
Rok	**2013**	**2014**	**2015**	**2014/2013**	**2015/2014**
Środki pieniężne	32 415 198,60 zł	56 325 199,80 zł	80 146 878,91 zł	74%	42%
Zobowiązania bieżące	66 288 162,46 zł	86 528 720,80 zł	57 760 176,96 zł	31%	-33%
Wskaźnik gotówkowy	**0,49**	**0,65**	**1,39**	**33%**	**113%**

Wskaźnik gotówkowy obliczany jest jako stosunek środków pieniężnych do zobowiązań bieżących (Grycuk i in. 2014). Uwzględnia on najbardziej płynne składniki majątku jednostki, a mianowicie środki pieniężne w kasie i na rachunkach bankowych, które gwarantują natychmiastową spłatę zobowiązań bieżących. Wymagany poziom wskaźnika to 0,2 (Grycuk i in. 2014). W latach 2013-2015 badane przedsiębiorstwo cechowało sięwysokimi wartościami wskaźników gotówkowych.Interesujące jest także to, że przedsiębiorstwo X posiadało środki pieniężne na spłatę zobowiązań bieżących postawionych w stanie nagłej wymagalności zapłaty.Należy pamiętać, iż zbyt wysoka wartość w tym

przypadku nie jest pożądana, ponieważ tylko zasoby pieniężne, które są zaangażowane w procesy gospodarcze przynoszą zyski.

Konkludując: analiza statycznych wskaźników płynności finansowej przedsiębiorstwa X w latach 2013-2015 wskazała na dobrą sytuację finansową badanej jednostki w analizowanym okresie.

Kolejną grupą wskaźników wchodzącą w skład wskaźnikowej analizy sprawozdań finansowych jest grupa wskaźników zadłużenia. W tab. nr 4 zaprezentowano wyniki odnoszące się do wskaźnika ogólnego zadłużenia.

Tabela 4. Wykaz kategorii oraz wartości niezbędnych do obliczenia wskaźników ogólnego zadłużenia oraz dynamiki ich zmian dla przedsiębiorstwa X w latach 2013-2015 (opracowanie własne)

Wyszczególnienie	**Wartość**			**Dynamika zmian**	
				Δ %	
Rok	**2013**	**2014**	**2015**	**2014/2013**	**2015/2014**
Zobowiązania ogółem	70 132 407,04 zł	90 205 687,85 zł	64 875 328,85 zł	29%	-28%
Aktywa ogółem	114 856 144,85 zł	143 168 613,79 zł	129 309 264,70 zł	25%	-10%
Wskaźnik ogólnego zadłużenia	**0,61**	**0,63**	**0,50**	**3%**	**-20%**

Wskaźnik ogólnego zadłużenia obliczany jest jako stosunek zobowiązań ogółem do aktywów ogółem (Motylska – Kuźma i in. 2013). Poziom wskaźnika w badanym okresie utrzymywał się na satysfakcjonującym poziomie (Kotowska i in. 2013). Zobowiązania ogółem w 2013 r. stanowiły 61% całości aktywów, w 2014r.-63%, a w 2015r. 50 %. Optymalny poziom wskaźnika ogólnego zadłużenia udało się osiągnąć w roku 2015. Badana jednostka posiadała zdolność do spłaty zobowiązań.

Wskaźnik zadłużenia kapitałów własnych obliczany jest jako stosunek zobowiązań i rezerw na zobowiązania do kapitału własnego (Kotowska i in. 2013).

Tabela 5. Wykaz kategorii oraz wartości niezbędnych do obliczenia wskaźników zadłużenia kapitałów własnych wraz określenia dynamiki zmian tych wskaźników w latach 2013-2015, w badanym przedsiębiorstwie (opracowanie własne)

Wyszczególnienie	**Wartość**			**Dynamika zmian**	
				Δ %	
Rok	**2013**	**2014**	**2015**	**2014/2013**	**2015/2014**
Zobowiązania i rezerwy na zobowiązania	70 132 407,04 zł	90 205 687,85 zł	64 875 328,85 zł	29%	-28%
Kapitał własny	44 723 737,81 zł	52 962 925,94 zł	64 433 935,85 zł	18%	22%
Wskaźnik zadłużenia kapitałów własnych	**1,57**	**1,70**	**1,01**	**9%**	**-41%**

W latach 2013-2015 wskaźnik utrzymywał się na poziomie określanym w literaturze przedmiotu jako właściwy (Kotowska i in. 2013). W 2015 r. zobowiązania były tylko nieznacznie większe od kapitałów własnych (tab. 5).

Wskaźnik pokrycia aktywów kapitałami własnymi to następny wskaźnik z grupy wskaźników polecanych w kontekście obliczenia poziomu zadłużenia przedsiębiorstwa (tab. 6).

Tabela 6. Wykaz kategorii oraz wartości niezbędnych do obliczenia wskaźników pokrycia aktywów kapitałami własnymi oraz dynamika zmian w/w wskaźnikóww latach 2013-2015 w przedsiębiorstwie X (opracowanie własne)

Wyszczególnienie	**Wartość**			**Dynamika zmian**	
				Δ %	
Rok	**2013**	**2014**	**2015**	**2014/2013**	**2015/2014**
Kapitał własny	44 723 737,81 zł	52 962 925,94 zł	64 433 935,85 zł	18%	22%
Aktywa ogółem	114 856 144,85 zł	143 168 613,79 zł	129 309 264,70 zł	25%	-10%
Wskaźnik pokrycia aktywów kapitałami własnymi	**0,39**	**0,37**	**0,50**	**-5%**	**35%**

Wskaźnik pokrycia aktywów kapitałami własnymi obliczany jest jako stosunek kapitału własnego do aktywów ogółem (Kotowska i in. 2013). Wskaźnik w 2015r. w stosunku do roku ubiegłego zwiększył się o 13%, co potwierdza, iż sytuacja jednostki polepszyła się (Kotowska i in. 2013).Wskaźnik pokrycia aktywów kapitałami własnymi łącznie ze wskaźnikiem ogólnego zadłużenia powinien być równy 1 (Kotowska i in. 2013). Stosując tę regułę uzyskano wymaganą jedność.

Obliczono kolejny wskaźnik tym razem odnoszący się do długoterminowego zadłużenia kapitałów własnych (tab. 7).

Tabela 7. Wykaz wartości koniecznych do obliczenia wskaźników długoterminowego zadłużenia kapitałów własnych w latach 2013-2015 wraz z dynamiką zmian (w w/w obszarze) dla przedsiębiorstwa X (opracowanie własne)

Wyszczególnienie	**Wartość**			**Dynamika zmian**	
				Δ %	
Rok	**2013**	**2014**	**2015**	**2014/2013**	**2015/2014**
Zobowiązania długoterminowe	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0%	0%
Kapitał własny	44 723 737,81 zł	52 962 925,94 zł	64 433 935,85 zł	18%	22%
Wskaźnik długoterminowego zadłużenia kapitałów własnych	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0%**	**0%**

Wskaźnik długoterminowego zadłużenia kapitałów własnych obliczany jest jako stosunek zobowiązań długoterminowych do kapitału własnego (Kotowska i in. 2013). Pozycja bilansowa przedstawiająca zobowiązania długoterminowe wypełniona została w latach 2013-2015 wartością 0zł. Oznacza to, że firma X nie zaciągała w analizowanym okresie zobowiązań długoterminowych.Innymi słowy: w przypadku badanego przedsiębiorstwa kapitał własny nie był finansowany ze środków pieniężnych z tytułu zaciągniętych kredytów,

pożyczek, czy też obligacji o terminie zapadalności dłuższym, niż 1 rok. Z jednej strony jest to zjawisko pozytywne, ponieważ jednostka nie musi martwić się o kwestię spłaty długu, z drugiej zaś badany podmiot nie wykorzystuje możliwości zwiększenia swojej efektywności funkcjonowania, poprzez pozyskanie i zaangażowanie funduszy obcychw działalność jednostki gospodarczej.

Dane zawarte w tabeli 8odnoszą się do niezbędnych kategorii oraz wartości koniecznych do obliczenia dynamiki zmian wskaźników pokrycia zobowiązań odsetkowych w przedsiębiorstwie X w latach 2013-2015.

Tabela 8. Wykaz kategorii oraz wartości koniczncych do obliczenia wskaźnika pokrycia zobowiązań odsetkowych w latach 2013-2015(opracowanie własne)

Wyszczególnienie	**Wartość**			**Dynamika zmian**	
				Δ %	
Rok	**2013**	**2014**	**2015**	**2014/2013**	**2015/2014**
Wynik brutto	5 817 914,12 zł	15 929 875,25 zł	17 854 791,91 zł	174%	12%
Odsetki	1 853 263,37 zł	221 536,72 zł	106 597,77 zł	-88%	-52%
Wskaźnik pokrycia zobowiązań odsetkowych	**4,14**	**72,91**	**168,50**	**1661%**	**131%**

Wskaźnik pokrycia zobowiązań odsetkowych obliczany jest jako stosunek sumy wyniku brutto i odsetek do odsetek (Kotowska i in. 2013). W przedsiębiorstwie X w 2013r. wskaźnik ten plasował się na bardzo niskim poziomie. Oznaczało to, że istniała bardzo mała zdolność firmy do regulowania zobowiązań odsetkowych. Jednak sytuacja ta się zdecydowanie poprawiła, co wyraźnie widać podczas analizy dynamiki zmian wskaźnika pokrycia zobowiązań odsetkowych w latach 2013-2015.

Wskaźniki zadłużenia badanego przedsiębiorstwa w latach 2013-2015 kształtują się na odpowiednim, rekomendowanym w literaturze przedmiotu poziomie.

W kontekście właściwego funkcjonowania jednostki gospodarczej niezwykle istotna jest kwestia rentowności. Autorzy licznych publikacji naukowych wskazują, iż wszystkie wskaźniki rentowności powinny przyjmować jak najwyższy poziom wartości. Dokonano niezbędnych ustaleń celem obliczenia wskaźnika rentowności sprzedaży brutto dla badanego podmiotu (tab. 9).

Wskaźnik rentowności sprzedaży brutto obliczany jest jako procentowy stosunek zysku brutto do przychodów ze sprzedaży (Krawczyk 2014). Marża zysku obrazuje „ile zysku lub straty" brutto przynosi 1 zł osiągniętych przychodów ze sprzedaży. W 2013r. 3,85% każdej uzyskanej z przychodu złotówki przedsiębiorstwo X może przeznaczyć na dalszą działalność. W 2014r. jest to 4,49%, a w 2015r. 5,75%. Sytuacja jest więc pozytywna.

Tabela 9. Wykaz kategorii oraz wartości niezbędnych do obliczenia wskaźników rentowności sprzedaży brutto oraz do określenia dynamiki zmian w/w wskaźników w latach 2013-2015charakterystycznych dla funkcjonowania przedsiębiorstwa X (opracowanie własne)

Wyszczególnienie	**Wartość**			**Dynamika zmian**	
				Δ %	
Rok	**2013**	**2014**	**2015**	**2014/2013**	**2015/2014**
Zysk brutto	5 817 914,12 zł	15 929 875,25 zł	17 854 791,91 zł	174%	12%
Przychody ze sprzedaży	151 195 801,69 zł	354 846 918,20 zł	310 670 493,39 zł	135%	-12%
Wskaźnik rentowności brutto sprzedaży	**3,85**	**4,49**	**5,75**	**17%**	**28%**

Następnym wskaźnikiem pozwalającym określić rentowność sprzedaży, z uwzględnieniem zysku netto sprzedaży, jest wskaźnik rentowności sprzedaży netto ROS (tab. 10).

Tabela 10. Wykaz kategorii oraz wartości potrzebnych do obliczenia wskaźników rentowności sprzedaży netto ROS oraz do określenia dynamiki zmian w/w wskaźników dla przedsiębiorstwa X w latach 2013-2015 (opracowanie własne)

Wyszczególnienie	**Wartość**			**Dynamika zmian**	
				Δ %	
Rok	**2013**	**2014**	**2015**	**2014/2013**	**2015/2014**
Zysk netto	4 676 673,12 zł	12 763 861,25 zł	14 471 009,91 zł	173%	13%
Przychody ze sprzedaży	151 195 801,69 zł	354 846 918,20 zł	310 670 493,39 zł	135%	-12%
Wskaźnik rentowności netto sprzedaży ROS	**3,09**	**3,60**	**4,66**	**16%**	**29%**

Wskaźnik rentowności sprzedaży netto obliczany jest jako procentowy stosunek zysku netto do przychodów ze sprzedaży (Krawczyk 2014). W badanym przedsiębiorstwie wskaźnik ROS kształtował się na podobnym poziomie w 2013r. i 2014r. W roku 2015 zwiększyła się efektywność finansowa. Nastąpiło to poprzez sprawniejszą politykę zakupową, zwiększenie efektywności sprzedaży oraz odpowiednią strukturę oferty zakupowej.

Kolejnym wskaźnik, który obliczono jest wskaźnik rentowności majątku ROA. Dane zawarte w tabeli 11 przedstawiają niezbędne wartości do obliczenia wskaźnika ROA oraz wartość obliczonego wskaźnika dla badanego podmiotu w latach 2013-2015.

Wskaźnik rentowności majątku ROA obliczany jest, jako procentowy stosunek zysku netto do aktywów ogółem (Krawczyk 2014). Wartość wskaźnika ROA w ciągu analizowanych lat ulegała sukcesywnej poprawie, co było głównie spowodowane wzrostem zysku netto. W 2015r. aktywa zaangażowane w przedsiębiorstwie X przynosiły efekty w postaci zysku netto. Można uznać, iż badana jednostka efektywnie wykorzystywała składniki swojego majątku w procesach gospodarczych.

Tabela 11. Wskaźniki rentowności majątku ROA obliczone dla przedsiębiorstwa X w latach 2013-2015 (opracowanie własne)

Wyszczególnienie	**Wartość**			**Dynamika zmian**	
				Δ %	
Rok	**2013**	**2014**	**2015**	**2014/2013**	**2015/2014**
Zysk netto	4 676 673,12 zł	12 763 861,25 zł	14 471 009,91 zł	173%	13%
Aktywa ogółem	114 856 144,85 zł	143 168 613,79 zł	129 309 264,70 zł	25%	-10%
Wskaźnik rentowności majątku ROA	**4,07**	**8,92**	**11,19**	**119%**	**26%**

Ostatnim analizowanym w niniejszej pracy wskaźnikiem rentowności jest wskaźnik rentowności kapitału własnego. Jest on szczególnie istotny dla właścicieli przedsiębiorstwa. Informuje, bowiem jaką stopę zysku przynosi zarządzającym kapitałem inwestycja w określoną jednostkę gospodarczą (tab. 12).

Tabela 12. Wykaz kategorii oraz wartości niezbędnych do obliczenia wskaźników akcji zwykłych ROE dla przedsiębiorstwa X w latach 2013-2015 (opracowanie własne)

Wyszczególnienie	**Wartość**			**Dynamika zmian**	
				Δ %	
Rok	**2013**	**2014**	**2015**	**2014/2013**	**2015/2014**
Zysk netto	4 676 673,12 zł	12 763 861,25 zł	14 471 009,91 zł	173%	13%
Akcje zwykłe (kapitał własny)	44 723 737,81 zł	52 962 925,94 zł	64 433 935,85 zł	18%	22%
Wskaźnik akcji zwykłych ROE	**10,46**	**24,10**	**22,46**	**130%**	**-7%**

Wskaźnik rentowności akcji zwykłych ROE obliczany jest jako procentowy stosunek zysku netto do kapitału własnego (Brigham i in. 2015). Kapitał zaangażowany w przedsiębiorstwie X przez właścicieli w roku 2014przyniósł największy zysk (w wysokości 24,10% w skali roku). W 2013r. przedsiębiorstwo X uzyskało ok. 10 groszy zysku netto z 1 zł zaangażowanego przez dysponentów kapitału własnego w działalność badanego podmiotu.

Wskaźniki rentowności podczas analizowanych lat 2013-2015 wykazywały tendencję wzrostową, co świadczyć może o polepszającej się sytuacji finansowej firmy X.

3. Wnioski

Z przeprowadzonej analizy finansowej przedsiębiorstwa w latach 2013-2015 wynika, iż jednostka gospodarcza wykazuje satysfakcjonujący poziom ocenianych wskaźników w kontekście oceny jej sytuacji finansowej. W tabeli nr13 zaprezentowano zbiorcze zestawienie (uzyskanych w niniejszym opracowaniu) wyników przeprowadzonej analizy.

Analizując dane zawarte w tabeli 13 można wnioskować, iż firma X posiada dobrą płynność finansową. Podmiot nie ma problemów ze spłatą zobowiązań, zaś wskaźniki rentowności wykazują tendencję wzrostową. Pozytywnym zjawiskiem jest to, że zysk netto

rośnie wraz ze wzrostem płynności finansowej. Analizując sprawozdania finansowe badanej jednostki gospodarczej można stwierdzić, że wynik finansowy przedsiębiorstwa jest zadowalający. Można, więc pomyśleć o wypłaceniu dywidendy.

Tabela 13. Zestawienie wybranych wskaźników z zakresu analizy finansowej dla przedsiębiorstwa Xw latach 2013-2015 (opracowanie własne)

Wskaźnik	Wynik			Wielkość wzorcowa wskaźnika
	2013	2014	2015	
Wskaźnik bieżącej płynności	1,45	1,42	1,88	1,2-2,0
Wskaźnik szybkiej płynności	0,9	1,05	1,82	1,0
Wskaźnik gotówkowy	0,49	0,65	1,39	0,2
Wskaźnik ogólnego zadłużenia	0,61	0,63	0,5	0,57-0,67
Wskaźnik zadłużenia kapitałów własnych	1,57	1,7	1,01	1,33-2,03
Wskaźnik pokrycia aktywów kapitałami własnymi	0,39	0,37	0,5	0,33-0,43
Wskaźnik długoterminowego zadłużenia kapitałów własnych	0	0	0	0,5-1,0
Wskaźnik pokrycia zobowiązań odsetkowych	4,14	72,91	168,5	
Wskaźnik rentowności brutto sprzedaży	3,85	4,49	5,75	
Wskaźnik rentowności netto sprzedaży ROS	3,09	3,6	4,66	
Wskaźnik rentowności majątku ROA	4,07	8,92	11,19	
Wskaźnik akcji zwykłych ROE	10,46	24,1	22,46	

4. Literatura

Brigham E., Houston J., 2015, Zarządzanie finansami, PWN: 115, 128.

Charles W.L.H., Jennifer M.G., Gareth R.J., 2000, Contemporay Management, McGraw-Hill Higher Education: 8.

Gabrusewicz W., Remlein M., 2011, Sprawozdanie finansowe przedsiębiorstwa. Jednostkowe i skonsolidowane, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne.

Gołębiowski G. (red.), Grycuk A., Tłaczała A., Wiśniewski P., 2014, Analiza finansowa przedsiębiorstwa, Difin: 172.

Grzenkowicz N., Kowalczyk J., Kusak A., Podgórski Z., 2007, Analiza ekonomiczna przedsiębiorstwa, Wydawnictwo Naukowe Wydziału Zarządzania.

Jachna T., Sierpińska M., 2012, Ocena przedsiębiorstwa według standardów światowych, Wydawnictwo Naukowe PWN: 11, 147.

Kotowska B., Uziębło A., Wyszkowska-Kaniewska O., 2013, Analiza finansowa w przedsiębiorstwie. Przykłady, zadania, rozwiązania, CeDeWu: 102–104.

Krawczyk T., 2014, Analiza i zarządzanie ryzykiem w finansach korporacyjnych z zastosowaniem arkusza kalkulacyjnego Excel, CeDeWu: 47, 50.

Motylska-Kuźma A., Wieprow J., 2013, Decyzje finansowe w przedsiębiorstwie. Problemy i zadania, Difin: 45.
Pomykalska B., Pomykalski P., 2007, Analiza finansowa przedsiębiorstwa, Wydawnictwo Naukowe PWN: 71.

Synteza magnetycznych nanocząstek tlenków żelaza wykorzystywanych w systemach uwalniania leków. Krótki przegląd literatury

Angelika Duszyńska [(1)]

[1] Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka, ul. Wróblewskiego 15, 93-590 Łódź
Angelika Duszyńska: aduszynska@mitr.p.lodz.pl

Streszczenie
Kontrolowane systemy dostarczania leków mają kilka zalet w porównaniu do tradycyjnych form leków. Lek jest transportowany do miejsca działania, stąd jego wpływ na tkanki życiowe i niepożądane skutki uboczne można zminimalizować. Wzrasta akumulacja związków leczniczych w miejscu docelowym, a co za tym idzie wymagane dawki leków są niższe. Ta nowoczesna forma terapii jest szczególnie ważna w przypadku rozbieżności między dawką lub stężeniem leku a jego wynikami terapeutycznymi lub działaniami toksycznymi. Celowanie specyficzne dla komórek można osiągnąć poprzez przyłączenie leków do specjalnie zaprojektowanych nośników. Różne metody syntezy, oraz różne typy nanostruktur, zostały przetestowane do wytworzenia nowoczesnych systemów dostarczania leków. W przeglądzie analizowane są rodzaje syntezy nanocząstek magnetycznych wykorzystywanych w nowoczesnych systemach uwalniania leków.

Słowa kluczowe: magnetyczne nanocząstki żelaza; systemy uwalniania leków; nanocząstki

Synthesis of magnetic iron oxide nanoparticles used in drug delivery systems. Short review

Summary
Controlled drug delivery systems have several advantages over traditional drug forms. The drug is transported to the site of action, hence its impact on life tissues and unwanted side effects can be minimized. The accumulation of medicinal compounds at the target site increases, and consequently the required doses of drugs are lower. This modern form of therapy is particularly important in the case of discrepancy between the dose or concentration of the drug and its therapeutic or toxic effects. Cell-specific targeting can be achieved by attaching drugs to specially designed media. Different synthesis methods, and various types of nanostructures, have been tested to create modern drug delivery systems. The review analyzes the types of synthesis of magnetic nanoparticles used in modern drug release systems.

Key words: magnetic iron nanoparticles; drug delivery systems; nanoparticles

1.Wstęp

Nanotechnologia jest jedną z najszybciej rozwijających się nauk. Wykorzystuje ona cząstki o rozmiarach nanometrowych(10^{-9} m), wykazujące właściwości fizyczne, chemiczne i biologiczne, niewystępujące w skali makroskopowej. Skutkiem zmniejszenia rozmiarów są m.in. zaburzenia funkcji falowej elektronów, zmieniające całkowitą energię układu odpowiadającą za stabilność termodynamiczną (Kessal i in. 2008). Magnetyczne nanocząstkitlenku żelaza (MNFe) są obiektem zainteresowania wielu grup badawczych (Laurent i in. 2008, Pankhurst i in. 2003, Oh i Park 2011, Reddy i in. 2012).

MNFe z odpowiednio zmodyfikowaną powierzchnią, można stosować, jako wzmocnienie kontrastu MRI, testy immunologiczne, w hipertermii, dostarczaniu leków i separacji komórek. Zastosowania te wymagają, aby miały one wysokie wartości namagnesowania, rozmiary mniejsze niż 100 nm i wąski rozkład wielkości cząstekoraz

powłoki, która musi być nietoksyczna i biokompatybilna oraz umożliwiać dokładne dostarczanie leku z lokalizacją cząstek w określonym obszarze. Do utworzenia powłok na MNFestosuje się polimery, surfaktanty, liposomy, monomery oraz materiały nieorganiczne. Takie MNFemogą wiązać się z lekami, białkami, enzymami, przeciwciałami lub nukleotydami i mogą być kierowane do narządu, tkanki lub nowotworu za pomocą zewnętrznego pola magnetycznego (Laurent i in, 2008).

Dostarczenie leku do docelowego miejsca stanowi poważny problem w terapii wielu chorób. Konwencjonalne leki mają ograniczoną skuteczność, słabą biodystrybucję i są nieselektywne(Wilczewska i in.2012). Te ograniczenia można przezwyciężyć stosując systemy kontrolowanego dostarczania leku, w których lek jest transportowany bezpośrednio do miejsca działania, minimalizując skutki uboczne. Ponadto, systemy dostarczania leku chroniąsubstancje czynne przed szybką degradacją lub wydaleniem z organizmu i pozwalają na zwiększenie stężenia leku w docelowych tkankach. Jest to szczególnie ważne, gdy istnieje rozbieżność pomiędzy dawką lub stężeniem leku a jego wynikami terapeutycznymi lub efektami toksycznymi.

Potencjał systemów dostarczania leków wykorzystujących MNFe wynika ze znaczących korzyści, takich jak: (i) zdolność do transportu do określonego miejsca w ciele; (ii) zmniejszenie ilości leku potrzebnej do osiągnięcia określonego stężenia w pobliżu celu; i (iii) zmniejszenie stężenia leku w miejscach zdrowych, otaczających chore tkanki, minimalizując poważne skutki uboczne (Arruebo i in. 2007).

Jedną z najnowszych tendencji jest dostosowywanie klasycznych produktów o kontrolowanych właściwościach do specjalnych zastosowań. Szczególną uwagę przyciągają metody pozwalające na syntezę cząsteczek o kontrolowanym kształcie i rozmiarze. Metody syntezy MNFedo zastosowań biomedycznych można podzielić na (i) wytwarzanie nanocząstek z roztworu, aerozolu lub fazy gazowej oraz (ii) otrzymywanie kompozytów zawierających nanocząstki magnetyczne rozproszone w organicznej lub nieorganicznej matrycy, zazwyczaj o sferycznym kształcie.

Celem artykułu jest przegląd literatury w zakresie metod syntezy MNFe wykorzystywanych w systemach uwalniania leków.

2. Synteza z roztworu

Metoda syntezy z roztworu pozwala przygotowaćMNFeo ściśle określonym rozmiarze i kształcie na prostej drodze. Jednorodne nanocząstki są przygotowywane w reakcji strąceniowej, co pozwala na separację i wzrost zarodków. W homogenicznym osadzie pojedyncze rozerwanie zarodków zachodzi, kiedy stężenie składowych indywiduów osiągnie

przesycenie. Otrzymane w ten sposób zarodki mogą jednolicie rosnąć w wyniku dyfuzji substancji rozpuszczonych od roztworu do powierzchni, aż do momentu uzyskania końcowego rozmiaru. Aby osiągnąć monodyspersję obie fazy muszą być odseparowane oraz należy unikać przerw w zarodkowaniu (LaMeriDinegar 1950).

Jednorodne cząsteczki są też otrzymywane poprzez enukleację wielocząsteczkową, w której formowanie produktu jest osiągane przez samorzutny proces wzrostu (Den Oudeni Thompson 1991). Dodatkowo, jednorodne cząstki są częściej otrzymywane, jako wynik agregacji małych subcząstek, niż w wyniku ciągłego wzrostu poprzez dyfuzję (Ocanai in. 1995, Morales i in. 1992, Sugimoto i Matijevic 1980). Sztuczne oddzielenie zarodkowania i wzrostu można osiągnąć przez wysiew, w którym obce cząstki są wprowadzane do roztworu monomeru poniżej krytycznego punktu przesycenia.

- Współstrącanie jonów Fe(II) i Fe(III) w roztworach wodnych

Istnieją dwie główne drogi prowadzenia syntezy w roztworze sferycznych MNFe. W pierwszej zawiesina wodorotlenku żelaza(II) jest częściowo utleniana różnymi środkami utleniającymi. Przykładem tej drogi jest otrzymywanie MNFeo rozmiarach 30 – 100 nm z soli żelaza (II) w obecności średniej mocy utleniacza – np. jonów azotanowych (Sugimoto i Matijevic, 1980).

Bardzo popularną metodą współstrącania, jest synteza MNFe z soli żelaza (II) i (III), w stosunku molowym 2:1. Przygotowuje się je przez rozpuszczenie$FeCl_2 \cdot 4H_2O$ i $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ w wodzie, w atmosferze azotu. Następnie dodajesię amoniak, a roztwór miesza przez około 30 minut. Kolor otrzymanej zawiesiny zmienia się na czarny, bezpośrednio po dodaniu odczynnika strącającego. Osad jest zbierany, przemywany wodą i oddzielany magnetycznie (Dilnawaz i in. 2010, Gnanaprakash i in. 2007, Gupta i Curtis 2004, Li i in. 2012, Limban i in. 2014, Sahoo i in. 2005, Shen i in. 2012, Soared i in. 2014, Song i in. 2014, Zeng i in. 2014, Zhu i in. 2013). Autorzy sugerują poniższą reakcję:

$$8OH^- + Fe^{2+} + 2Fe^{3+} \rightarrow Fe_3O_4\downarrow + 4H_2O \text{ (Gupta i Gupta, 2005)}$$

Całkowite strącenie Fe_3O_4 zachodzi przy pH pomiędzy 9 a 14 oraz stosunku molowym Fe^{3+}:Fe^{2+} równym 2:1, w środowisku beztlenowym. Otrzymane MNFe są sferyczne i mają rozmiary około 12 nm. Sahoo i in, 2005 otrzymali nanocząstki o rozmiarach od 4 do 20 nm, przy populacji dominującej o rozmiarze 10 – 12 nm.Soared i in, 2014 syntezowali sferyczne MNFe o średnim rozmiarze około 9 – 10 nm.

Inne metody bazują na starzeniu stechiometrycznym wodorotlenków żelaza (II) i (III) w wodzie, otrzymując sferyczne MNFeo jednorodnym rozmiarze (MassartiCabuil, 1987). Wykazano, że dostosowując pH i siłę jonową mediów, możliwa jest kontrola średniego

rozmiaru cząstek do zakresu jednego rzędu wielkości (2 – 15 nm). Rozmiar cząstek maleje wraz ze wzrostem pH i siły jonowej (Jolivet,2000). Oba parametry wpływają na skład chemiczny powierzchni ijej ładunek elektrostatyczny. W tych warunkach MNFepowstają poprzez agregację pojedynczych cząstek tworzących się w żelu $Fe(OH)_2$. Taka kierunkowa agregacja pozwala na wzrost sferycznych krystalicznych cząstek (Sugimoto i Matijevic, 1980). Jeszcze mniejsze cząstki można tworzyć poprzez dodanie do soli żelaza (III) poli(alkoholu winylowego) (PVA) (Lee i in, 1996).

Modyfikacje tej metody pozwalają na syntezę nanocząstek w obecności dekstranu i innych substancji powodujących, że MNFestają się biokompatybilne (MoldayiMackenze, 1982, Palmaccii Josephson, 1993). MNFesą otrzymywane poprzez transfer soli kwasowych żelaza(II)/(III) do węglanów żelaza(II)/(III) po dodaniu zasadowych węglanów w następstwie termicznego utleniania (Bergemann, 1996). Rozmiar cząstek można kontrolować poprzez szybkość reakcji termicznej oraz stężenie soli żelaza. Małe średnice rzędu 20 – 100 nm można otrzymać separując czasowo węglany żelaza (II,III) w temperaturze 5 – 10 °C i późniejgrzejąc je. Gdy nadmiar soli zostanie usunięty, nanocząstki można stabilizować rozpuszczalnymi w wodzie polisacharydami i syntetycznymi polimerami.

- Synteza magnetycznych nanocząstekw mikroemulsjach.

Mikroemulsje woda-w-oleju są przezroczystymi, izotropowymi, termodynamicznie stabilnymi ciekłymi mediami. Mikrokrople fazy wodnej są uwięzione wewnątrzmicel, zdyspergowanych wciągłej fazieolejowej. Stabilizowane surfaktantem mikropęcherzyki (o rozmiarze ok. 10 nm) zapewniają efekt ograniczający zarodkowanie, wzrost i aglomerację (Pileni, 1993).

Pilen ii in. 1997 wytworzyliza pomocąmikroemulsji MNFe o średnicach od 4 do 12 nm. Roztwór micelarny siarczanu dodecylu żelaza (II), użyto, dowytworzenia MNFe, których wielkość regulowano przez stężenie surfaktantu i temperaturę. MNFe o średnicy około 4 nm przygotowano przez kontrolowaną hydrolizę wodnych roztworów $FeCl_2$ i $FeCl_3$ wodorotlenkiem amonu w odwróconych micelach AOT w heptani e(Lopez-QuintelaiRivas 1993).

Carpenteriin, 2001 otrzymali MNF epowleczonecienką warstwą złota, chroniącą rdzeń przed utlenianiem i pozwalającą na stosowanie tego typu kompozytów w biomedycynie. Cząstki metalu utworzono wewnątrz miceli odwróconej (bromek cetylotrim etyloamoniowy, jako surfaktant, oktan, jako faza olejowa) przez redukcję soli metalu, z zastosowaniem borowodorkusodu. Sekwencyjna syntezajaką dają odwróconemicelejest wykorzystywana bynajpierw wytworzyć rdzeń przez redukcję siarczanu żelaza (II) borowodorkiem sodu.Gdy

reakcjazostaniedoprowadzona dokońca, micelew mieszaniniereakcyjnejsą rozszerzane, aby pomieścić powłokę tworzonąza pomocąwodnegoroztworutetrachlorozłocianuwodoru.

- Synteza magnetycznych nanocząstekw roztworach polioli

Proces z wykorzystaniempolioli (Fievet i in. 1989), będący techniką typu zol - żel, umożliwia syntezę nanocząsteczek i mikrocząstek o dobrze określonych kształtach i kontrolowanych rozmiarach (Bianco i in. 1994, Ammar i in. 2001, Wu i in. 2000). Poliole (np. glikol polietylenowy oraz polipropylenowy) dzięki swoim dielektrycznym właściwościom działają jako rozpuszczalniki zdolne do rozpuszczania związków nieorganicznych, a ich stosunkowo wysokie temperatury wrzenia oferują szeroki zakres temperatur roboczych (od 25° C do temperatury wrzenia) do wytwarzania związków nieorganicznych (Jezequel i in. 1995). Polioleto również środki redukujące, a także stabilizatory do kontrolowania wzrostu cząstek i zapobiegania agregacji międzycząsteczkowej.

MNFeo rozmiarze około 100 nm można uzyskać przez dysproporcjonowanie wodorotlenku żelaza w mediach organicznych (Fieveti in. 1989). Chlorek Fe(II) i NaOH poddaje się reakcji z glikolemetylenowym (EG) lub poli (glikolemetylenowym) (PEG). Strącanieodbywa się wzakresie temperatur80 - 100˚C.Ponadto, stopy żelaza można uzyskać przez współstrącanie Fe, Ni i/lub Cow EGi PEG. Monodyspersyjne quasi sferyczne i rozseparowane MNFe o średniej wielkości około100 nm otrzymano bez zaszczepiania, natomiastcząstki o rozmiarach 50- 100 nm otrzymano przy użyciu Pt jako czynnika zarodkowania. Cząstki FeCo utworzono z aglomeratów Fe i pierwotnych cząstek Co wytwarzanych w różnych okresach czasu, akulistecząstki FeNi były jednorodne w wyniku jednoczesnego powstawania Feoraz Ni i wzrostu przez agregację cząstek pierwotnych (Viaui in. 1996b).

- Wysokotemperaturowy rozkładorganicznychprekursorów.

W procesie rozkładu prekursorów żelaza w obecności gorących organicznych surfaktanktów otrzymano MNFe o wąskim rozkładzie i dobrej kontroli wielkości. Alivisatosiin 1999 wykazali, że w strzykiwanie roztworów $FeCup_3$ (Cup: N-nitrosophenylhydroxylamine) w oktyloaminie do długołańcuchowych amin w 250-300˚C prowadzi do uzyskania krystalicznych i zdyspergowanych w rozpuszczalnikach organicznych nanokrysztaów MNFe o rozmiarach od 4 do 10 nm. Hyeon i in. 2001 przygotowali monodyspersyjne MNFe poprzez niehydrolityczne metody syntezy. W celu przygotowania MNFe o rozmiarze 13 nm, wstrzykiwano $Fe(CO)_5$ do roztworu zawierającego surfaktant i łagodny środek utleniający(tlenek trimetyloaminy).

Sheni Zeng 2002 przygotowali monodyspersyjne MNFe o rozmiarach od 3 do 20 nm, w temperaturze 265˚C podczas reakcji acetyloacetonianu żelaza (III) w eterze fenylowym w obecności alkoholu, kwasu oleinowego i oleiloaminy. W wyniku rozkładu termicznego prekursorów żelaza otrzymano MNFe o rozmiarach około 4 nm.

- Inne metody syntezy z roztworu

MNFeprzygotowano przy użyciudendrymerówjako matrycszablonowych (Strablei in. 2001). Karboksylowane poli (amidoaminą) dendrymery PAMAM użytodo syntezy i stabilizacji MNFe. Utlenianie żelaza (II) w podwyższonych wartościach pH i temperatury, prowadziło do powstania wysoce rozpuszczalnych nanokompozytów tlenków żelaza i dendrymerów, trwałych w szerokim zakresie temperatury i pH.

Syntezę w spomaganą sonochemicznie opisano jako odpowiedni sposóbbwytwarzaniab MNFeb (Caoi in. 1997*,* Shafii in. 2001, Shafii in. 2002). W sonochemii, kawitacja akustyczna, generuje przemijające miejscowe „hot spoty", o temperaturze 5000 K i żywotności rzędu nanosekund (Suslick 1990). Kawitacja jest procesem hartowania, a więc skład cząsteczki utworzonej jest identyczny jak skład pary w pęcherzyku, bez rozdzielenia faz.

3.Synteza z aerozoli/pary

Techniki pirolizy aerozolowej i laserowej są technikami bezpośredniej i ciągłej produkcji MNFe o dokładnie określonych parametrach, przy gruntownej kontroli warunków doświadczalnych.W pirolizie aerozolowej końcowe cząstki s ązazwyczaj łączone w większe cząstki, podczas gdy w pirolizie laserowejsą one mniej zagregowane ze względu na krótszy czasreakcji.

- Piroliza aerozoli.

Pirolizaareozolujestprocesem, w którymstały produkt jest otrzymywany przez rozpylanie roztworu w serii reaktorów, rozpuszczalnik ulega odparowaniu i substancje rozpuszczone są kondensowane w kropli, a przez suszenie i termolizę w wyższej temperaturze wytrącane są cząstki (Messingi in. 1993). Ta procedura powoduje powstanie mikroporowatych ciał stałych, które tworzą upakowane cząstki o przewidywalnym kształcie, rozmiarze i zmiennym składzie.

Uzyskane proszki składają się z kulistych cząstek, których średnica może być ustalona poprzez odpowiedni rozmiar pierwotnych kropel. Sposób ten jest prosty, szybki i ciągły, jest stosowany do wytwarzania materiałów o odpowiednich właściwościach, jak mezoporowate mikrosfery (Lu i in. 1999*)* i nanocząstki fosforyzujące (Xiai in. 2001). Większość metod opatych na pirolizie stosowane jest do wytworzenia MNFe zapoczątkowując je solami Fe^{3+}

i niektórymi związkami organicznymi, działającymi jako środek redukujący (Pecharromani in. 1995).

- Piroliza laserowa

Metoda pirolizy laserowej polega na ogrzewaniu przepływającej mieszaniny gazów ciągłą falą lasera z dwutlenkiem węgla, który inicjuje i podtrzymuje reakcje chemiczne. Powyżej pewnego ciśnienia i energii laserowej, osiąga się krytyczne stężenie zarodników, co prowadzi do nukleacji homogenicznej cząstek, któresą następnie transportowane do filtra, za pomocą gazu obojętnego. Główne zaletytej metody: mały rozmiar cząstek, wąski rozkład wielkości cząstek, prawie brak agregacji.

Czyste, dobrze krystalizujące i jednolite MNFe można uzyskać w jednym etapie metodą pirolizy laserowe jCO_2. Próbki cząstek o rozmiarze od 3,5 do 5 nm i bardzo wąskim rozkładzie wielkości zostały uzyskanew różnych warunkach doświadczalnych (Veintemillas-Verdagueri in. 1998,Veintemillas-Verdagueri in. 2001).W procesie małastrefa reakcjijest wyznaczona przez nakładanie się pionowego strumienia gazu biorącego udział w reakcjii poziomej wiązki lasera. Strefa reakcyjna jest bezpiecznie oddzielona od ścian komory. Taka konstrukcja zapewnia idealne warunki do zarodkowania małych cząstek, mniej zanieczyszczeń i węższy rozkład wielkości niż uzyskiwany konwencjonalnymi metodami termicznymi.

W celu otrzymania MNFe stosuje się nanocząstki $Fe(CO)_5$ (pięciokarbonylku żelaza). Ze względu na fakt, że ten prekursor nie absorbuje promieniowania o tej długości fal i lasera (10,60 ±0,05 μm) jako absorbent jak i nośnik do transportowania pary karbonylowej do strefy reakcyjnej stosuje się etylen. Etylen nie rozkłada się przy używanej gęstości energii (652 Wcm^{-2}), jedynie absorbuje promieniowanie laserowe ogrzewające pięciokarbonylek żelaza, który ulega rozkładowi do tlenku żelaza i węgla. W celu uzyskania MNFe, powietrze musi być wprowadzone do układu, a pary żelaza pięciokarbonylku powodują utlenianie pod promieniowaniem laserowym lub w mieszaninie zargonem (Tartaj i in. 2003).

4. Podsumowanie

W przeglądzie analizowano metody syntezy MNFe wykorzystywanych w nowoczesnych systemach uwalniania leków. Różne rodzaje monodyspersyjnych sferycznych nanokryształów o kontrolowanych wielkościach cząstek i kompozycjach zostały zsyntetyzowane za pomocą szerokiego zakresu procedur syntezy chemicznej: współstrącania, reakcji w ograniczonych środowiskach, termicznego rozkładu kompleksów metali - surfaktantów, procesów polioli, syntezom wtrysku, sonolizie oraz metod aerozolowych. Jednak kontrolowanasynteza wysokiej, jakości MNFe, prowadząca do otrzymania cząstek

magnetycznych o kontrolowalnej wielkości i dogłębnej znajomości syntetycznych mechanizmów zarodkowania i wzrostu podczas tworzenia cząstek, wciąż stanowi wyzwanie. Problemem związanym z MNFe jest ich wewnętrzna niestabilność w długim okresie czasu. Tak małe cząstki mają skłonność do aglomeracji w celu zmniejszenia energii związanej z wysokim stosunkiem powierzchni do objętości. Dlatego ważne jest opracowanie strategii powlekania, aby chemicznie poprawić stabilność MNFe. Natura powłoki musi być zoptymalizowana, aby uprościć proces i skutecznie zapobiegać jakiejkolwiek agregacji i sedymentacji nanocząstki w celu zapewnienia stabilnego roztworu do wstrzykiwania lub liofilizatu.

5. Literatura

Ammar S., Helfen A.,Jouini N.,Fievet F., Rosenman I., Villain F., Molinie P.,Danot M.,2001. Magnetic properties of ultrafine cobalt ferrite particles synthesized by hydrolysis in a polyol medium.Journal of Materials Chemistry 11: 186-192

Arruebo M., Fernández-Pacheco R., Ibarra M.R., Santamaría J.,2007. Magnetic nanoparticles for drug delivery. Nanotoday 2, 3: 22-32

Bergemann C., 1996.Magnetic particle for transport of diagnostic or therapeutic agent. German Patent DE 19624426A1

Bianco A.,Gusmano G.,Montanari R.,Montesperelli G.,Traversa E., 1994.Preparation of Ni-Co metal powders by co-reduction of Ni (II) and Co(II) hydroxides for magnetoresistive sensors.Materials Letter 19: 263-268

Boutonnet M, Kizling J.,Stenius P., 1982.The preparation of monodisperse colloidal metal particles from microemulsions. Journal ofColloids Surface A 5: 209-225

Cao X., Koltypin Y., Katabi G., Prozorov R., Felner I.,Gedanken A., 1997.Synthesis of pure amorphous Fe_2O_3.Journal of Materials Research 12: 402-406

Carpenter E. E., 2001.Iron nanoparticles as potential magnetic carriers.Journal of Magnetism and Magnetic Materials 225: 17-20

Den Ouden C.J.J., Thompson R.W., 1991.Analysis of the formation of monodisperse populations by homogeneous nucleation.Journal of Colloid and Interface Science 143: 77-84

Dilnawaz F., Singh A., Mohanty C., Sahoo S.K., 2010. Dual Drug Loaded Superparamagnetic Iron Oxide Nanoparticles for Targeted Cancer Therapy. Biomaterials 31, 13: 3694–3706

Feltin N.,Pileni M. P., 1997. New Technique for Synthesizing Iron Ferrite Magnetic Nanosized Particles. Langmuir 13: 3927-3933

Fievet F.,Lagier J. P., Blin B., Beaudoin B., Figlarz M., 1989.Homogeneous and heterogeneous nucleations in the polyol process for the preparation of micron and submicron size metal particles.Solid State Ionics 32/33: 198-205

Gnanaprakash G., Jayakumar J.P.T., Raj B., 2007. Effect of Digestion Time and Alkali Addition Rate on Physical Properties of Magnetite Nanoparticles. The Journal of Physical Chemistry B 111, 28: 7978–86

Gupta A. K., Curtis A.S.G., 2004. Lactoferrin and Ceruloplasmin Derivatized Superparamagnetic Iron Oxide Nanoparticles for Targeting Cell Surface Receptors. Biomaterials 25, 15: 3029–3040

Gupta A.K., Gupta M., 2005. Synthesis and Surface Engineering of Iron Oxide Nanoparticles for Biomedical Applications. Biomaterials 26, 18: 3995–4021

Hyeon T., Lee S. S., Park J., Chung Y., Na H. B., 2001. Synthesis of highly crystalline and monodisperse maghemitenanocrystallites without a size-selection process. Journal of the American Chemical Society 123:12798–12801

JezequelD.,Guenot J.,Jouini N.,Fievet F., 1995.Submicrometer zinc oxide particles: Elaboration in polyol medium and morphological characteristics.Journal of Materials Research 10: 77-83

Jolivet J.P., 2000, Metal Oxide Chemistry and Synthesis: From Solutions to Solid State, New York, Wiley

Kelsall R.W., Hamley I.W., Geoghegan M., 2008. Nanotechnologie, PWN, Warszawa

LaMer V.K., Dinegar R.H., 1950.Theory, Production and Mechanism of Formation of Monodispersed Hydrosols.Journal of the American Chemical Society 72:4847–4854

Laurent S., Forge D., Port M., Roch A., Robic C., Elst L.V., Muller R.N., 2008. Magnetic Iron Oxide Nanoparticles: Synthesis, Stabilization, Vectorization, Physicochemical Characterizations, and Biological Applications.Chemical Reviews 108: 2064–2110

Lee J., Isobe T., Senna M., 1996.Preparation of Ultrafine Fe_3O_4Particles by Precipitation in the Presence of PVA at High pH.Journal of Colloid and Interface Science 177: 490-494

Li Y.-S., Church J.S., Woodhead A.L., 2012. Infrared and Raman Spectroscopic Studies on Iron Oxide Magnetic Nano-Particles and Their Surface Modifications. Journal of Magnetism and Magnetic Materials 324, 8: 1543–50

Limban C., Missir A., Grumezescu A., Oprea A., Grumezescu V., Vasile B., Socol G., 2014. Bioevaluation of Novel Anti-Biofilm Coatings Based on PVP/Fe_3O_4 Nanostructures and 2-((4-Ethylphenoxy)Methyl)-N- (Arylcarbamothioyl)Benzamides. Molecules 19, 8: 12011–12030

Lopez-Quintela M.A., Rivas J., 1993.Chemical Reactions in Microemulsions: A Powerful Method to Obtain Ultrafine Particles.Journal of Colloid and Interface Science 158: 446-451

Lu Y., Fan H., Stump A., Ward T.L., Rhieker T., Brinker C.J., 1999.Aerosol-assisted self-assembly of mesostructured spherical nanoparticles.Nature 398: 223-226

Massart R., Cabuil V., 1987.Synthèseen milieu alcalin de magnétitecolloïdale: contrôle du rendement et de la taille des particules. Journal de chimie physique, 84: 967-973

Messing G.L., Zhang S., Jayanthi G.V., 1993.Ceramic Powder Synthesis by Spray Pyrolysis.Journal of the American Ceramics Society 76: 2707-2726

Molday R.S., Mackenze D., 1982.Immunospecific ferromagnetic iron-dextran reagents for the labeling and magnetic separation of cells. Journal of Immunological Methods 52: 353-367

Morales M.P., Gonzalez-Carreno T., Serna C.J., 1992.The formation of a–Fe_2O_3 monodispersed particles in solution.Journal of Materials Research 7, 2538-2545

Ocana M., Rodriguez-Clemente R., Serna C.J., 1995.Uniform colloidal particles in solution: Formation mechanisms.Advanced Materials 7, 2: 212-216

Oh J. K., Park J. M. 2011. Iron oxide-based superparamagnetic polymeric nanomaterials: Design, preparation, and biomedical application. Progress in Polymer Science 36: 168–189

Palmacci S., Josephson L., 1993.Synthesis of polysaccharide covered superparamagnetic oxide colloids.US Patent 5262176

Pankhurst Q. A., Connolly J., Jones S.K., Dobson J., 2003. Applications of magnetic nanoparticles in biomedicine. Journal of Physical Chemistry D: Applied Physics 36: R167–R181

Pecharroman C., Gonzalez-Carreno T., Iglesias J.E., 1995.The infrared dielectric properties of maghemite, gamma-Fe_2O_3, from reflectance measurement on pressed powders.Physics and Chemistry of Minerals 22: 21-29

Pileni M.P., 1993.Reverse micelles as microreactors.Journal of Physical Chemistry 97:6961–6973

Harivardhan R.L., Arias J.L., Nicolas J., Couvreur P., 2012. Magnetic Nanoparticles: Design and Characterization, Toxicity and Biocompatibility, Pharmaceutical and Biomedical Applications. Chemical Reviews 112: 5818 − 5878

Rockenberger J., Scher E.C.,Alivisatos A.P.,1999. A New Nonhydrolytic Single-Precursor Approach to Surfactant-Capped Nanocrystals of Transition Metal Oxides.Journal of the American Chemical Society 121: 11595-11596

Sahoo Y., Goodarzi A., Swihart M.T., Ohulchanskyy T.Y., Kaur N., Furlani E. P., Prasad P. N., 2005. Aqueous Ferrofluid of Magnetite Nanoparticles: Fluorescence Labeling and Magnetophoretic Control. The Journal of Physical Chemistry B 109, 9: 3879–3885

Shafi K.V.P.M., Ulman A., Dyal A., Yan X., Yang N.-L., Estournes C., Fournes L., Wattiaux A., White H.,Rafailovich M., 2002.Magnetic Enhancement of γ-Fe_2O_3 Nanoparticles by Sonochemical Coating.Chemistry of Materials 14: 1778-1787

Shafi K.V.P.M., Ulman A., Yan X., Yang N.-L., Estournes C.,White H.,Rafailovich M., 2001.Sonochemical Synthesis of Functionalized Amorphous Iron Oxide Nanoparticles. Langmuir 17: 5093-5097

Shen S., Zeng H.,2002. Size-Controlled Synthesis of Magnetite Nanoparticles.Journal of the American Chemical Society 124: 8204-8205

Shen J.-M., Xu L., Lu Y., Cao H.-M., Xu Z.-G., Chen T., Zhang H.-X., Chitosan-Based Luminescent/Magnetic Hybrid Nanogels for Insulin Delivery, Cell Imaging, and Antidiabetic Research of Dietary Supplements. International Journal of Pharmaceutics 427, 2: 400–409

Soared P.I.P., Alves A.M.R., Pereira L.C.J., Coutinho J.T., Ferreira I.M.M., Novo C.M.M., Borges J.P.M.R.. 2014. Effects of Surfactants on the Magnetic Properties of Iron Oxide Colloids. Journal of Colloid and Interface Science 419: 46–51.

Song J., Chen Z.-P., Jin J.-W., Chen Y., Yu R.-Q., 2014, Quantitative Surface-Enhanced Raman Spectroscopy Based on the Combination of Magnetic Nanoparticles with an Advanced Chemometric Model. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems 135: 31–36

Strable E., Bulte J.W.M., Moskowitz B., Vivekanandan K., Allen M., Douglas T., 2001.Synthesis and characterization of soluble iron oxide-dendrimer composites. Chemistry of Materials 13: 2201–2209

Sugimoto T., Matijevic E., 1980.Formation of uniform spherical magnetite particles by crystallization from ferrous hydroxide gels.Journal of Colloid and Interface Science 74: 227-243

Suslick K.S., 1990.Sonochemistry.Science 247: 1439-1445

Tartaj P., del Puerto Morales M., Veintemillas-Verdaguer S., Gonzalez-Carreno T., Serna C.J., 2003. The preparation of magnetic nanoparticles for applications in biomedicine. Journal of Physics D: Applied Physics 36: R182–R197

Veintemillas-Verdaguer S, Morales M.P., Serna C.J., 1998.Continuous production of γ-Fe_2O_3 ultrafine powders by laser pyrolysis. Materials Letter 35: 227-231

Veintemillas-Verdaguer S., Morales M.P., Serna C.J., 2001.Effect of the oxidation conditions on the maghemites produced by laser pyrolysis.Applied Organometalics Chemistry 15:365–372

Viau G., Fievet-Vicent F.,Fievet F., 1996a.Monodisperse iron-based particles: precipitation in liquid polyols.Journal od Materials Chemistry 6: 1047-1053

Viau G., Fievet-Vicent F.,Fievet F., 1996b.Nucleation and growth of bimetallic CoNi and FeNi monodisperse particles prepared in polyols. Solid State Ionics 84: 259–270

Viau G., Ravel F., Acher O., Fievet-Vicent F.,Fievet F., 1994.Preparation and microwave characterization of spherical and monodisperse Co20Ni80 particles.Journal of Applied Physics 76: 6570

Wilczewska A. Z., Niemirowicz K., Markiewicz K. H., Car H., 2012. Nanoparticles as drug delivery systems. Pharmacological Reports 64: 1020-1037

Wu M., He H., Zhao Z., Yao X., 2000.Preparation of magnetic cobalt fibres and their microwave properties.Journal of Physics D: Applied Physics 33: 2927-2930

Xia B., Lenggoro I.W.,Okuyama K., 2001.Novel Route to Nanoparticle Synthesis by Salt-Assisted Aerosol Decomposition.Advanced Materials 13: 1579-1582

Zeng X., Zhou Y., Ma W., Wang S., Xie K., Wu J., Wei K., 2014.Selective Zn (II) chemosensor based on di(2-picolyl)amine functionalized inorganic/organic hybrid magnetic network. Chemical Engineering Journal 244: 75–81

Zhu L., Wang D., Wei X., Zhu X., Li J., Tu C., Su Y., Wu J., Zhu B., Yan D.,2013. Multifunctional PH-Sensitive Superparamagnetic Iron-Oxide Nanocomposites for Targeted Drug Delivery and MR Imaging. Journal of Controlled Release 169, 3: 228–38

Wpływ dodatku tantalu na przemianę martenzytyczną ferromagnetycznych stopów z pamięcią kształtu NiCoMnIn

Magdalena Fryc [1,2], Krystian Prusik [1,2], Maciej Zubko [1,2]

[1] Instytut Nauki o Materiałach, Uniwersytet Śląski w Katowicach
[2] Śląskie Międzyuczelniane Centrum Edukacji i Badań Interdyscyplinarnych, Uniwersytet Śląski w Chorzowie
Magdalena Fryc: magdalena_fryc@o2.pl

Streszczenie
W niniejszej pracy badano wpływ dodatku tantalu na strukturę i temperatury przemiany martenzytycznej ferromagnetycznego stopu z pamięcią kształtu z układu Ni-Co-Mn-In. W tym celu do badań wytworzono stopy o składzie chemicznym $Ni_{45,5-x}Co_{4,5}Mn_{36,6}In_{13,4}Ta_x$ (x = 0, 1, 3, 5). W stopach zawierających tantal obserwowano liczne wydzielenia, które charakteryzowały się wysoką zawartością Ta, Mn oraz Ni, oraz niską zawartością, Co i In. Osnowa badanych stopów zawierała głównie Ni, Mn, Co oraz In natomiast była uboga w Ta. Wraz ze wzrostem zawartości tantalu w stopie nastąpiło przesunięcie temperatur przemiany martenzytycznej w stronę wyższych wartości, prowadząc również do obniżenia entalpi, co spowodowane było zmniejszeniem udziału objętościowego fazy ulegającej przemianie.

Słowa kluczowe: magnetyczne stopy z pamięcią kształtu, DSC, SEM.

The influence of tantalum addition on the martensitic transformation of ferromagnetic shape memory alloys NiCoMnIn

Summary
In this work, the influence of the addition of tantalum on the structure and martensitic transformation temperatures of a magnetic shape memory Ni-Co-Mn-In alloys were investigated. For this purpose, alloys of the chemical composition $Ni_{45,5-x}Co_{4,5}Mn_{36,6}In_{13,4}Ta_x$ (x = 0, 1, 3, 5) were prepared and studied. In tantalum-containing alloys, numerous precipitates characterized by high Ta, Mn and Ni contents and low Co and In content were observed. The poor in Ta matrix contained mainly Ni, Mn, Co and In. With the increase of tantalum contentthe martensitic transformation temperatures shifted towards higher values, also leading to the decrease of enthalpy, which was caused by the reduction of the volume fraction of the matrix.

Keywords: Ferromagnetic Shape Memory Alloys, DSC, SEM.

1. Wstęp

W ostatnich latach wzrosło zainteresowanie materiałami inteligentnymi, które zmieniają swoje właściwości pod wpływem warunków zewnętrznych. Materiały te, w zależności od grupy, do której przynależą, charakteryzują się dużą czułością na zmiany wielu parametrów (m.in.: temperaturę ciśnienie, pole elektryczne, pole magnetyczne, wilgotność czy zmiany pH). Materiały inteligentne przekształcają jedną formę energii w inną, a tym samym mogą znajdować szerokie zastosowanie, jako siłowniki, czy czujniki w różnych dziedzinach życia, takich jak medycyna oraz przemysł. Ze względu na liczne potencjalne zastosowania znaczącą grupą materiałów inteligentnych, które w ostatniej dekadzie są intensywniej badane stanowią stopy z pamięcią kształtu. Materiały te pod wpływem działania zewnętrznych pól takich jak: temperatura, pole magnetyczne czy naprężenie, odzyskują swój pierwotny kształt.

Niedawno pojawiła się nowa klasa materiałów inteligentnych zwanych Magnetycznymi Stopami z Pamięcią Kształtu (MSPK), w których zmiana kształtu następuje poprzez

przyłożenie zewnętrznego pola magnetycznego i wywoływana jest przez: odwrotną przemianę martenzytyczną lub reorientację płytek martenzytu spowodowaną ruchem granic bliźniaczych. Praktyczne zastosowania MSPK znacznie ograniczone są przez ich dużą kruchość oraz trudności związane z ich wytwarzaniem, a także przez wysoki koszt produkcji. Dlatego też trwają liczne badania nad znalezieniem odpowiednich stopów, które znajdą szersze praktyczne zastosowanie.

Dotychczas potwierdzono, że kilka stopów wykazuje cechy charakterystyczne dla MSPK, m.in.: Ni-Mn-Ga (Sozinov et al. 2002; Ullakko et al. 1996; James, et al. 1999), Ni-Mn-Sn (Auge, et al. 2012), Co-Ni-Ga (Wuttig, et al. 2001), Co-Ni-Al. (Morito, et al., 2002; Oikawa, et al. 2001), Ni-Fe-Ga (Oikawa, et al. 2002), Ni-Mn-Al (Fujita, et al. 2000) i Fe-Pd (James, et al. 1998). Najpopularniejszym przedstawicielem tej grupy jest monokrystaliczny stop Ni-Mn-Ga. W 1996 K. Ullakko (Ullakko et al. 1996) wykazał, że elementy wykonane z tych stopów pod wpływem zewnętrznego pola magnetycznego charakteryzują się wysoką wartość przemieszczenia (uzależnioną od długości elementu aktywnego). Stopy Ni-Mn-Ga są jedynymi najbardziej znanymi ferromagnetycznymi stopami międzymetalicznymi, które ulegają termosprężystej przemianie martenzytycznej. W stopach tych następuje przemiana wysokosymetrycznej fazy o strukturze regularnej (fazy macierzystej) do niżejsymetrycznejwielowarstwowej struktury martenzytycznej. Ze względu na wysoką cenę czystego galu oraz trudności związanych z hodowlą monokryształów, poszukuje się stopów polikrystalicznych będących alternatywą dla stopów Ni-Mn-Ga, których koszty wytworzenia będą niższe, przy zachowaniu lub poprawie ich właściwości.

W ostatnich latach wzrosło zainteresowanie polikrystalicznymi stopami o strukturze faz Heusleram i in. Ni-Mn-In oraz Ni-Co-Mn-In (Prusik2012; Ito , et al. 2007; Feng et al. 2009; Sutou, et al. 2004), które wykazują wiele istotnych właściwości, takich jak efekt magneto-kaloryczny czy też magnetyczny efekt pamięci kształtu. Jednak pomimo wielu zalet praktyczne zastosowanie tych stopów w przemyśle, technice, czy medycynie ograniczone jest tak jak w przypadku innych MSPK, przez ich dużą kruchość. Dlatego też, trwają badania mające na celu poprawę plastyczności tych stopów (np. poprzez ich domieszkowanie). Pomimo swej dużej kruchości stopy Ni-Mn-X (X = In, Co+In), mogą być realną alternatywą dla stopu Ni-Mn-Ga (Sutou, et al. 2004; Feng et al. 2009; Tsuchiya 2007). Dlatego też, istotne wydaje się prowadzenie dalszych badań mających na celu analizę wpływu dodatków stopowych na strukturę i właściwości mechaniczne MSPK Ni-Mn-X (X = In, Co+In).

Celem niniejszej pracy było: określenie wpływu domieszki tantalu na strukturę i temperatury przemiany martenzytycznej ferromagnetycznego stopu z pamięcią kształtu Ni-Co-Mn-In.

2. Materiał i Metody

- Materiał badań

Skład chemiczny stopów Ni-Co-Mn-In oraz technologię ich wytwarzania dobrano tak, aby przemiana martenzytyczna zachodziła blisko temperatury pokojowej. Na podstawie przeglądu literaturowego stwierdzono, że powyższe warunki spełnia stop o składzie chemicznym $Ni_{45,5-x}Co_{4,5}Mn_{36,6}In_{13,4}Ta_x$ (x=0, 1, 3, 5).Przy doborze składu chemicznego kierowano się kryterium stężenia elektronowego e/a, według którego liczba elektronów walencyjnych przypadających na komórkę elementarną jest związana z liniową zależnością z temperaturami przemiany martenzytycznej.Wytopywykonano w Instytucie Nauki o Materiałach w Chorzowie w piecu do łukowego topienia metali i stopów w atmosferze ochronnej argonu. Stopy otrzymano z metali o wysokiej czystości : Ni-99,95%, Co-99,95%, Mn-99,9%, In-99,99999% oraz Ta-99,99%. Wytworzone cztery wytopy o masie około 15 go zawartości Ta od 0 do 5%at. oznaczono odpowiednio Ta0, Ta1, Ta3, Ta5.

- Metodyka badań

Do określenia składu chemicznego stopów Ni-Co-Mn-In-Ta oraz morfologii powierzchni użyto skaningowej mikroskopii elektronowej, stosując mikroskop firmy JEOL typ JSM 6480 wyposażony w detektor EDS. Obserwacje morfologii powierzchni prowadzono przy pomocy detektora elektronów wtórnych (SEI) oraz odbitych (BEC) stosując napięcie przyspieszające do 20 keV. W celu analizy składu chemicznego osnowy oraz wydzieleń występujących w stopach zastosowano metodę dyspersji energii (EDS), detektora firmy IXRF oraz oprogramowania EDS 2006 zintegrowanego z mikroskopem.Temperatury charakterystyczne przemiany martenzytycznej oraz przemiany odwrotnej stopów wyznaczono metodą skaningowej kalorymetrii różnicowej (DSC), przy użyciu kalorymetru DSC 1 firmy Mettler Toledo. Pomiary prowadzono w zakresie temperaturowym: -120°C – 600°C. przy prędkości grzania i chłodzenia 10°C/min. Wszystkie pomiary prowadzono w atmosferze ochronnej azotu, bez użycia gazów reakcyjnych. Uzyskane wyniki analizowane były za pomocą programu STAR11 zintegrowanego z kalorymetrem DSC. Rentgenowską analizę fazową przeprowadzono przy użyciu dyfraktometru firmy PANalitical model Empyrian. Zastosowano lampę o anodzie miedzianej (CuKα=1.54178 Å) z filtrem niklowym, zasilaną prądem o natężeniu 30 mA przy napięciu 40 kV. Rejestracji danych dokonano przy użyciu metody „step-scanning” z krokiem 0.0132° oraz czasem zliczania 900 sekund na krok

pomiarowy w zakresie od 20° do 140° 2θ. W celu określenia struktury faz oraz potwierdzenia wyników otrzymanych podczas rentgenowskiej analizy fazowej zastosowano transmisyjną mikroskopię elektronową (TEM). Badania przeprowadzono za pomocą wysokorozdzielczego mikroskopu elektronowego firmy JEOL typ JEM 3010 (rys. 31). Podczas pomiarów transmisyjny mikroskop elektronowy pracował przy napięciu przyspieszającym do 300 kV. Wszystkie otrzymane obrazy zarejestrowano przy użyciu cyfrowej kamerą CCD firmy Gatan. Cienkie folie do badań, zostały wykonane metodą polerowania jonowego na polerce jonowej firmy Gatan model PIPS 691.

3. Wyniki badań

- Mikrostruktura i skład chemiczny

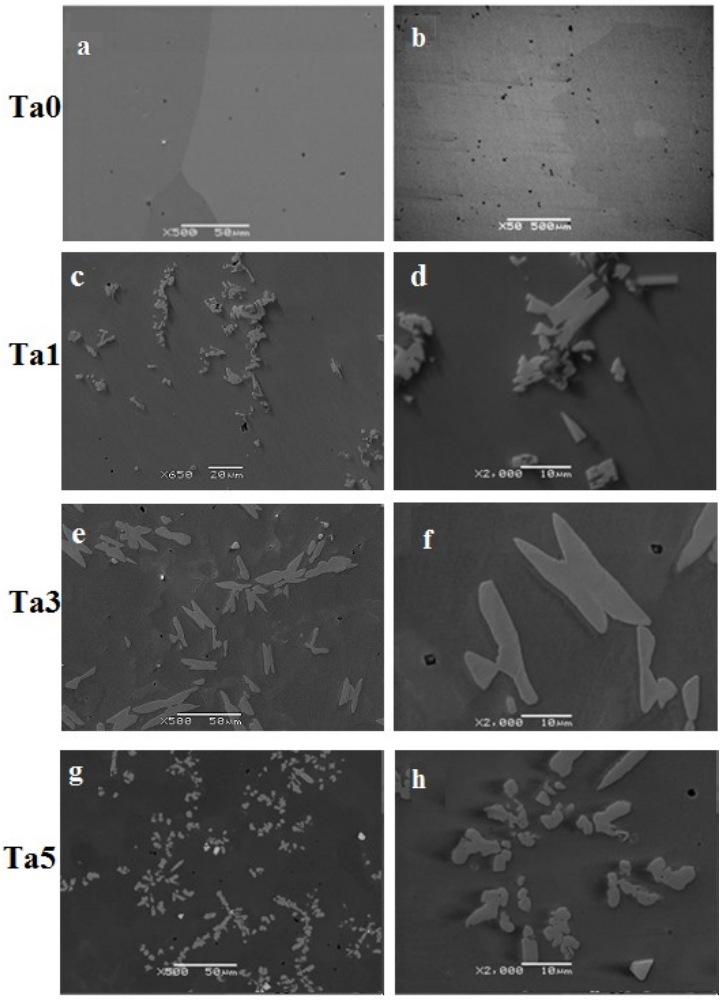
Próbka nie zawierająca tantalu (Ta0) posiada jednofazowąmikrostrukturę. Na powierzchni próbki Ta0 obserwowano jedynie wtrącenia metaliczne powstałe podczas procesu technologicznego. Próbki z dodatkiem 1, 3 i 5% tantalu (Ta1, Ta3, Ta5) charakteryzują się wielofazową mikrostrukturą, w której, prócz osnowyobserwowano liczne wydzielenia. Wraz ze wzrostem zawartości tantalu w próbce obserwowano wzrost udziału wydzieleń. W zależności od zawartości tantalu w próbce, wydzielenia różniły się kształtem (Rys. 1). Ze względu na niejednorodną strukturę przeprowadzono analizę składu chemicznego osnowy oraz występujących wydzieleń.

Badania składu chemicznego stopów wykazały, że obecne wydzielenia (Rys. 1) są bogate w Ta oraz dla próbek Ta3 i Ta5 również w Ni i Mn. Dla wszystkich badanych stopów zawierających tantal, wydzielenia są bardzo ubogie w In i Co (tab. 1). Wszystkie stopy charakteryzowały się dużą jednorodnością składu chemicznego wydzieleń oraz osnowy na całym przekroju próbek.

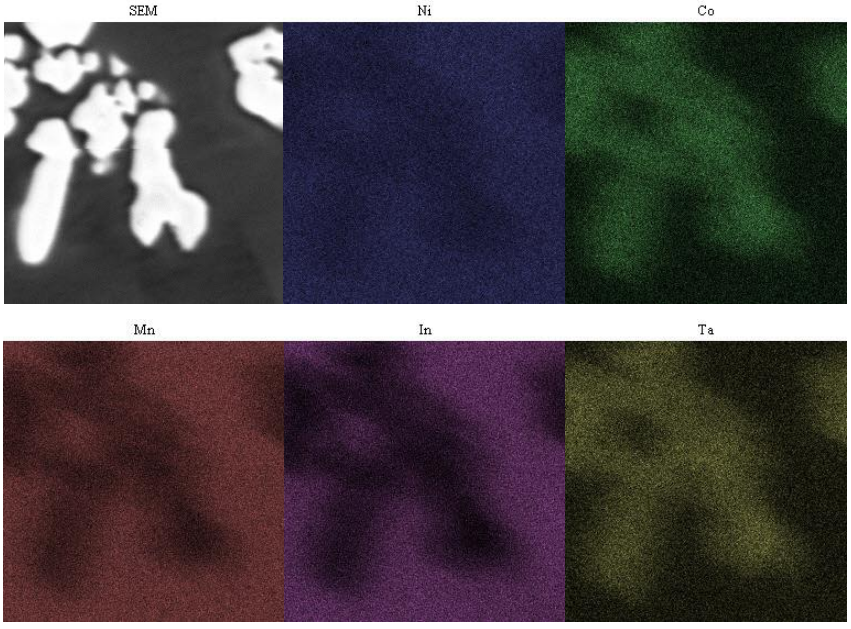
Na mapach zarejestrowanych dla próbek Ta3 i Ta5 widoczna jest niższa zawartość Ni, Mn oraz In w wydzieleniach, niż w osnowie. Obserwowano teżdużo wyższą, w stosunku do osnowy, zawartość Ta i Co w wydzieleniach.

Tabela 1.Średni skład chemiczny osnowy oraz wydzieleń badanych próbek

Próbka	**Osnowa [% at.]±0,5%**					**Wydzielenia [% at.] ±0,5%**				
	Ni	**Co**	**Mn**	**In**	**Ta**	**Ni**	**Co**	**Mn**	**In**	**Ta**
Ta0	45,5	4,5	36,6	13,4	**0**	-	-	-	-	-
Ta1	40,0	4,1	43,2	11,6	1,1	4,7	0,9	5,8	1,3	87,3
Ta3	38,5	3,4	45,7	12,4	1,2	22,0	14,0	16,0	0,7	47,5
Ta5	38,3	3,1	46,3	12,3	1,5	36,0	18,4	26,3	1,7	17,7



Rys.1. Obrazy SEM mikrostruktury próbki Ta0-Ta5elektronów wstecznie rozproszonych (a, g) oraz elektronów wtórnych (b, c, d, e, f, h)



Rys. 2. Mapa rozkładu pierwiastków na powierzchni próbki Ta5

- Analiza fazowa

Rentgenowska analiza fazowa wykazała, że we wszystkich badanych próbkach występuje faza macierzysta o strukturze uporządkowanej $L2_1$. W porównaniu z próbką Ta0, próbki z dodatkiem Ta mają układ wielofazowy. W temperaturze pokojowej prócz fazy macierzystej obserwowano występowanie mieszaniny siedmiowarstwowegomodulowanego martenzytu oznaczanego jako 14M (grupa przestrzenna P2/m) oraz z układów:Co-Ta (1,2), Mn-Ni, $Ta(CoNi_2)$, $Mn_{0,85}Co_{0,15,}Ta_{0,8}Co_{2,2}$. W celu udokładnienia parametrów sieci zidentyfikowanych faz przeprowadzono dodatkowo analizę Rietvelda, przy wykorzystaniu programu komputerowego PANalyticalX'PertHighScore Plus. Otrzymane wyniki zestawiono w tab. 2.

Tabela 2 Struktura faz występujących w badanych stopach

Stop	**Faza**	**Grupa przestrzenna**	**Parametr sieciowy a[Å],b[Å],c[Å]**	**Kąt β[^{o}]**
Ta0	$L2_1$	Fm-3m	5,99	90
Ta1	$L2_1$	Fm-3m	5,99	90

	14M	P2/m	a=4,40;
			b=5,55;
			c=12,95
				86

	Ta	Fm-3m	4,22	90
	Co-Ta(1)	Pm-3m	3,07	90
	Mn-Ni	Pm-3m	2,89	90
Ta3	$L2_1$	Fm-3m	5,99	90

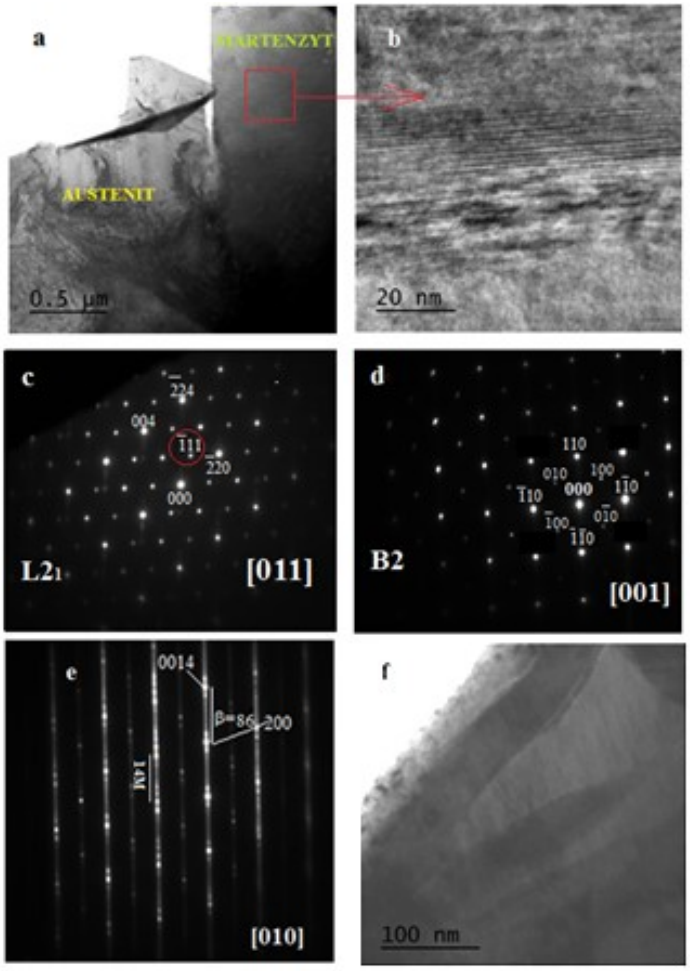
	14M	P2/m	a=4,40;
			b=5,55;
			c=12,95
				86

	$Ta(CoNi_2)$	P63/mmc	a=5,17;
			b=5,17;
			c=4,19
				90
				ɤ=120

	Co-Ta(2)	Fd-3m	6,79	90
	$Mn_{0,85}Co_{0,15}$	Pm-3m	3,07	90
	Ta	P4132	6,32	90
Ta5	$L2_1$	Fm-3m	5,99	90
	14M	P2/m	a=4,40 b=5,55 c=12,95	86
	$Ta_{0,8}Co_{2,2}$	Fd-3m	6,79	90
	Mn-Ni	Pm-3m	2,89	90

W celu potwierdzenia struktury faz występujących w stopach określonych przy pomocy rentgenowskiej analizy fazowej przeprowadzono badania techniką transmisyjnej mikroskopii elektronowej. Na podstawie analizy uzyskanych elektronogramów (Rys. 3c) fazę macierzystą zidentyfikowano, jako uporządkowaną strukturę $L2_1$. Na elektronogramach fazy macierzystej wykonanych w orientacji [011] zaobserwowano refleksy typu {111}, które są typowe dla nadstruktury typu $L2_1$. Na elektronogramach w orientacji [001] widoczne są również refleksy typu {001} świadczące o uporządkowaniu fazy B2 (Rys. 3d). Strukturę fazy martenzytycznej

na podstawie uzyskanych elektronogramów i widocznych refleksów satelitarnych zidentyfikowano, jako siedmiowarstwowy martenzyt modulowany 14M (Rys. 3e). Struktury faz: macierzystej oraz martenzytycznej, określone metodą TEM, są zgodne z wynikami uzyskanymi z rentgenowskiej analizy fazowej.

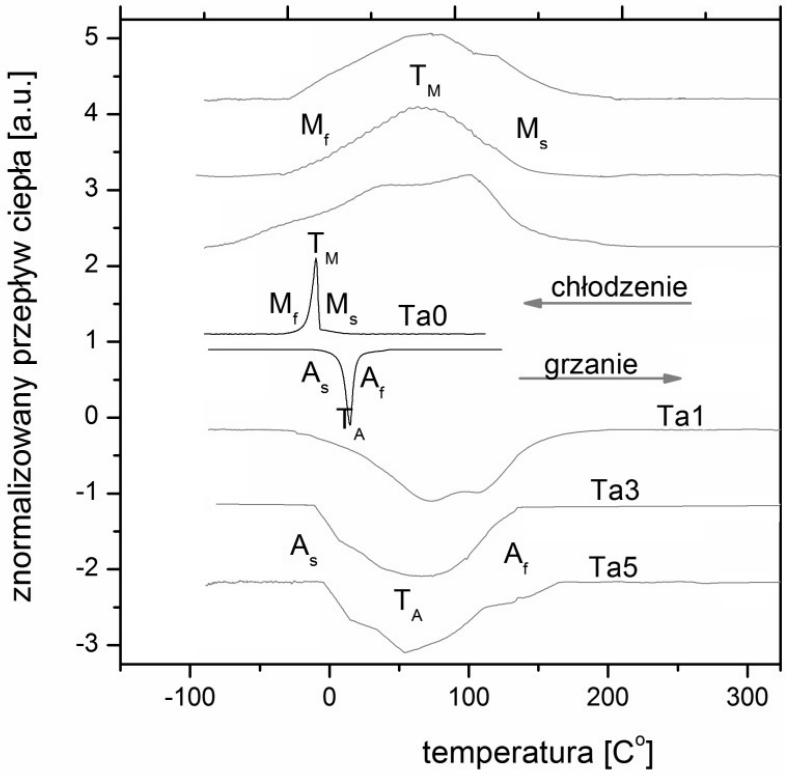


Rys. 3. a) Obraz w polu jasnym mikrostruktury fazy macierzystej i martenzytycznej stopu Ta1; b) wysokorozdzielczy obraz powiększonego obszaru fazy martenzytycznej; c-e) elektronogramy odpowiednio c, d-faza macierzysta,e-martenzyt 14M (7M); f) obraz w polu jasnym mikrostruktury martenzytu

Dodatek Ta w stopie nie wpłynął na zmianę uporządkowania fazy macierzystej. We wszystkich stopach Ta0-Ta5 zaobserwowano strukturę $L2_1$.

- Przemiana martenzytyczna -dsc

Temperatury przemiany martenzytycznej wyznaczono metodą skaningowej kalorymetrii różnicowej (DSC). Dla próbki Ta0 zaobserwowano jednostopniową, dobrze zdefiniowaną przemianę martenzytyczną, Natomiast dla stopów zawierających Ta (Ta1-Ta5) obserwowano znaczne zmniejszenie natężeń pików, (egzo i endotermicznych), związanych z występowaniem przemiany martenzytycznej i przemiany odwrotnej (Rys.4).



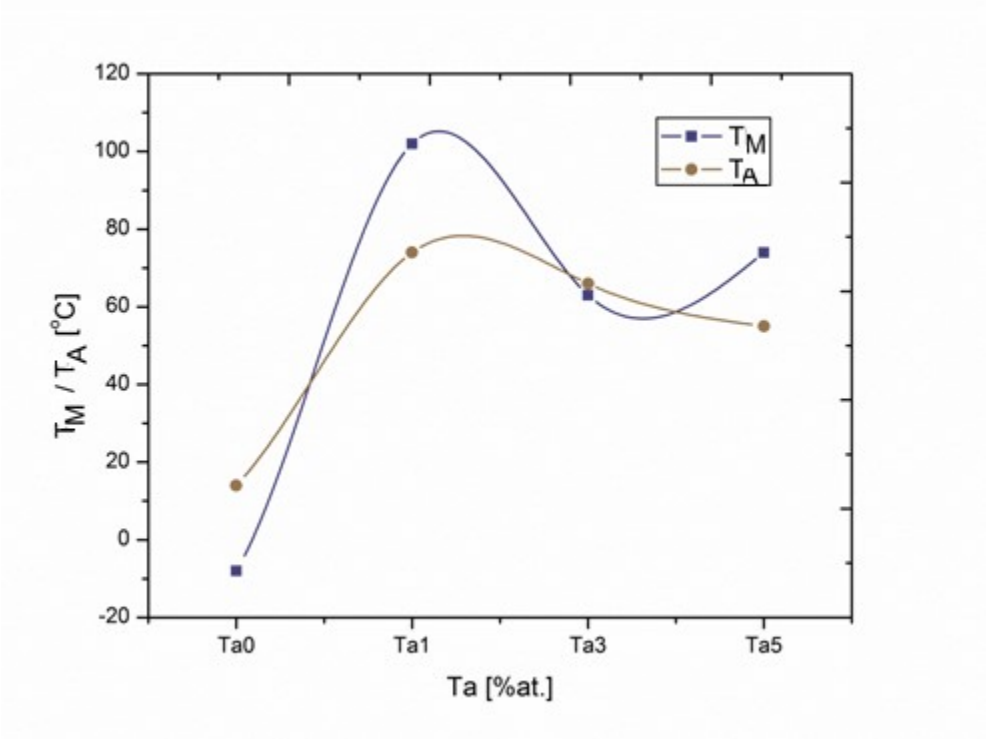
Rys.4.Krzywe DSC badanych stopów

W stopach z dodatkiem tantalu, przemiana jest rozmyta. Dodatek Ta prowadzi do obniżenia entalpii przemiany, co związane jest ze zmniejszeniem udziału objętościowego fazy ulegającej przemianie martenzytycznejoraz wzrostem zawartości objętościowej wydzieleń. Wyznaczone temperatury przemian dla badanych stopów zestawiono w Tab. 3.

Tabela 3. Temperatury charakterystyczne[^{o}C] przemiany martenzytycznej oraz odwrotnej badanych próbek

Próbka	**M_s[^{o}C]**	**M_f[^{o}C]**	**A_s[^{o}C]**	**A_f[^{o}C]**	**T_M[^{o}C]**	**T_A[^{o}C]**	**H_M[J/g]**	**H_A[J/g]**
Ta0	-5	-14	8	18	-8	14	3	-4
Ta1	136	7	25	140	102	74	5	-5
Ta3	116	-41	21	116	63	66	0,8	-2
Ta5	75	-68	9	103	74	55	1	-1

Dodatek Ta powoduje znaczne podwyższenie temperatur T_A oraz T_M (Rys.5) w porównaniu z próbką Ta0, zwłaszcza przy zawartości Ta 1% at.. Wraz ze wzrostem zawartości Ta w próbce temperatury przemiany martenzytycznej zaczynają spadać, jednakże są dużo wyższe od temperatur T_A i T_M próbki bez tantalu (Ta0) (T_{ATa0} = -8^{o}C oraz T_{ATa5} = 74^{o}C, T_{MTa0} = 14^{o}C oraz T_{MTa5} = 55^{o}C).



Rys.5. Zależność temperatury początku przemiany martenzytycznej w funkcji zawartości %at. Ta

4. Dyskusja

Głównym celem niniejszej pracy było określenie wpływu Tana strukturę oraz temperatury przemiany martenzytycznej magnetycznych stopów, wykazujących pamięć kształtu z układu Ni-Co-Mn-In. Podczas realizacji pracy przeprowadzono badania na stopach $Ni_{45,5-x}Co_{4,5}Mn_{36,6}In_{13,4}Ta_x$(x=0,1,3,5). MSPK z układu Ni-Co-Mn-In są bardzo czułe już na niewielkie zmiany w składzie chemicznym. R. Fayzullin i in. w 2015 roku badali wpływ Co na przemianę martenzytyczną w stopach Ni-Mn-In podstawiając Co w miejsce Mn. Podczas badań stwierdzili, że już niewielkie stężenie (0,28% at.) Co w tych stopach powoduje przesunięcie $M_s$do temperatury pokojowej. W 2017 roku S. Pandey i in. zbadali wpływ Cr na właściwości stopów $Ni_{50-x}Cr_xMn_{37}In_{13}$ Stwierdzili, że wprowadzenie do stopujuż niewielkiej ilości Cr kosztem Ni powoduje przesunięcie się zarówno temperatury M_s oraz T_cw stronę niższych temperatur. Jak wynika z badań prezentowanych w niniejszej pracy dodatek tantalu w stopie wpłynął znacząco na strukturę i temperatury charakterystyczne przemiany martenzytycznej stopu Ni-Co-Mn-In.

W stopach zawierających tantal, zidentyfikowano liczne wydzielenia, których morfologia zmienia się w zależności od % zawartości Ta w stopie.Analizę składu chemicznego wydzieleń oraz osnowy próbek przeprowadzono za pomocą metody EDS. Wydzielenia we wszystkich stopach zawierających tantal były bogate w takie pierwiastki jak Ta, Ni, Mn oraz ubogie w Co i In. Najwyższa zawartość Ta (87,3% at.) występowała w

wydzieleniach znajdujących się w próbce Ta1, najniższa (17,7% at.) próbce Ta5. Najwięcej Ni w wydzieleniach (ok. 36% at.) zaobserwowano w próbce Ta5, najmniej (4,7% at.) w próbce Ta1. Zawartość Mn w wydzieleniach zawierała się w przedziale od 5,8% at. do 26,3% at. odpowiednio dla próbek Ta1 i Ta5. Najwyższa zawartość Co w wydzieleniach (18,4% at.) występowała w próbce Ta5, najniższa (0,9% at.) próbce Ta1. Zawartość In w wydzieleniach była niewielka i zawierała się w przedziale od 0,7% at. do 1,7% at. odpowiednio dla próbek Ta3 i Ta5.

Osnowa badanych stopów była bogata w Ni (zawartość od 38,3% at. do 45,5% at. odpowiednio dla próbek Ta5 i Ta0), Mn (zawartość od 36,6% at. do 46,3% at. odpowiednio dla próbek Ta0 i Ta5), Co (zawartość od 3,1% at. do 4,5% at. odpowiednio dla próbek Ta5 i Ta0), In (zawartość od 11,6% at. do 13,4% at. odpowiednio dla próbek Ta1 i Ta0), a uboga w Ta (zawartość od 1,1% at. do 1,5% at. odpowiednio dla próbek Ta1 i Ta5).

Analiza fazowa przeprowadzona metodami rentgenowskiej analizy strukturalnej oraz za pomocą transmisyjnej mikroskopii elektronowej, pozwoliła na zidentyfikowanie we wszystkich badanych stopachfazy macierzystej, jako uporządkowanej struktury $L2_1$.Zatem dodatek tantalu nie wpłynął na zmianę struktury fazy macierzystej stopu z układu Ni-Co-Mn-In. Wyniki analizy fazowejpotwierdziły również występowanie w temperaturze pokojowej fazy martenzytycznej w postaci siedmiowarstwowego martenzytu modulowanego 14M. Stopy zwierające tantal charakteryzowały się wielofazową strukturą oraz były silnie steksturowane, na co wpłynął proces otrzymywania ich w piecu do łukowego topienia metali.

Dodatek tantalu w stopie wpłynął znacząco na wartości temperatur charakterystycznych przemiany martenzytycznej. Przy zawartości tantalu 1%at. temperatura początku przemiany martenzytycznej M_s rośnie o ponad 140^{o}C z -5^{o}C dla próbki Ta0 do 136^{o}C. Po początkowym wzroście temperatury M_s, wraz ze wzrostem zawartości Ta w próbce zaczyna ona maleć (M_s=75^{o}C dla próbki Ta5), jednakże wciąż jest ona dużo wyższa niż M_s dla próbki Ta0.Obecność licznych wydzieleń bogatych w Ta, Ni oraz Mn wpłynęła na zmianę składu chemicznego osnowy, a zatem na zmianę temperatur charakterystycznych przemiany martenzytycznej. Wprowadzenie dodatku Ta w stopach, spowodowało wydzielanie się faz bogatych w ten pierwiastek.W związku ze zmniejszeniem udziału objętościowego fazy ulegającej przemianie martenzytycznej, doprowadziło to w efekcie do znaczącego obniżenia entalpi przemiany.

Podsumowując, po analizie otrzymanych wyników, stwierdzono, że dodatek Tawpływa na strukturęoraz przemianę martenzytyczną stopów z układu Ni-Co-Mn-In. Obecność wydzieleń bogatych w Ta może mieć korzystny wpływ na właściwości mechaniczne stopów.

Jednakże duża ich ilości może wpłynąć negatywnie na wartość odzysku kształtu, co spowodowane jest zmniejszeniem udziału objętościowego fazy ulegającej przemianie. W niniejszej pracy przeprowadzono badania próbek w stanie wyjściowym. W dalszym toku pracy planowane jest przeprowadzenie analogicznych badań strukturalnychoraz badań mechanicznych stopów z dodatkiem Ta po obróbce cieplnej.

5. Wnioski

W niniejszej pracy dokonano oceny wpływu dodatku tantalu na strukturę, temperatury przemiany martenzytycznej magnetycznych stopów z pamięcią kształtu z układu Ni-Co-Mn-In. Sformułowano następujące wnioski:

1. Stopy z dodatkiem tantalu charakteryzują się strukturą wielofazową;
2. Dodatek tantalu do 5% at. nie wpływa na zmianę struktury fazy macierzystej $L2_{1;}$
3. W temperaturze pokojowej obserwuje się, w stopach z dodatkiem tantalu, siedmiowarstwowy martenzyt modulowany 14M.
4. Wzrost zawartości objętościowej wydzieleń bogatych w Ta, powoduje zmniejszenie entalpii przemiany;
5. Przemiana martenzytyczna w stopach z dodatkiem tantalu jest rozmyta;
6. Wraz ze wzrostem zawartości Ta następujewzrost temperatur charakterystycznych przemiany martenzytycznej o ok. 110^oC (dla T_M z -8^oCdo 102^oC).

Z przeprowadzonych badań wynika, że najlepsze wyniki otrzymano dla próbki Ta1, która charakteryzowała się korzystną strukturą oraz optymalnym zakresem temperatur charakterystycznych przemiany martenzytycznej. Zatem słusznym w przyszłych badaniach wydaje się ograniczenie dodatku tantalu do 1% at.

6. Literatura

Auge A., et al., 2012The magnetic shape memory alloy Ni-Mn-Sn in thin films. Bielefeld: Department of Physics University of Bielefeld.

Feng Y. et al., 2009. Microstructure, phase transitions and mechanical properties of Ni5oMn34lni6-yCoy alloys. *Journal of Alloys and Compounds 47:* 935-939.

Fujita A., et al., 2000. Magnetic properties and large magnetic-field-induced strains in off-stoichiometric Ni-Mn-Al Heusler alloys. *Applied Physics Letters 77,19:* 3054-3056.

Ito W. et al., 2007. Martensitic and magnetic transformation behaviours In Heusler-Type NiMnln and NiCoMnln metamagnetic shape memory alloys. *Metallurgical and Materials Transactions A 38A:* 759-766.

James D., et al., 1999. Large field-induced strans in ferromagnetic shape memory materials. *Materials Science and Engineering A:* 273-275.

James R. et al., 1998. Magnetostriction o f martensite. *Philosophical Magazine A 77, 5 :* 1273 – 1299.

Morito H., et al., 2002. Magnetic and martensitic phase transitions in ferromagnetic Ni–Ga–Fe shape memory alloys. *Applied Physics Letters 81:* 1657-1659.

Oikawa K., et al., 2002. Magnetic and martensitic phase transitions in ferromagnetic Ni–Ga–Fe shape memory alloys. *Applied Physics Letters 81:* 5201-5203

Oikawa K., et al., 2001. Promising ferromagnetic Ni-Co-Al shape memory alloy system. *Applied Physics Letters 79, 20*: 3290-3292

Prusik K., 2012. TEM study o f Ni-Mn-Co-In ferromagnetic shape memory alloys. *Solid State Phenomena 186:* 271-274.

Sozinov A. et al., 2002. Giant Magnetic-Field-Induced Strain in NiMnGa Seven Layered Martensitic Phase. *Applied Physics Letters 80, 10:* 1746-1748.

Sutou Y. et al., 2004. Magnetic and martensitic transformations o f NiMnX (X=In, Sn, Sb) ferromagnetic shape memory alloys. *Applied Physics Letters 85:* 4358–4360.

Tsuchiya K, 2007. Phase transformation, magnetic property and microstructure of Ni-Mn-Fe-Co-Ga ferromagnetic shape memory alloys. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials 310:* 2764-2766.

Ullakko K. et al., 1996. Large magnetic-field-induced strains in Ni2MnGa single crystals.*Applied Physics Letters 69,13:* 1966-1968.

Wuttig M., et al., 2001. A new ferromagnetic shape memory alloy system.*Scripta Materialia 44, 10*: 2393-2397.

Identification of precursors of chlorate and chlorite formation in swimming pool water

Dominika Gajewska [(1)], Agnieszka Włodyka-Bergier [(1)], Emilia Stańkowska [(1)]

[1] Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
Dominika Gajewska: gajewska@agh.edu.pl

Summary
The main by-products of using chlorine dioxide as an oxidant and disinfectant for swimming pool water are chlorates and chlorites. The aim of the presented research is to recognize the reactivity of potential precursors of the formation of the discussed compounds. The experiment was carried out under controlled laboratory conditions in the test of the potential of disinfection by-products formation (chlorine dioxide concentration 0,3 mg/dm^3, incubation for 24 hours at 25^{o}C), in which the reactivity of model solutions of organic compounds, inorganic compounds and the fraction of dissolved and undissolved compounds (separated from swimming pool water) was studied. Concentration of chlorate and chlorite in prepared solutions was determined by iodometric titration. The research allowed to identify creatinine (of organic compounds) and nitrite (out of inorganic compounds) as precursors which have the highest reactivity to the formation of chlorate and chlorite.

Keywords: Disinfection by-products, chlorate and chlorite, chlorine dioxide.

Identyfikacja prekursorów tworzenia chloranów i chlorynów w wodzie basenowej

Streszczenie
Głównymi produktami ubocznymi zastosowania dwutlenku chloru, jako utleniacza i środka wspomagającego dezynfekcję wody basenowej są chlorany i chloryny. Celem zaprezentowanych badań jest poznanie reaktywności potencjalnych prekursorów tworzenia omawianych związków. Doświadczenie przeprowadzono w kontrolowanych warunkach laboratoryjnych w teście na potencjał tworzenia ubocznych produktów dezynfekcji (stężenie dwutlenku chloru 3 mg/dm^3, inkubacja przez 24 h w temperaturze 25^{o}C), w którym sprawdzano reaktywność modelowych roztworów związków organicznych, związków nieorganicznych oraz wydzielonych z wody basenowej frakcji związków rozpuszczonych i nierozpuszczonych. Chlorany i chloryny w przygotowanych roztworach oznaczano z wykorzystaniem metody jodometrycznego miareczkowania. Przeprowadzone badania pozwoliły zidentyfikować kreatyninę, jako prekursora charakteryzującego się najwyższą reaktywnością w stosunku do tworzenia chloranów i chlorynów. Prekursorem nieorganicznym odznaczającym się największym potencjałem kształtowania chloranów i chlorynów okazały się być jony azotynowe.

Słowa kluczowe: Produkty uboczne dezynfekcji wody, chlorany i chloryny, dwutlenek chloru.

1. Introduction

In recent years swimming has become more and more popular. Definitively, it brings huge profits and benefits for people with respiratory or cardiovascular diseases, which are the main cause of death and disabilities among people around the world (Ferretti et al. 2013). Therefore, numerous benefits for the human body, that result from this type of physical activity, require that the users of the swimming pool should have ensured safe conditions in terms of hygiene and sanitation. The problem of maintaining proper quality of swimming pool water, both in terms of microbiological and physicochemical parameters requires an accentuation.

The environment in the swimming pool is very specific, and the issue related to the quality of swimming pool water – extremely complicated. Swimming pool water is a very complex mixture of various organic and inorganic compounds. Many of them have carcinogenic, mutagenic or genotoxic properties (Włodyka-Bergier 2016). These undesirable chemical contaminants are primarily disinfection by-products (DBPs) resulting from the widespread use of chlorine-based compounds for disinfection. These compounds react with substances introduced into water by humans (components of sweat and urine, skin particles, hair, microorganisms and cosmetics) (Chowdhurry et al. 2014).

Higher and higher requirements for swimming-pool water quality, greater awareness and knowledge of society, what is more, literature reports (presenting research results confirming water chlorination defects) are undoubtedly significant incentives to search for new, more effective methods and technologies for its treatment. One of the solutions that are only timidly appearing on the market is the use of chlorine dioxide in the swimming pool water treatment system as a very strong oxidant and a disinfection adjuvant (Wyczarska-Kokot 2013, Kim et al. 2017). Chlorine dioxide, contrary to the chlorine with both oxidizing and chlorinating properties, has only oxidizing properties. It is related to the fact, that it has a radical structure, therefore it is primarily an acceptor of electrons, thus an oxidant. It does not stimulate the attachment or substitution reaction (i.e. the chlorination reaction) which chlorine and hypochlorous acid are characterized. The use of this oxidant does not lead to the formation of toxic disinfection by-products and compared to chlorine, it is not the cause of the formation of significant amounts of halogen organic DBPs. Moreover, ClO_2 kills microorganisms very effectively (Nawrocki et al. 2000).

In recent times, it has been noticed that the scientists interest, which up to now primarily focused on organic DBPs, has been also addressed to inorganic disinfection by-products, those of which there are chlorite and chlorate. The problem associated with their occurrence appears wherever ClO_2 is used, as they are dominant by-products of its use. Primarily the most important issue related to the presence of chlorate (ClO_3^-) and chlorite (ClO_2^-) ions in water is their impact on human health (Righi et al. 2014). The main and the most consistent finding arise from exposure to these compounds is oxidative stress causing changes in red blood cells (Al-Otoum et al. 2016). Analysis the list of compounds of International Agency for Research on Cancer (IARC 2012) has shown that chlorite was classified to the group 3, the group of substances which are not classified as carcinogenic to humans. However, this document does not include chlorate, which in comparison to the chlorite is more toxic. Chlorate may be the cause of impairment of neurological development, delay of female

puberty or thyroid function changes. The limited number of studies, some inconsistency of data and the aforementioned facts about the analyzed compounds were the reason for qualifying them to the group of the most unregulated DBPs, on which in particular the future research should be focused (Righi et al. 2014). The problem of chlorate and chlorite was subsumed as the first in the German standard DIN 19643. The sum of these compounds has been introduced. Guideline value of 30 mg/dm^3 is based on the toxicological assessment of TDI (tolerably daily intake) and takes into account the specific conditions prevailing in Germany (Ferretti et al. 2013). The permissible concentration of the sum of these compounds in swimming pool water is also regulated by WHO, and it is 3 mg/dm^3 (WHO 2006).

Deep knowledge about the processes and reactions that take place in swimming pool water will help at the design and implementation of much more effective systems and technologies for its treatment. Hence, it is extremely important to implement research, experiments to obtain a coherent, comprehensive information on the complexity of the chemical mechanisms of the analyzed medium. Due to the fact that information about chlorate and chlorite in swimming pool water is very limited in the world literature, the presented article provided more information about them. The results of these studies allowed to identify the potential precursors of the formation of chlorate and chlorite. Therefore, body fluid analogues (BFA), solid contaminants introduced by swimming pool users and inorganic compounds present in water were considered.

2. Materials and methods

The studies on the recognition of the reactivity of BFA, inorganic compounds present in swimming pool water and solid contaminants introduced by swimming pool users were conducted under controlled conditions at the Laboratory of Department of Environmental Management and Protection AGH in Cracow. The experiment was divided into three stages. The first stage involved the analysis of organic compounds, the next stage – inorganic compounds. The final stage was the analysis of the fraction of dissolved and undissolved compounds separated from swimming pool water.

Sample preparation of model body fluid analogues for the first stage consisted the dilution of chemically pure components at concentration of $1{,}8 \cdot 10^{-5}$ mol/dm^3 in redistilled water. The concentrations of the analyzed analogues were adopted from Włodyka-Bergier et al. (2017). Model solutions were tested with the modified test of the by-products formation potential. The test was adapted after Włodyka-Bergier et al. (2017). The authors adjusted the concentration of free chlorine in water samples to the value of 3 mg/dm^3. In the experiment presented in this article, chlorine dioxide was added to the water samples. Its concentration

was adjusted to the value of 0,3 mg/dm^3. The concentration of chlorine dioxide dosage in a real swimming pools fluctuates around the value of 0,3 mg/dm^3. It justifies the above concentration selection. Then, the samples were incubated at 25^{o}C for 24 h. After this time, chlorite and chlorate were measured using the iodometric method of titration. Table 1 presents basic information about model compounds used in the experiment.

Table 1. Basic information about model reagents (manufacturer's data)

Compound	Molecular formula	Molar mass	Manufacturer
Urea	CH_4N_2O	60,06	POCh Gliwice
Creatinine	$C_4H_7N_3O$	113,12	ACROS Organics
Glycine	$C_2H_5NO_2$	75,07	ACROS Organics
Histidine	$C_6H_9N_3O_2$	155,15	ACROS Organics
Arginine	$C_6H_{14}N_4O_2$	174,2	ACROS Organics
Uric acid	$C_5H_4N_4O_3$	168,11	ACROS Organics
Hippuric acid	$C_9H_9NO_3$	179,17	ACROS Organics
Citric acid	$C_6H_8O_7$	192,12	ACROS Organics

In the second stage, solutions of inorganic precursors (NO_3^-, NO_2^-, NH_3), which concentrations were 50 mg/dm^3, were prepared. In analogy to the first stage, model solutions were tested with the modified test of the by-products formation potential, adapted after Włodyka-Bergier et al. (2017). Fig. 1 shows a schematic diagram of the experiment for the reactivity of body fluid components. Fig. 2 shows a schematic diagram for the reactivity of inorganic compounds.

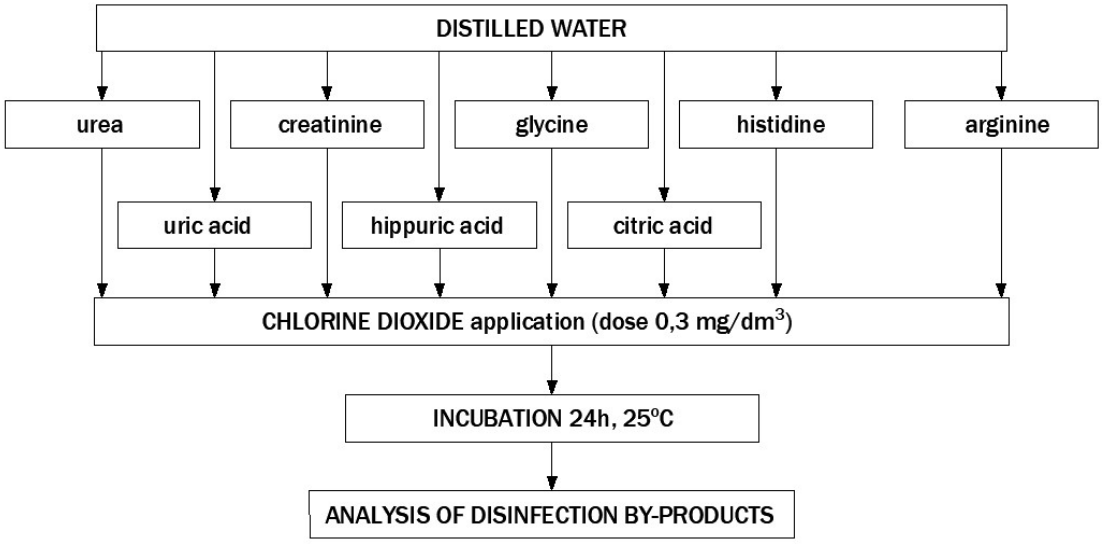


Fig. 1. The schematic diagram of the first stage of research

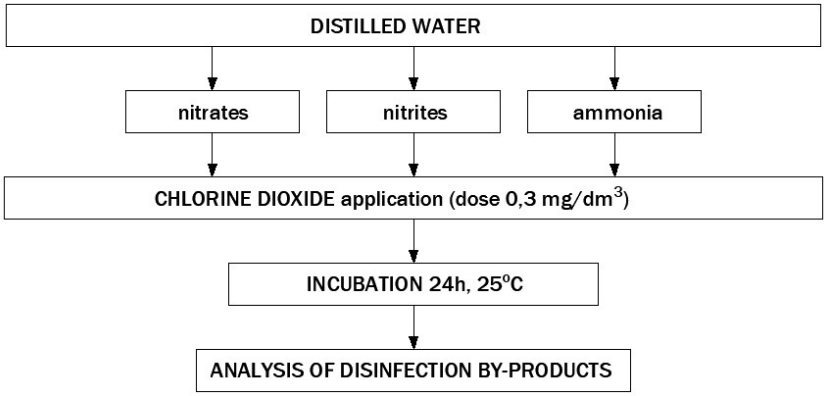


Fig. 2. The schematic diagram of the second stage of research

The realization of the third stage required a fractionation of organic matter from the samples taken from swimming pool water. The obtained fractions of compounds in a dissolved and undissolved form were also tested with the modified test of the chlorate and chlorite formation potential. Their concentrations were measured using the iodometric titration method. For fractionated organic matter, the sample of water (5 dm^3) taken from the AGH Swimming Pool in Cracow was used. The fractionation of matter into dissolved and undissolved fractions consisted in filtration the matter through the distilled water-washed nitrocellulose filter from Merck Millipore with a pore size of 0.45 μm. After the sample filtration, the filtrate and solid contaminations (remaining on the filter) were obtained. Then they were distributed in 5 dm^3 of the distilled water.

3. Results and discussion

Fig. 3 presents the potential of body fluid analogues (BFA) to form the sum of chlorate and chlorite.

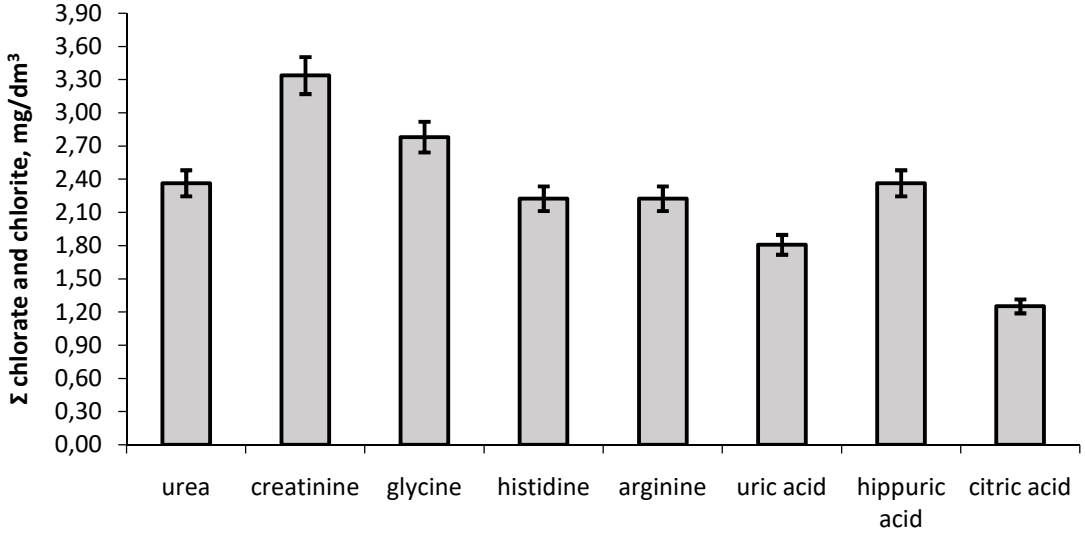


Fig. 3. The potential of BFA to form the sum of chlorate and chlorite (in samples of redistilled water with the addition of BFA after 24 h incubation at 25°C)

The analysis of the graph in Fig. 3 shows that creatinine has the highest reactivity of the formation of chlorate and chlorite. The smallest reactivity has citric acid. In the sample with creatinine, the potential for chlorate and chlorite formation reached quite a high value of 3.34 mg/dm^3. As can be observed by analyzing the obtained results, the majority of BFA have a relatively similar reactivity of the formation of chlorate and chlorite. At this point, it is worth emphasizing that in swimming pool water the highest concentration is reached by urea (in comparison with other organic components of BFA). In fact, urea can have a real impact on the formation of chlorate and chlorite in swimming pool water (Włodyka-Bergier 2016). As a precursor of the formation of chlorate and chlorite among the analyzed analogues, it took the third place together with hippuric acid. As already mentioned, higher concentration of chlorate was observed only in case of creatinine and glycine.

Chlorine dioxide is considered as a disinfectant characterized by poor reactivity to organic matter (Michalski, Łyko 2012). However, the above results showed, that its reactivity to the selected BFA is not as low as initially expected.

Fig. 4 presents the potential of inorganic ions to form the sum of chlorate and chlorite.

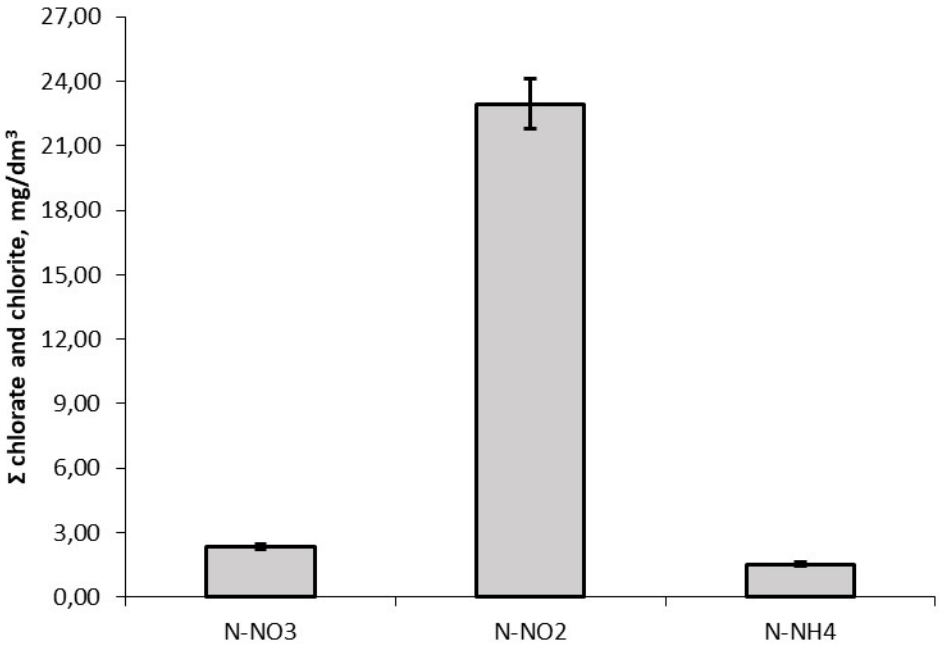


Fig. 4. The potential of inorganic ions (in samples of redistilled water with the addition of inorganic ions after 24 h incubation at 25^{o}C) to form the sum of chlorate and chlorite

The analysis of the graph in Fig. 4 shows the highest reactivity of nitrite ions to the formation of chlorate and chlorite. The concentration of these ions was as high as 22,9 mg/dm^3. In case of nitrate ions, the concentration of chlorate and chlorite was recorded at only 2,36 mg/dm^3. Ammonium ions showed the lowest reactivity – the concentration of chlorate and chlorite was only 1,53 mg/dm^3. The relatively high value of its concentration for

the precursor which is the nitrite ion confirms the high reactivity of chlorine dioxide in relation to the inorganic matter present in swimming pool water. Nevertheless, it is worth noting that nitrite ions, as an indirect form of occurrence between ammonia and nitrates, occur in swimming pool water practically in undetectable amounts. Therefore, in the real swimming pool conditions, these ions should certainly not be considered as the main precursors of chlorate and chlorite.

Fig. 5 shows the results of research on the formation of chlorate and chlorite from separated organic matter fractions. The graph presents the concentration of analyzed by-products in swimming pool water and in separated fractions: dissolved and undissolved compounds.

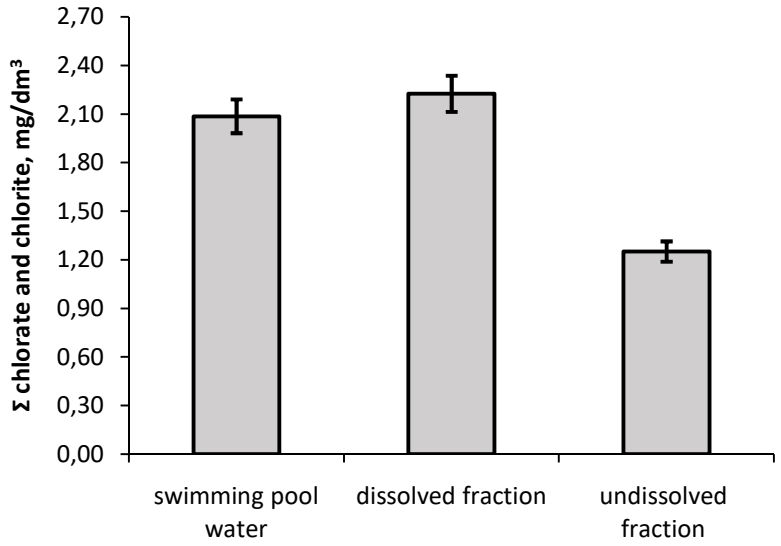


Fig. 5. The potential of dissolved and undissolved fraction in samples of swimming pool water, after 24 h incubation at 25°C, to form the sum of chlorate and chlorite

Analyzing the graph presented in Fig. 5, one can observe that fractions of contaminants of dissolved organic matter separated from swimming pool water showed the highest potential for chlorate and chlorite formation, amounting to 2,23 mg/dm^3. A slightly lower concentration of these by-products was determined in swimming pool water sample that was not fractionated. Then, looking at the obtained results, it can be concluded that the precursors occurred in the undissolved fraction of swimming pool water are characterized by the lowest reactivity, practically 44% lower in comparison with the reactivity of the dissolved fraction. Dissolved compounds are introduced to swimming pool water with bathers in the largest amount (Włodyka-Bergier 2016). Therefore, they will have the greatest impact on the amount of chlorate and chlorite produced.

Undoubtedly, the problem of chlorate and chlorite formation in swimming pool water is important. Therefore, the need to monitor these compounds in swimming pool water seems to be obvious (Michalski, Mathews 2007). Literature reports indicate that the first research, which focused on the concentration of chlorate in swimming pool water, took place in 1980 in Miami. Their average concentration was 16 mg/dm^3 (Chowdhurry et al. 2014). The research conducted by the Institute of Fundamental Environmental Engineering of the PAN in Zabrze in Poland, confirmed the presence of these compounds in swimming pool water, moreover indicating that these waters can be characterized by particularly high concentrations of chlorate (Michalski 2007). The chlorite in swimming pool water are unstable and tend to decompose into chlorate. Once formed chlorate tend to accumulate in water. They cannot be removed during treatment, because most filters are unable to stop them. In addition, these compounds are not volatile, which eliminates the possibility of their evaporation into the air (Righi et al. 2014).

The reality of the analyzed issue and the abundance of sources of these inorganic by-products, resulted in the beginning of works which aim is to find methods of effectively removing them from the water. Two strategies are recommended to minimize the initial chlorite concentration in water. First of all, it is quite obvious a control of the treatment process, which reduces the disinfectant demand. Another solution is to control the ClO_2 production process (Guildelines for Canadian Drinking Water 2014). The main technique to control and reduce chlorite concentration in water is based on the reduction of chlorite to chlorides. The compounds responsible for this reduction are sulfur (IV) compounds, e.g. sulfur dioxide or sulfites, and iron (II) compounds. The adsorption on activated carbon can also be used to remove chlorite ions (Nawrocki 2005). The chlorate ions found in water are very stable and therefore extremely difficult to remove. At present, no practical and economical methods are known that would allow to remove these ions after formation in water (Guildelines for Canadian Drinking Water 2014). The only literature reports about these ions suggest the possibility of their removal by using properly prepared activated carbon, iron salt and biological methods (Michalski et al. 2012).

4. Conclusions

This work has contributed to the identification of potential precursors which are responsible for the formation of chlorate and chlorite in swimming pool water. The results demonstrated that creatinine can be considered as the strongest precursor of chlorate and chlorite formation among body fluid analog components. The potential for creating these disinfection by-products by creatinine was 3,30 mg/dm^3. A slightly weaker precursor turned

out to be urea for which the potential for chlorate and chlorite formation was 2,36 mg/dm^3. Due to the fact that urea, in comparison with other organic components of human body secretions, is present in swimming pool water in the largest amounts, it may have the most important influence on the formation of chlorate and chlorite under real swimming pool water conditions. Experiments in pure aqueous inorganic solutions revealed that chlorine dioxide is characterized by high reactivity to inorganic matter, which can be confirmed in the available literature. It turned out that compounds in a dissolved form, introduced in the largest amounts by bathers, are stronger precursors of the formation of chlorate and chlorite in comparison with pollution in the undissolved form.

5. References

Chowdhury S., Alhooshani K., Karanfil T., 2014. Disinfection by-products in swimming pool: occurences, implications and future needs. Water Research 53, 68-109.

Ferretti E., Fantuzzi G., Spica V., Caroli S., Bonodonna L., 2013. Fifth International Conference Swimming Pool & Spa. Italian Institute of Health and University of Rome Foro Italico. Rome, April 9-12, Abstract book.

Guidelines for Canadian Drinking Water Quality: Guideline Technical Document – Chlorite and Chlorate, 2014. Publications – Healthy living. https://www.canada.ca/en/health-canada/services/publications/healthy-living/guidelines-canadian-drinking-water-quality-guideline-technical-document-chlorite-chlorate/page-3-guidelines-canadian-drinking-water-quality-guideline-technical-document-chlorite-chlorate.html [dostęp: 08.01.2018r.].

IARC, 2012. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 101, Some Chemicals Present in Industrial and Consumer Products, Food and Drinking-water, Lyon.

Kim D., Ates N., Bekaroglu S.S., Selbes M., Karanfil T., 2017. Impact of combining chlorine dioxide and chlorine on DBP formation in simulated indoor swimming pools. Journal of Environmental Sciences 58, 155-162.

Michalski R., 2007. Bromiany (V), chlorany (III) i chlorany (V) w wodach basenów kąpielowych. Laboratorium 10, 19-22.

Michalski R., Łyko A., 2012. Uboczne nieorganiczne produkty dezynfekcji wody. Problemy i wyzwania. Inżynieria i Ochrona Środowiska t. 15, 4, 353-364.

Michalski R., Łyko A., Jabłońska M., Szopa S., 2012. Uboczne nieorganiczne produkty dezynfekcji wód. Analityki 1, 45-48.

Michalski R., Mathews B., 2007. Occurence of Chlorite, Chlorate and Bromate in Disinfected Swimming Pool Water. Polish J. of Environ. Stud. Vol. 16, No. 2, 237-241.

Nawrocki J., 2005. Uboczne produkty utleniania i dezynfekcji wody – doświadczenia z ostatnich 30 lat. Ochrona Środowiska 4, 3-12.

Nawrocki J., Biłozora S., 2000. Uzdatnianie wody. Procesy chemiczne i biologiczne. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa – Poznań.

Righi E., Fantuzzi G., Predieri G., Aggazzotti G., 2014. Bromate, chlorite, chlorate, haloacetic acids, and trihalomethanes occurrence in indoor swimming pool waters in Italy. Microchemical Journal 113, 23-29.

WHO, 2006. Guidelines for safe recreational water environments. Vol.2: Swimming pools and similar environments. World Health Organization, Geneva.

Włodyka-Bergier A., 2016. Rozprawy, Monografie. Wpływ promieniowania UV_{254} na powstawanie halogenowych organicznych ubocznych produktów dezynfekcji w wodzie basenowej. Wydawnictwo AGH, Kraków.

Włodyka-Bergier A., Bergier T., Grygar M., 2017. Wykorzystanie złoża zeolitowego do usuwania azotowych organicznych prekursorów tworzenia chloramin z wody basenowej. I Konferencja Naukowo-Techniczna Dezynfekcja wody – Zagrożenia – Wyzwania – Nowe Technologie, Kraków, 215-224.

Wyczarska-Kokot J., 2013. Nowoczesne i innowacyjne technologie oczyszczania wody basenowej (cz.4). Rynek Instalacyjny 1-2. http://www.rynekinstalacyjny.pl/artykul/id3543, nowoczesne – i - innowacyjne – technologie – oczyszczania -wody- basenowej – cz - 4 [dostęp: 07.01.2018r.].

Konwersja przestrzeni barw RGB na CMYK

Anna Gałuszka [(1)]

[1] Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej
Anna Gałuszka: annamaria.galuszka@gmail.com

Streszczenie
W niniejszej pracy przedstawiono, czym są przestrzenie barw CMYK (subtraktywna) oraz RGB (addytywna), genezę nazewnictwa oraz ich szczegółowe specyfikacje. Ponadto wskazano na zastosowanie w praktycewyżej wymienionych przestrzeni barw. Zaprezentowano również dwie metody konwersji kolorów z trybu RGB na CMYK poprzez reprezentację zarówno matematyczną jak i wizualną. Porównano wyniki otrzymane każdym ze sposobów i wyciągnięto wynikające z przeprowadzonych badań wnioski. Wskazano najlepszy sposób konwersji kolorów z przestrzeni barw RGB na przestrzeń barw CMYK. Przygotowanie projektu w przestrzeni barw CMYK od dawna jest bolączką wielu początkujących designerów.Celem pracy było, więc wyjaśnienie potrzeby stosowania tego zabiegu przy projektach przeznaczonych do druku na podstawie działania drukarek atramentowych i laserowych.

Słowa kluczowe: poligrafia, druk, CMYK, RGB, konwersja

Conversion of the RGB color space to CMYK

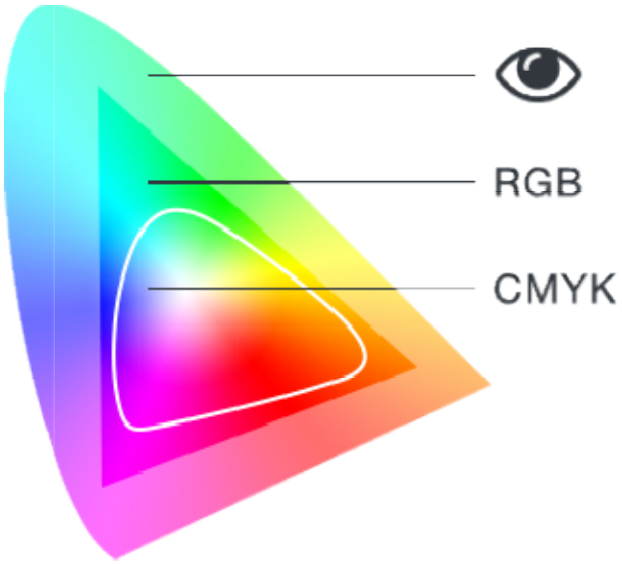
Summary
This article describes what are the CMYK (subtractive) and RGB (additive) color spaces, the genesis of names and their detailed specificationsIn addition, the above-mentioned color spaces have been used in practice. Two methods of color conversion from RGB to CMYK mode were also presented through both mathematical and visual representations. The results obtained in each of the methods were compared and the conclusions drawn from the research were drawn. The best way to convert colors from the RGB color space to the CMYK color space is indicated.Preparing the project in the CMYK color space has long been a pain for many aspiring designers. The purpose of the work was to explain the need for this procedure for projects designed for printing based on the operation of inkjet and laser printers.

Key words: print, CMYK, RGB, conversion

1. Wstęp

Postępujący proces rozpowszechniania się darmowego oprogramowania umożliwiającego projektowanie graficzne skutkuje coraz większą ilością osób zainteresowanych tą dziedziną.Jedną z największych bolączek wszystkich poczatkujących designerów jest konieczność przygotowania plików do druku w przestrzeni barw CMYK. Wróćmy jednak do podstawy. Czym jest przestrzeń barw? To nic innego jak widma fal elektromagnetycznych z zakresu od 380 do 780 nm, których matematyczne modele są przedstawiane w trójwymiarowej postaci.Model koloru jest natomiast matematycznym systemem opisu koloru w przestrzeni parametrów, w specyficznym układzie współrzędnych reprezentującym wszystkie barwy widoczne dla człowieka.Wykres trójchromatyczności pozwala na zaprezentowanie za pomocą dwóch współrzędnych (x,y) wybranego odcienia barwy.Zakreślony w obrębie układu współrzędnych trójkąt pozwala natomiast na określenie, które kolory należą do konkretnej przestrzeni barw. Nazywamy go gamutem (rys. 1) -

znajdujące się w nim barwy są możliwe do uzyskania dzięki łączeniu barw znajdujących się na wierzchołkach trójkąta.

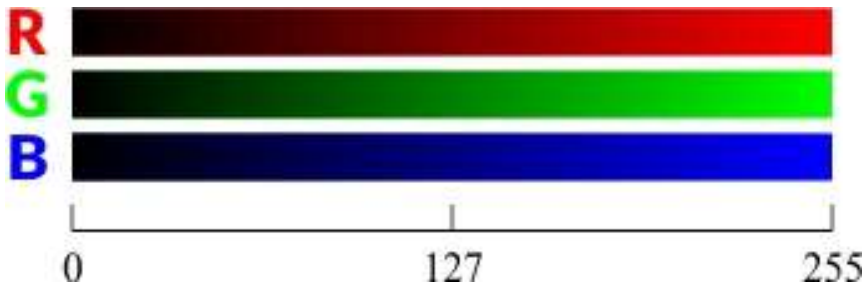


Rys. 1. Uproszczony wykres trójchromatyczności ("Color-gamut". Licensed under Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International license via Wikimedia Commons)

2. Przestrzeń barw RGB

Zaczniemy od najpopularniejszej przestrzeni barw - RGB. W świecie wszechotaczających nas wyświetlaczy - monitorów, telewizorów, tabletów czy smartfonów, widok niezliczonej ilości kolorów na ekranach jest dla nas czymś naturalnym.

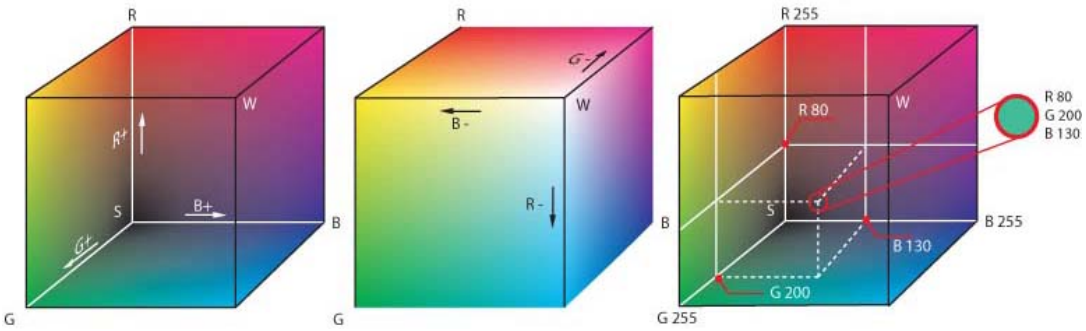
Skąd wzięła się nazwa modelu RGB?Jest to skrót utworzony od angielskich nazw kolorów tworzących podstawę tego modelu - Red (czerwony), Green (zielony) oraz Blue (niebieski). W przestrzeni RGB ma zastosowanie synteza addytywna - zjawisko mieszania barw poprzez sumowanie wiązek światła widzialnego różnych długości. Efektywność działania tej przestrzeni barw wynika z atrybutów biologicznych ludzkiego oka, które odbiera wrażenie widzenia dowolnych kolorów poprzez połączenie w ustalonych proporcjach wiązek światła o trzech w/w kolorach.



Rys. 2. Reprezentacja wizualna modelu barw RGB (opracowanie własne)

Powszechnie spotykany jest 24-bitowy zapis kolorów, w przypadku, którego każda z barw określona jest za pomocą składowych, przyjmujących wartości z zakresu od 0 do 255. Aby

zobrazować tę przestrzeń barw wykorzystuje się sześcian. Każdy z jego boków reprezentuje poszczególną składową barw (rys. 3).



Rys. 3. Reprezentacja wizualna trójwymiarowego modelu barw RGB ("RGB farbwuerfel". Licensed under Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 via Wikimedia Commons)

Przestrzeń barw RGB znajduje szerokie zastosowanie zarówno w cyfrowych urządzeniach analizujących obraz takich jak aparaty fotograficzne, skanery czy kamery, a także w wyżej wspomnianych różnorakich wyświetlaczach. W przypadku tych ostatnich na każdy piksel składają się trzy subpiksele - jeden świecący na czerwono, drugi na zielono i trzeci na niebiesko.

Jednocząc ze sobą barwę czerwoną, zieloną i niebieską w zależności od ich proporcji, jesteśmy w stanie uzyskać ponad 16 milionów kolorów. Przykładowo z połączenia barwy czerwonej i niebieskiej otrzymamy fiolet [R255, G0, B255], a łącząc czerwień z zielenią uzyskamy kolor żółty [R255, G255, B0]. Im wyższa jest suma składowych kolorów tym kolor jest jaśniejszy.Wynikiem nałożenia na siebie wszystkich trzech barw jest biel [R255,G255,B255], a w przypadku ich braku zaobserwujemy głęboką czerń [R0,G0,B0].

W języku cyfrowym model RGB opisujemy w systemie hexadecymalnym (szesnastkowym). Taką reprezentację otwiera znak "#", po którym następują trzy pary znaków. Każda z nich opisuje kolejno barwę czerwoną, zieloną i niebieską w zakresie od 00 (w systemie dziesiętnym 0) do FF (w systemie dziesiętnym 255). Przykłady znajdują się w Tab. 2. Kody te używane są najczęściej do określania kolorów przy projektowaniu witryn internetowych.

Należy pamiętać, że odwzorowanie modelu RGB zależy w głównej mierze od urządzenia. Oznacza to, że w zależności od konkretnego modelu sprzętu każda z barw składowych może być w nieco inny sposób odbierana przez ludzkie oko.

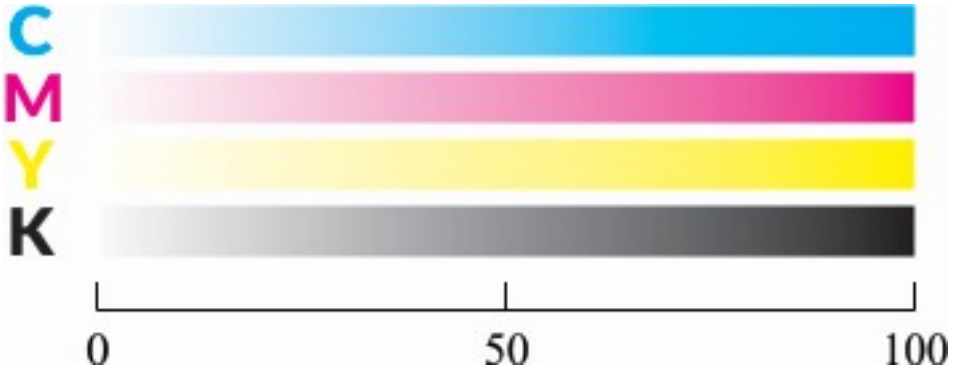
Przestrzeni barw RGB używamy do tworzenia projektów graficznych na potrzeby wyświetlania ich na wszelakich ekranach, są to np. banery na strony www, grafiki do użytku w social media, userinterface czy ikony.

Najczęściej używanymi rozszerzeniami plików o przestrzeni barw RGB są PNG, JPEG, TIFF, GIF.

3. Przestrzeń barw CMYK

Podobnie jak w przypadku modelu barw RGB, nazwa palety kolorów CMYK jest skrótem od angielskich nazw kolorów tworzących podstawę tego modelu - Cyan, Magenta, Yellow (żółty) i K od Black (czarny). Skrótem od barwy czarnej (Black) nie jest B z tego względu, że litera ta została już wcześniej przypisana do koloru niebieskiego (Blue) w modelu barw RGB.

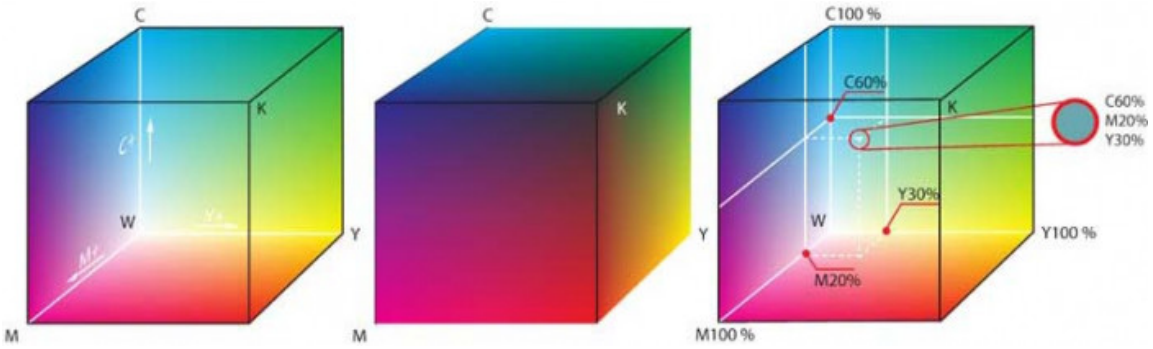
Paleta barw CMYK sprawdza się jedynie na potrzeby przemysłu poligraficznego. W tym przypadku mamy, więc do czynienia ze światłem odbitym (w przeciwieństwie do modelu RGB, gdzie była mowa o świetle świecącym). Teoretycznie jest możliwe uzyskanie koloru czarnego poprzez zsumowanie barw cyjan, magenta i żółty, lecz w praktyce efektem takiego połączenia jest bury kolor brązowy. Z tego względu ostatni kolor - K (czarny) został dołożony do palety dodatkowo. Kolejną kwestią były względy ekonomiczne - uzyskanie koloru czarnego poprzez użycie jednej farby jest o wiele tańsze niż użycie w tym celu trzech osobnych farb. Ponadto czas schnięcia trzech farb o natężeniu 100% byłby znacznie dłuższy, niż w przypadku pojedynczej warstwy barwnika.



Rys. 4. Reprezentacja wizualna modelu barw CMYK (opracowanie własne)

W palecie barw CMYK barwy wynikowe uzyskuje się poprzez łączenie barw podstawowych w proporcjach od 0-100%. Farby drukarskie to barwniki przepuszczające światło. Łączy się je, więc metodą nakładania warstwami. Otrzymana barwa może mieć od 0% (biel; Cyjan 0%, Magenta 0%, Yellow 0%, Black 0%) do 400% kolorów składowych (głęboka czerń; Cyjan 100%, Magenta 100%, Yellow 100%, Black 100%). W uproszczeniu możemy przyjąć, że uzyskiwanie kolorów w przestrzeni CMYK podobne jest do tego w przypadku użycia kolorowych półprzezroczystych kawałków plexi. W przestrzeni CMYK ma zastosowanie synteza subtraktywna - zjawisko mieszania barw poprzez odejmowanie wiązek światła widzialnego różnych długości. Aby zobrazować tę przestrzeń barw również

wykorzystuje się sześcian. Każdy z jego boków reprezentuje poszczególną składową barw (rys. 5).



Rys. 5. Reprezentacja wizualna trójwymiarowego modelu barw CMYK ("CMYK farbwuerfel". Licensed under Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 via Wikimedia Commons)

Technologia poligraficzna nie pozwala na nakładanie poszczególnych kolorów CMYK w rozcieńczeniu. Druk odbywa się metodą rastra tj. drukowania drobnych wzorów złożonych z niewielkich punktów (widzialnych pod lupą) posiadających 100% koloru. Punkty te w zależności od pożądanego przez nas efektu są różnej wielkości lub gęstości.Im większa wartość procentowa danej składowej tym wzór jest pełniejszy. W przybliżeniu dla wartości 50% wzór przyjmuje postać szachownicy. Dla 0% efektem wyjściowym będzie obszar zupełnie niezadrukowany, a dla Yellow 100% będzie on w całości zadrukowany na kolor żółty.

Standardową kolejnością nanoszenia barw jest Yellow, Magenta, Cyjan i na końcu Black. Ze względu na wyżej wspomnianą półtransparentność atramentu, po naniesieniu na pierwszą warstwę koloru kolejnych, widoczna będzie dla nas barwa wynikowa.Przykładowo, aby uzyskać kolor czerwony w modelu CMYK należy wykorzystać kolor żółty oraz magenta (Cyjan 0%, Magenta 100%, Yellow 100%, Black 0%).

4. Konwersja przestrzeni barw RGB na CMYK

Konwersji przestrzeni barw RGB na CMYK możemy dokonać na kilka sposobów. Zamiana ta niestety nigdy nie odbywa się bezstratnie i zawsze wiąże się z obcięciem części skali kolorystycznej oraz zmianami pozostałych wartości barwnych. Działanie zarówno poniższych algorytmów jak i tych stosowanych w profesjonalnych narzędziach dla grafików, możemy ulepszyć i dostosować do własnych preferencji poprzez zabiegi między innymi takie jak:

- Manualna edycja nasycenia poszczególnych barw
- Manewrowanie wskaźnikami kontrastu i jasności
- Modyfikacja wskaźnikiem krzywych kolorów
- Modyfikacja poziomów kolorów

Jednym ze sposobów konwersji kolorów z modelu kolorów RGB na CMYK jest przedstawiony poniżej algorytm działania, w którym:

- W pierwszej kolejności wartości barw Red (czerwony), Green (zielony), Blue (niebieski) muszą zostać podzielone przez 255, aby zmienić ich zakres z <0:255> na <0,1>

$$Red' = \frac{Red}{255}$$ $gdzie$: $Red - wartość\ koloru\ czerwonego\ z\ zakresu\ <0:255>$, $Red' - wartość\ koloru\ czerwonego\ z\ zakresu\ <0:1>$.	(1)
$$Green' = \frac{Green}{255}$$ $gdzie$: $Green - wartość\ koloru\ zielonego\ z\ zakresu\ <0:255>$, $Green' -$ wartość koloru zielonego $z\ zakresu\ <0:1>$.	(2)
$$Blue' = \frac{Blue}{255}$$ $gdzie$: $Blue - wartość\ koloru\ niebieskiego\ z\ zakresu\ <0:255>$, $Blue' -$ wartość koloru niebieskiego $z\ zakresu\ <0:1>$.	(3)

- Kolor czarny (Black) opisuje się wzorem:

$$Black = 1 - max\{Red', Green', Blue'\}$$ $gdzie$: $Black - wartość\ koloru\ czarnego\ z\ zakresu\ <0:1>$. $Red' - wartość\ koloru\ czerwonego\ z\ zakresu\ <0:1>$, $wyliczona\ z\ równania\ (1)$. $Green' - wartość\ koloru\ zielonego\ z\ zakresu\ <0:1>$, $wyliczona\ z\ równania\ (2)$. $Blue' - wartość\ koloru\ niebieskiego\ z\ zakresu\ <0:1>$, $wyliczona\ z\ równania\ (3)$.	(4)

- Kolor cyjanowy (Cyan) opisuje się wzorem:

$$Cyan = \frac{1 - Red' - Black}{1 - Black}$$ $gdzie$: $Cyan - wartość\ koloru\ cyjanowego\ z\ zakresu\ <0:1>$. $Black - wartość\ koloruczarnegozzakresu <0:1>$, $wyliczonazrównania\ (4)$. $Red' - wartość\ koloru\ czerwonego\ z\ zakresu\ <0:1>$, $wyliczona\ z\ równania\ (1)$.	(5)

- Kolor magenta (Magenta) opisuje się wzorem:

$$Magenta = \frac{1 - Green' - Black}{1 - Black} \quad (6)$$

$gdzie$:
$Magenta - wartość\ koloru\ magenta\ z\ zakresu < 0:1 >.$
$Black - wartość\ koloruczarnegozzakresu < 0:1 >,$
$wyliczonazrównania(4).$
$Green' - wartość\ koloru\ zielonego\ z\ zakresu < 0:1 >,$
$wyliczona\ z\ równania\ (2).$

- Kolor żółty (Yellow) opisuje się wzorem:

$$Yellow = \frac{1 - Blue' - Black}{1 - Black} \quad (7)$$

$gdzie$:
$Yellow - wartość\ koloru\ żółtego\ z\ zakresu < 0:1 >.$
$Black - wartość\ koloruczarnegozzakresu < 0:1 >,$
$wyliczonazrównania\ (4).$
$Blue' - wartość\ koloru\ niebieskiego\ z\ zakresu < 0:1 >,$
$wyliczona\ z\ równania\ (3).$

Drugim sposobem na dokonanie tej samej konwersji jest zastosowanie innego algorytmu, w którym:

- Kolor czarny (black) opisuje się wzorem:

$$black = Min\{1.0 - \frac{red}{255.0}, Min\{1.0 - \frac{green}{255.0}, 1.0 - \frac{blue}{255.0}\}\} \quad (8)$$

$gdzie$:
$black - war\square ość\ koloru\ czarnego\ z\ zakresu < 0:1 >,$
$red - wartość\ koloru\ czerwonego\ z\ zakresu < 0:255 >,$
$green - wartość\ koloru\ zielonego\ z\ zakresu < 0:255 >,$
$blue - wartość\ koloru\ niebieskiego\ z\ zakresu < 0:255 >.$

- Kolor cyjanowy (cyan) opisuje się wzorem:

$$\text{cyan} = \frac{1.0 - \frac{red}{255.0} - black}{1.0 - black} \quad (9)$$

$gdzie$:
$cyan - wartość\ koloru\ cyjanowego\ z\ zakresu < 0:1 >,$
$black - wartość\ koloru\ czarnego\ zzakresu < 0:1 >,$
$wyliczonazrównania(8),$
$red - wartość\ koloru\ czerwonego\ z\ zakresu < 0:255 >.$

- Kolor magenta (magenta) opisuje się wzorem:

$$\text{magenta} = \frac{1.0 - \frac{green}{255.0} - black}{1.0 - black} \quad (10)$$

$gdzie$:
$magenta - wartość\ koloru\ magenta\ z\ zakresu < 0:1 >,$
$black - wartość\ koloru\ czarnego\ zzakresu < 0:1 >,$
$wyliczonazrównania\ (8),$
$green - wartość\ koloruzielonegozzakresu < 0:255 >.$

- Kolor żółty (yellow) opisuje się wzorem:

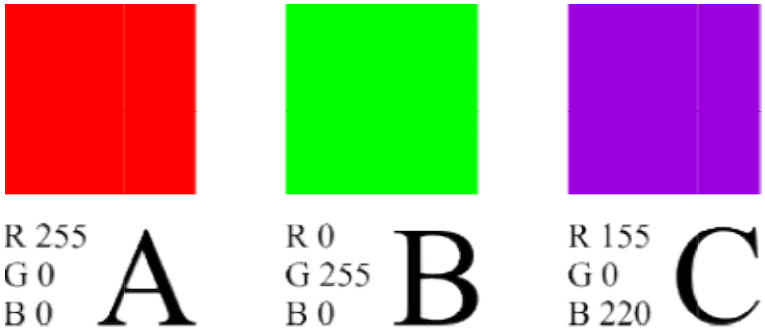
$$\text{yellow} = \frac{1.0 - \frac{blue}{255.0} - black}{1.0 - black} \quad (11)$$

$gdzie$:
$yellow - wartość\ koloru\ żółtego\ z\ zakresu < 0:1 >$,
$black - wartość\ koloru\ czarnego\ zzakresu < 0:1 >$,
$wyliczonazrównania\ (8)$,
$blue - wartość\ koloruniebieskie\square ozzakresu < 0:255 >$.

Możemy łatwo zauważyć, że oba algorytmy różni jedynie sposób wyliczenia wartości procentowej barwy czarnej - fundamentalnej dla obu toków obliczeń.

6. Porównanie wyników działania algorytmów z rozdziału 5

Aby zaprezentować różnice efektów działania algorytmów opisanych w rozdziale 5, wykonamy konwersję za pomocy obu algorytmów dla kolorów wejściowych A (R 255, G 0, B 0), B (R 0, G 255, B 0) i C (R 155, G 0, B 220). Ich reprezentację wizualną możemy zobaczyć na rys.6.



Rys. 6. Prezentacja graficzna kolorów wejściowych A, B, C (opracowanie własne)

- Konwersja z wykorzystaniem algorytmu I – obliczenia

1. Dla koloru A (R 255, G 0, B 0):

   Ze wzoru (1) obliczamy wartość zmiennej Red':

$$Red' = \frac{Red}{255} = \frac{255}{255} = 1.$$

   Ze wzoru (2) obliczamy wartość zmiennej Green':

$$Green' = \frac{Green}{255} = \frac{0}{255} = 0.$$

   Ze wzoru (3) obliczamy wartość zmiennej Blue':

$$Blue' = \frac{Blue}{255} = \frac{0}{255} = 0.$$

   Ze wzoru (4) obliczamy ilość barwy czarnej:

$$Black = 1 - max\{Red', Green', Blue'\} =$$
$$= 1 - \max\{1, 0, 0\} = 1 - 1 = 0,$$

$$0 * 100\% = 0\%.$$

Ze wzoru (5) obliczamy ilość barwy cyjanowej:

$$Cyan = \frac{1 - Red' - Black}{1 - Black} = \frac{1 - 1 - 0}{1 - 0} = 0,$$

$$0 * 100\% = 0\%.$$

Ze wzoru (6) obliczamy ilość barwy magenta:

$$Magenta = \frac{1 - Green' - Black}{1 - Black} = \frac{1 - 0 - 0}{1 - 0} = 1,$$

$$1 * 100\% = 100\%.$$

Ze wzoru (7) obliczamy ilość barwy żółtej:

$$Yellow = \frac{1 - Blue' - Black}{1 - Black} = \frac{1 - 0 - 0}{1 - 0} = 1,$$

$$1 * 100\% = 100\%.$$

Wynikiem konwersji koloru A (R 255, G 0, B 0) z palety barw RGB na CMYK jest kolor o wartościach składowych C 0%, M 100%, Y 100%, K 0%.

2. Dla koloru B (R 0, G 255, B 0):

Ze wzoru (1) obliczamy wartość zmiennej Red':

$$Red' = \frac{Red}{255} = \frac{0}{255} = 0.$$

Ze wzoru (2) obliczamy wartość zmiennej Green':

$$Green' = \frac{Green}{255} = \frac{255}{255} = 1.$$

Ze wzoru (3) obliczamy wartość zmiennej Blue':

$$Blue' = \frac{Blue}{255} = \frac{0}{255} = 0.$$

Ze wzoru (4) obliczamy ilość barwy czarnej:

$$Black = 1 - max\{Red', Green', Blue'\} =$$

$$= 1 - \max\{0, 1, 0\} = 1 - 1 = 0,$$

$$0 * 100\% = 0\%.$$

Ze wzoru (5) obliczamy ilość barwy cyjanowej:

$$Cyan = \frac{1 - Red' - Black}{1 - Black} = \frac{1 - 0 - 0}{1 - 0} = 1,$$

$$1 * 100\% = 100\%.$$

Ze wzoru (6) obliczamy ilość barwy magenta:

$$Magenta = \frac{1 - Green' - Black}{1 - Black} = \frac{1 - 1 - 0}{1 - 0} = 0,$$

$$0 * 100\% = 0\%.$$

Ze wzoru (7) obliczamy ilość barwy żółtej:

$$Yellow = \frac{1-Blu'-Blac}{1-Black} = \frac{1-0-0}{1-0} = 1,$$

$$1 * 100\% = 100\%.$$

Wynikiem konwersji koloru B (R 0, G 255, B 0) z palety barw RGB na CMYK jest kolor o wartościach składowych C 100%, M 0%, Y 100%, K 0%.

3. Dla koloru C (R 155, G 0, B 220):

Ze wzoru (1) obliczamy wartość zmiennej Red':

$$Red' = \frac{Red}{255} = \frac{155}{255} = \frac{31}{51}.$$

Ze wzoru (2) obliczamy wartość zmiennej Green':

$$Green' = \frac{Green}{255} = \frac{0}{255} = 0.$$

Ze wzoru (3) obliczamy wartość zmiennej Blue':

$$Blue' = \frac{Blue}{255} = \frac{220}{255} = \frac{44}{51}.$$

Ze wzoru (4) obliczamy ilość barwy czarnej:

$$Black = 1 - max\{Red', Green', Blue'\} =$$

$$= 1 - \max\left\{\frac{31}{51}, 0, \frac{44}{51}\right\} = 1 - \frac{44}{51} = \frac{7}{51},$$

$$\frac{7}{51} * 100\% \cong 14\%.$$

Ze wzoru (5) obliczamy ilość barwy cyjanowej:

$$Cyan = \frac{1 - \frac{31}{51} - \frac{7}{51}}{1 - \frac{7}{51}} = \frac{\frac{27}{51}}{\frac{44}{51}} = \frac{27}{44},$$

$$\frac{27}{44} * 100\% \cong 61\%.$$

Ze wzoru (6) obliczamy ilość barwy magenta:

$$Magenta = \frac{1 - Green' - Black}{1 - Black} = \frac{1 - 0 - \frac{7}{51}}{1 - \frac{7}{51}} = \frac{\frac{44}{51}}{\frac{44}{51}} = 1,$$

$$1 * 100\% = 100\%.$$

Ze wzoru (7) obliczamy ilość barwy żółtej:

$$Yellow = \frac{1 - Blue' - Black}{1 - Black} = \frac{1 - \frac{44}{51} - \frac{7}{51}}{1 - \frac{7}{51}} = \frac{1 - 1}{1 - \frac{7}{51}} = \frac{0}{\frac{44}{51}} = 0,$$

$$0 * 100\% = 0\%.$$

Wynikiem konwersji koloru C (R 155, G 0, B 220) z palety barw RGB na CMYK, jest kolor o wartościach składowych C 61%, M 100%, Y 0%, K 14%.

- Konwersja z wykorzystaniem algorytmu II – obliczenia

  1. Dla koloru A (R 255, G 0, B 0):

  Ze wzoru (8) obliczamy ilość barwy czarnej:

$$black = Min\left\{1.0 - \frac{red}{255.0}, Min\left\{1.0 - \frac{green}{255.0}, 1.0 - \frac{blue}{255.0}\right\}\right\} =$$

$$Min\left\{1.0 - \frac{255}{255.0}, Min\left\{1.0 - \frac{0}{255.0}, 1.0 - \frac{0}{255.0}\right\}\right\} = Min\{1.0 - 1.0, Min\{1.0 - 0, 1.0 - 0\}\} = Min\{1.0 - 1.0,\ 1.0\} = Min\{0,\ 1.0\} = 0,$$

$$0 * 100\% = 0\%.$$

  Ze wzoru (9) obliczamy ilość barwy cyjanowej:

$$\text{cyan} = \frac{1.0 - \frac{red}{255.0} - black}{1.0 - black} = \frac{1.0 - \frac{255}{255.0} - 0}{1.0 - 0} = \frac{0}{1.0} = 0,$$

$$0 * 100\% = 0\%.$$

  Ze wzoru (10) obliczamy ilość barwy magenta:

$$\text{magenta} = \frac{1.0 - \frac{green}{255.0} - black}{1.0 - black} = \frac{1.0 - \frac{0}{255.0} - 0}{1.0 - 0} = \frac{1.0}{1.0} = 1,$$

$$1 * 100\% = 100\%.$$

  Ze wzoru (11) obliczamy ilość barwy żółtej:

$$\text{yellow} = \frac{1.0 - \frac{blue}{255.0} - black}{1.0 - black} = \frac{1.0 - \frac{0}{255.0} - 0}{1.0 - 0} = \frac{1.0}{1.0} = 1,$$

$$1 * 100\% = 100\%.$$

  Wynikiem konwersji koloru A (R 255, G 0, B 0) z palety barw RGB na CMYK jest kolor o wartościach składowych C 0%, M 100%, Y 100%, K 0%.

  2. Dla koloru B(R 0, G 255, B 0):

  Ze wzoru (8) obliczamy ilość barwy czarnej:

$$black = Min\left\{1.0 - \frac{red}{255.0}, Min\left\{1.0 - \frac{green}{255.0}, 1.0 - \frac{blue}{255.0}\right\}\right\} =$$

$$Min\left\{1.0 - \frac{0}{255.0}, Min\left\{1.0 - \frac{255}{255.0}, 1.0 - \frac{0}{255.0}\right\}\right\} = Min\{1.0 - 0, Min\{1.0 - 1, 1.0 - 0\}\} = Min\{1.0,\ 0\} = Min\{1.0,\ 0\} = 0,$$

$$0 * 100\% = 0\%.$$

Ze wzoru (9) obliczamy ilość barwy cyjanowej:

$$\text{cyan} = \frac{1.0 - \frac{red}{255.0} - black}{1.0 - black} = \frac{1.0 - \frac{0}{255.0} - 0}{1.0 - 0} = \frac{1.0}{1.0} = 1,$$

$$1 * 100\% = 100\%.$$

Ze wzoru (10) obliczamy ilość barwy magenta:

$$\text{magenta} = \frac{1.0 - \frac{green}{255.0} - black}{1.0 - black} = \frac{1.0 - \frac{255}{255.0} - 0}{1.0 - 0} = \frac{0}{1.0} = 0,$$

$$0 * 100\% = 0\%.$$

Ze wzoru (11) obliczamy ilość barwy żółtej:

$$\text{yellow} = \frac{1.0 - \frac{blue}{255.0} - bla}{1.0 - bla} = \frac{1.0 - \frac{0}{255.0} - 0}{1.0 - 0} = \frac{1.0}{1.0} = 1,$$

$$1 * 100\% = 100\%.$$

Wynikiem konwersji koloru A (R 255, G 0, B 0) z palety barw RGB na CMYK jest kolor o wartościach składowych C 0%, M 100%, Y 100%, K 0%.

3. Dla koloru C (R 155, G 0, B 220):

Ze wzoru (8) obliczamy ilość barwy czarnej:

$$black = Min\left\{1.0 - \frac{red}{255.0}, Min\left\{1.0 - \frac{green}{255.0}, 1.0 - \frac{blue}{255.0}\right\}\right\}$$

$$= Min\left\{1.0 - \frac{155}{255.0}, Min\left\{1.0 - \frac{0}{255.0}, 1.0 - \frac{220}{255.0}\right\}\right\}$$

$$= Min\left\{\frac{100}{255.0}, Min\left\{1.0 - 0, \quad \frac{35}{255.0}\right\}\right\} = Min\left\{\frac{100}{255.0}, \frac{35}{255.0}\right\} = \frac{35}{255.0}$$

$$= \frac{7}{51},$$

$$\frac{7}{51} * 100\% \cong 14\%.$$

Ze wzoru (9) obliczamy ilość barwy cyjanowej:

$$\text{cyan} = \frac{1.0 - \frac{red}{255.0} - black}{1.0 - black} = \frac{1.0 - \frac{155}{255.0} - \frac{35}{255.0}}{1.0 - \frac{35}{255.0}} = \frac{\frac{65}{255.0}}{\frac{220}{255.0}} = \frac{65}{220} = \frac{13}{44},$$

$$\frac{13}{44} * 100\% \cong 30\%.$$

Ze wzoru (10) obliczamy ilość barwy magenta:

$$\text{magenta} = \frac{1.0 - \frac{green}{255.0} - black}{1.0 - black} = \frac{1.0 - \frac{0}{255.0} - \frac{7}{51}}{1.0 - \frac{7}{51}} = \frac{\frac{44}{51}}{\frac{44}{51}} = 1,$$

$$1 * 100\% = 100\%.$$

Ze wzoru (11) obliczamy ilość barwy żółtej:

$$\text{yellow} = \frac{1.0 - \frac{blue}{255.0} - black}{1.0 - black} = \frac{1.0 - \frac{220}{255.0} - \frac{35}{255}}{1.0 - \frac{7}{51}} = \frac{0}{\frac{44}{51}} = 0,$$

$$0 * 100\% = 0\%.$$

Wynikiem konwersji koloru C(R 155, G 0, B 220) z palety barw RGB na CMYK jest kolor o wartościach składowych C 30%, M 100%, Y 0%, K 14%.

Tabela 1. Porównanie wyników konwersji dla algorytmów z rodziału 5 (opracowanie własne)

Kolor początkowy znajdujący się w przestrzeni barw RGB	Kolor po konwersji z wykorzystaniem algorytmu I	Kolor po konwersji z wykorzystaniem algorytmu II	Kolor po konwersji z wykorzystaniem algorytmu I oraz poprawkach manualnych
Kolor A (R 255, G 0, B 0)	C 0%, M 100%, Y 100%, K 0%	C 0%, M 100%, Y 100%, K 0%	C 0%, M 98%, Y 100%, K 0%
Kolor B (R 0, G 255, B 0)	C 100%, M 0%, Y 100%, K 0%	C 0%, M 100%, Y 100%, K 0%	C 0%, M 100%, Y 100%, K 0%
Kolor C (R 155, G 0, B 220)	C 61%, M 100%, Y 0%, K 14%	C 30%, M 100%, Y 0%, K 14%	C 51%, M 88%, Y 0%, K 0%

6. Podsumowanie i wnioski

Istnieje jeden istotny aspekt mający wpływ na niedoskonałość konwersji- w przestrzeni barw CMYK znajduje się o wiele mniej kolorów niż w RGB. Różnice pomiędzy tymi przestrzeniami kolorów są na ogół znaczne, ze względu na ich mocno różniące się gamuty. W efekcie automatycznej konwersji tracimy, więc część informacji o kolorze. Kolory, które widzimy na monitorze (RGB) są intensywne, żywe, nasycone. Kolory po wydruku (CMYK) są nieco przygaszone, mniej nasycone - szczególnie widoczne jest to w przypadku barw niebieskich i zielonych.

W celu precyzyjnego określenia barwy, nie wystarczy jedynie podać jej współrzędnych w danej przestrzeni kolorów, ale również parametry urządzenia, na którym będzie ona reprodukowana - zarówno w przypadku wyświetlaczy jak i drukarek.

Najlepszym rozwiązaniem jest projektowanie danej pracy od samego początku w przestrzeni barw CMYK, co pozwoli nam od razu przewidzieć efekt końcowy wydruku, uniemożliwiając nam użycie kolorów, których drukarnia nie byłaby w stanie odwzorować. W przeciwnym wypadku konwersja i tak będzie miała miejsce, ale przeprowadzi ją za nas drukarka. Odbędzie się to jednak zupełnie poza naszą kontrolą, co może skutkować niezadowoleniem z wydruku, a w najgorszym razie ogromnymi stratami finansowymi związanymi z wyrzuceniem całej partii wydruku.

Najbezpieczniejszym rozwiązaniem z punktu widzenia wyników jest konwersja z przestrzeni barw RGB na CMYK przeprowadzona z użyciem profilu kalibracyjnego odpowiednio charakteryzującego docelowe urządzenie drukujące, wykonana na poprawnie skalibrowanym monitorze. Takie okoliczności pozwolą nam trafniej przewidzieć efekt końcowy, jaki pojawi się na wydruku.

7. Literatura

Beaird J., Goerge J., 2015. Niezawodne zasady web designu. Projektowanie spektakularnych witryn internetowych. Helion, str.: 61-95

Kończak S., 2015. Photoshop dla e-commerce i social media. Helion, str.: 36-43

Gołąb A., 2013. DTP. Od projektu aż po druk. O współpracy grafika z drukarzem. Helion, str.:30-33

Tulibacka A., 2014. Jak tworzone są kolory? O przestrzeniach barw i ich wykorzystaniu. Grafmag, https://grafmag.pl/artykuly/jak-tworzone-sa-kolory-o-przestrzeniach-barw-i-ich-wykorzystaniu na dzień 13.01.2018r.

Tomkowiak Ł., 2012. DTP od podstaw. Zasady przygotowania projektów do druku, Grafmag, https://grafmag.pl/artykuly/dtp-podstawowe-zasady-przygotowania-projektu-do-druku na dzień 13.01.2018r.
http://blog.skalibrujtv.pl/2011/09/gamut-czyli-przestrzen-barw-co-to-wlasciwie-jest/#na dzień 13.01.2018r.
http://blog.michalgosk.com/przestrzen-barw/ na dzień 13.01.2018r.
https://99designs.com/blog/tips/correct-file-formats-rgb-and-cmyk/ na dzień 13.01.2018r.
http://www.psdblog.pl/rozne-formaty-plikow-jak-i-kiedy-je-stosowac/ na dzień 13.01.2018r.
http://www.fizyka.umk.pl/~milosz/PSPiZK/graf/kolor.htmlna dzień 13.01.2018r.

A jeśli kolory to tak naprawdę liczby?

Anna Gałuszka [(1)]

[1] Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Akademia Techniczno–Humanistyczna w Bielsku–Białej
Anna Gałuszka: annamaria.galuszka@gmail.com

Streszczenie
W niniejszej pracy przedstawiono tezę mówiącą o tym, że kolory możemy wyrażać liczbowo w pewien obiektywnie mierzalny sposób. Opisana została historia badań prowadzonych nad naturą fal widzialnych oraz klasyfikacją kolorów poprzez umieszczanie ich w konkretnych przestrzeniach barw. Zawarto odniesienie do aktualnych sposobów na ujednolicenie definiowania poszczególnych wrażeń optycznych odbieranych przez oko ludzkie. Opisano najczęściej spotykany sposób określania kolorów używanych na potrzeby cyfrowe m. in. tworzenia witryn internetowych – heksadecymalną notację RGB. Zaprezentowano różnice pomiędzy reprezentacjami kolorów w przestrzeni barw CMYK i RGB. Zademonstrowano także proces odbioru i przetwarzania koloru w ludzkim organizmie. Celem pracy było potwierdzenie tezy, że widziane przez nas kolory możemy identyfikować, jako liczby określające ilość barw składowych, z których są powstałe. Wskazano argumenty potwierdzające to założenie.

Słowa kluczowe: kolory, liczby, światło, przestrzeń kolorów

What if the colors are really numbers?

Summary
This article describes the thesis that colors can be expressed numerically in a certain objectively measurable manner. The history of research on the nature of electromagnetic radiation within a certain portion of the electromagnetic spectrum and the classification of colors by describing them in specific color spaces has been described. Reference is made to the current methods for unifying the definition of individual optical impressions perceived by the human eye. Described the most common way of determining the colors used for digital purposes, among others creating websites – a hexadecimal RGB notation. Differences between color representations in the CMYK and RGB color space are presented. The process of receiving and processing color in human organism has also been demonstrated. The purpose of the work was to confirm the thesis that the colors we see can be identified as numbers determining the number of component colors from which they are created. The arguments confirming this assumption were indicated.

Key words: colors, numbers, light, color space

1. Wstęp

Kolory otaczają nas w każdej minucie naszego życia — od narodzin, aż do śmierci. Czym więc tak naprawdę są? Każdy organizm posiada indywidualne predyspozycje do rozpoznawania poszczególnych barw. W jaki sposób możemy, więc standaryzować to, co widzimy do postaci, która moglibyśmy przekazywać dalej, wykorzystywać w swoich pracach, stosować do otwartej komunikacji swoich odczuć, opinii i oczekiwań.

Z pomocą przychodzą nam liczby — jednoznaczne dla ludzi na całym globie, uniwersalne w każdym języku i kulturze. Standaryzacja klasyfikacji barw obecnych w przestrzeni życiowej każdego człowieka konieczna była w sytuacji wciąż rosnącego globalizmu, aby uniknąć konfliktów interesów spowodowanych błędami w komunikacji. Szczególnym przypadkiem są ludzie obarczeni daltonizmem (tzw. ślepotą barw). Choroba ta

nie pozwala im na odbieranie barw w taki sposób jak w przypadku osób pozbawionych tej wady.

Aby udowodnić potrzebę stworzenia uniwersalnego systemu określania barw, wystarczy zrobić szybki i prosty eksperyment. Jaki kolor wyobrażamy sobie, jako „niebieski”? Każdy z nas intuicyjnie stworzy w swojej wyobraźni obraz tego, co jest dla niego znajome, z czym miał styczność — niektórzy wyobrażą sobie błękit nieba, drudzy turkus morskich fal, inni niebieską barwę niezapominajek. W jaki sposób określić, więc czy coś jest bardziej, czy mniej „niebieskie”?

W celu sprawnego operowania nazewnictwem poszczególnych odbieranych przez ludzi wrażeń wzrokowych, zaczęto stosować ich matematyczny opis.

2. Historia badań nad kolorem

Już w czasach starożytności ludzie interesowali się natura fizyczną kolorów. Cała widza opierała się jednak jedynie na obserwacjach świata natury i własnych drobnych doświadczeniach, na zasadzie prób i błędów. Pierwszą odkrytą prawidłowością była możliwość stworzenia nowego koloru poprzez zespolenie dwóch lub więcej odrębnych pigmentów. Zjawisko mieszania kolorów, w którym kolejne barwy uzyskiwane są poprzez domieszanie w różnych proporcjach barw podstawowych nazywamy syntezą subtraktywna, ta własność stanowiła podstawę tworzenia arcydzieł malarstwa średniowiecza, renesansu czy baroku.

Zjawisko rozszczepienia światła zostało opisane po raz pierwszy w 150r. n.e. przez Klaudiusza Ptolemeusza – astronoma, matematyka i geografa greckiego pochodzenia. Opracował on traktat w pięciu księgach „Optyka”. Księga druga w sposób szczególny opisywała rolę światła i koloru. Przełomem było zauważenie, że kolor to właściwość posiadana nie tylko przez tylko namacalne materie, ale także przez światło.

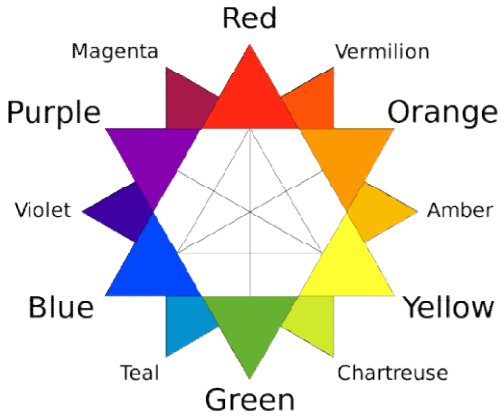
Badaniem nad właściwościami kolorów zajął się w XIII w. uznawany za skrajnego empirystę Roger Bacon(1214–1292). Za pomocą astrolabium doświadczalnie zmierzył on rozwartość kątową tęczy. Kontynuacją tych badań zajął się holenderski astronom i matematyk WillebrordSnell (1580–1626), będący autorem prawa refrakcji, a także uznawany za jednego z najwybitniejszych uczonych XVII wieku Kartezjusz. W 1664 roku zostało pośmiertnie wydane dzieło Kartezjusza pt. „Świat albo Traktat o świetle” (fr. Le MondeouTraité de la lumiére), w którym wyjaśnia on swoje stanowisko na temat natury światła.

Przełomowego dla nauki odkrycia dokonał jednak dopiero po kilkudziesięciu latach Izaak Newton. Prowadząc eksperymenty przy użyciu pryzmatu, doszedł do wniosku, że każdy dowolny kolor jest możliwy do uzyskania poprzez zmieszanie w różnych proporcjach jedynie

kilku tzw. kolorów prymarnych.W 1704r. w swoim dziele pt. „Optyka” opublikował model zwany kołem kolorów, który w geometryczny sposób przedstawia zależność występującąpomiędzy kolorami pierwotnymi, a ich pochodnymi (rys. 1). W swojej teorii za kolory podstawowe uznał barwę żółtą, czerwoną i niebieską. Z kolei wynikiem połączenia barwy czerwonej i żółtej jest pomarańcz, żółtej i niebieskiej – zieleń, a czerwonej i niebieskiej – fiolet (rys. 1).

Rys. 1. KołokolorówNewtona („Newton's colour circle”. Opticks. 1704, from Book I, Part II, Proposition VI, Problem 2. Isaak Newton.)

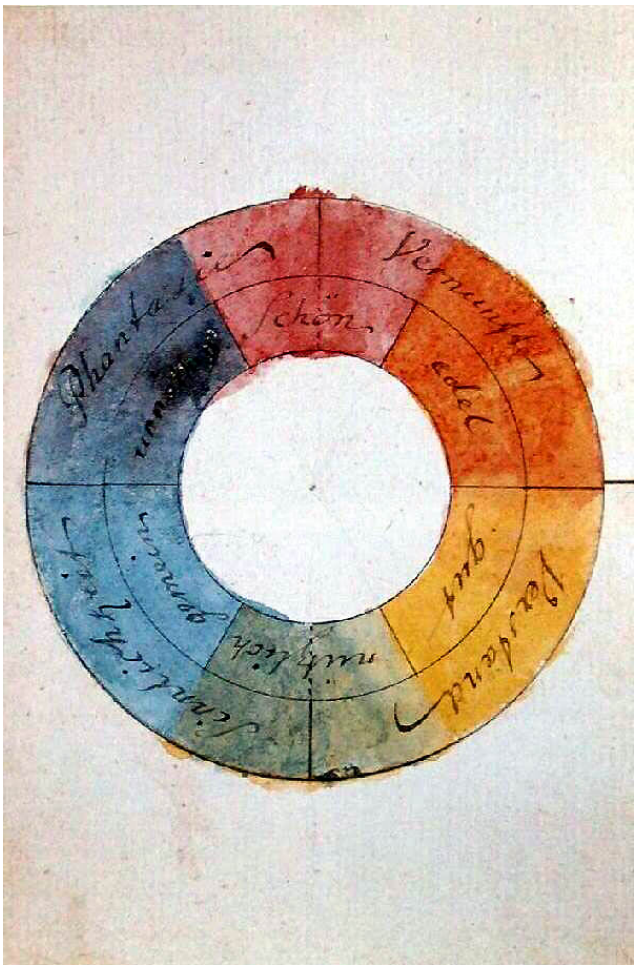
Teoria Newtona stała się fundamentem do opracowania w 1725 roku przez Jacoba Christopha Le Blon(1667–1741) metody druku opartej na użyciu tuszu o zaproponowanych przez Newtona trzech barwach prymarnych: R(red) – czerwonej, Y(yellow) – żółtej i B (blue) niebieskiej. Wydarzenie to uważa się za narodziny modelu kolorów RYB (rys 2).



Rys. 2. Gwiazdakolorów RYB („Color star–en (tertiary names)”. Licensed under Creative Commons Attribution–Share Alike 4.0 International license via Wikimedia Commons)

Rozwój nauki w XVIII wieku przyniósł odkrycia takie jak zaobserwowane w roku 1800 przez Williama Hershela (1738–1822) promieniowanie podczerwone, a takżespostrzeżone w 1802 roku przez Johanna Wilhelma Rittera (1776–1810) promieniowanie ultrafioletowe.

W każdym z wyżej opisanych przypadków skupiano się jedynie na technicznej naturze światła i koloru. Świeże spojrzenie na temat wniósł dopiero niemiecki poeta Johann Wolfgang von Goethe (1749–1932). Jakie pierwszy spojrzał na zjawisko rozpoznawania kolorów pod kątem psychofizycznym. Intuicja liryka podpowiadała mu, że tak jak w przypadku sztuki tak i w przypadku kolorów, odbiór danego zjawiska uzależniony jest o cech samego odbiorcy – w przypadku kolorów od działania oka ludzkiego. Swoje rozważania opublikował w 1810 roku w pracy pt. „Teoria kolorów (Farbenlehre)" (rys. 3).

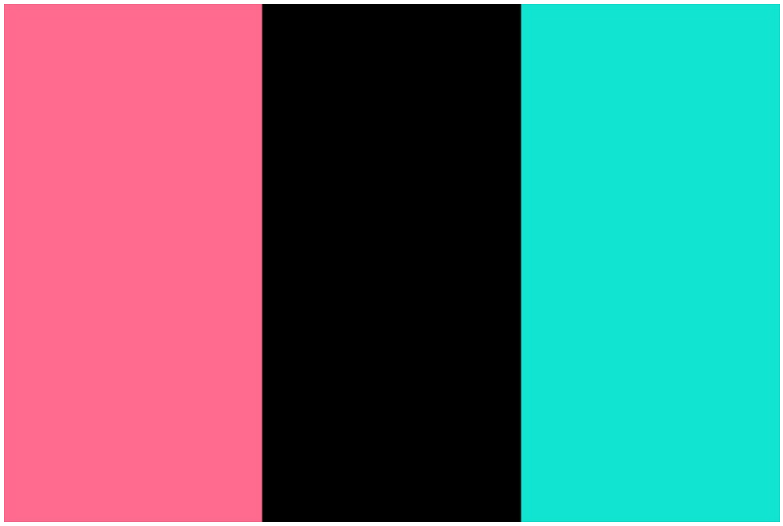


Rys. 3. KołobarwneGoethego (Johann Wolfgang von Goethe, FarbenkreiszurSymbolisierung des menschlichenGeistes– und Seelenlebens, 1809, Original: FreiesDeutschesHochstift– Frankfurter Goethe–Museum)

Kolejną osobą idącą tymtokiem rozumowania był Michel EugeneChevreul (1786–1889) – francuski chemik, który w 1830 roku napisał dzieło pt. „Prawo kontrastu symultanicznego". W pierwszej kolejności przedstawił w nim poszerzony model zapoczątkowany przez Newtona w taki sposób, że dla kolorów podstawowych określił po 23 kolory pochodne, a następnie

uzupełnił koło o skalę jasności. Kamieniem milowym było odkrycie przez niego zjawisk kontrastu symultanicznego (rys. 4) i kontrastu sukcesywnego (rys. 5).

Rys. 4. Szare kwadraty mają taką samą jasność. („Gradient–optical–illusion". Licensed under Creative Commons Uznanieautorstwa – Na tychsamychwarunkach 3.0 via Wikimedia Commons)



Rys. 5. Po wpatrywaniu się przez jakiś czas w ten obraz i odwróceniu wzroku ujrzymy flagę Włoch. („ItalianFlagInverted". WikimediaCommons)

Pierwsze zjawisko polega na różnym postrzeganiu barw w zależności od tła, na jakim się znajdują. Główny obiekt ma tendencję do przybierania barwy dopełniającej do koloru drugoplanowego (rys. 4).

Drugie natomiast to iluzja optyczna wywołująca po odwróceniu wzroku efekt pojawianiasię w oczach zamazanego kształtu o barwie dopełniającej dla obiektu, w który wpatrywano się wcześniej (rys. 5).

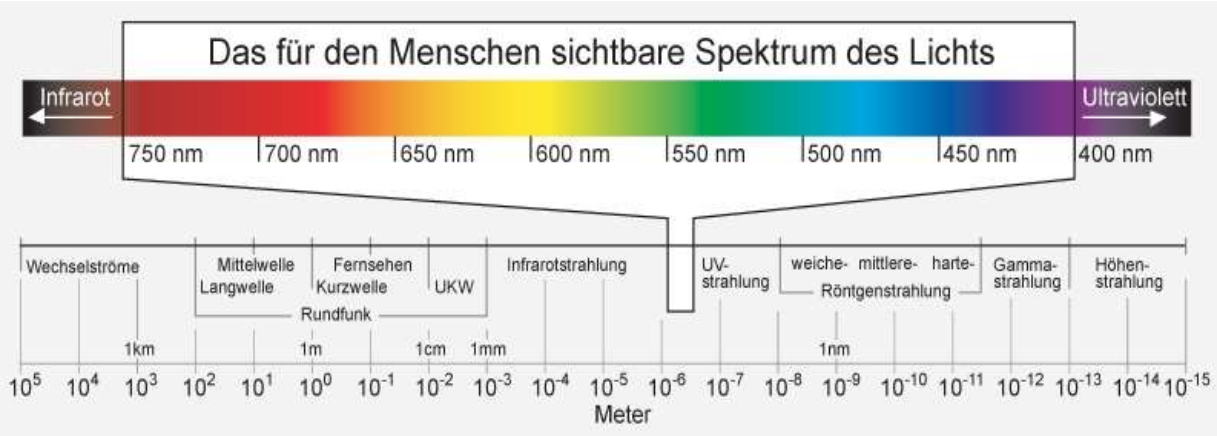
Ustalenia te w odróżnieniu od słów Goethego, miały swoje poparcie w możliwych do zbadania zjawiskach fizycznych. Kolor przestał wówczas być uznawany za cechę obiektu materialnego. Nadal nie było jednak jasne jak to się dzieje, ze każdy widzi inaczej. Kolejną cegiełkę wiedzy, tym razem z dziedziny biologii, dołożył Thomas Young (1773–1829). W 1802 roku wyodrębnił on trzy rodzaje fotoreceptorów wrażliwych na fale o różnej

długości. Pomysł ten kontynuował i poszerzał Hermann von Helmholtz (1821–1894). Zaistniała wówczas teoria Younga–Helmholtza – znana pod nazwą teorii widzenia trójbarwnego. Teoria ta musiała poczekać na potwierdzenie doświadczalne aż ponad 150 lat, gdyż dopiero w roku 1956 psycholog Gunnar Svaetichin(1915–1981) potwierdził ją badając siatkówkę oka rybiego.

3. Światło jako fala elektromagnetyczna

Teoria falowej natury światła rozwijała się już od pierwszego wieku naszej ery. Często z braku dostatecznej wiedzy badania nie były do końca miarodajne, a ich kierunek trafny. Największy postęp nauki w tej dziedzinie nastąpił końcem XVII wieku, ale to dopiero przedstawienie przez Jamesa Clerka Maxwella (1831–1879) matematycznego opisu zachowania się pól elektromagnetycznych nadało badaniom nowy kierunek. Niestety nadal wszystko pozostawało w sferze teoretycznej. Koncepcja ta musiała poczekać na swoje eksperymentalne potwierdzenie do roku 1887, kiedy to niemiecki fizyk Heinrich Rudolf Hertz (1857–1894) podjął się budowy oscylatora wytwarzającego fale elektromagnetyczne.

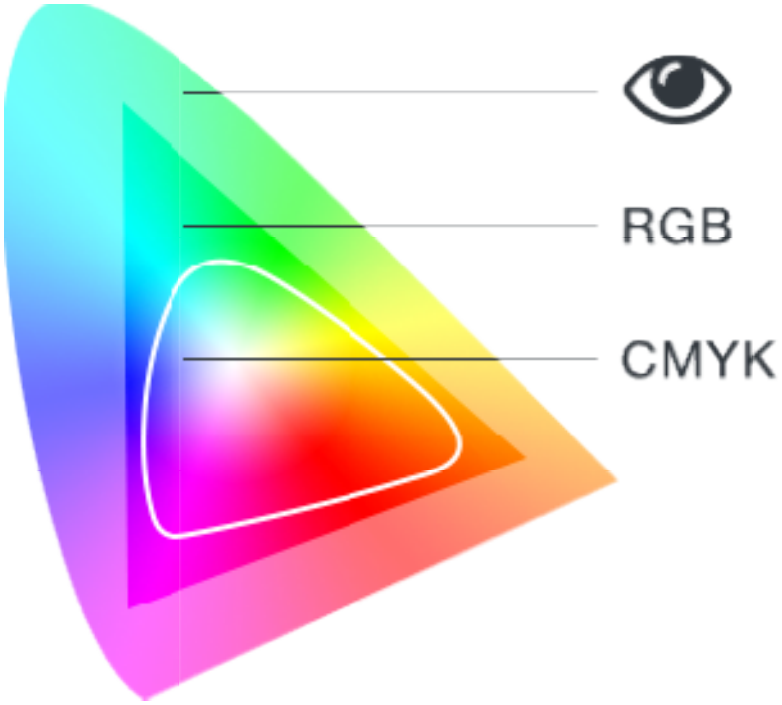
Teoria Maxwella mówi, że cały świat wypełniony jest falami elektromagnetycznymi. Każda fala cechuje się długością, a całość zakresu długości fal elektromagnetycznych określamy mianem spektrum (rys. 6).Światło widzialne (zwane widmem) jest niewielką częścią promieniowania elektromagnetycznego, wywołującą reakcję komórek światłoczułych oka ludzkiego. Są to fale elektromagnetyczne z zakresu od 380nm do 780nm.



Rys. 6. Spektrum fal elektromagnetycznych(„Spektrum v1". Licensed under Creative Commons Attribution–Share Alike 3.0 Unportedvia Wikimedia Commons)

Matematyczny system opisu koloru w przestrzeni parametrów, w ściśle określonym układzie współrzędnych reprezentującym wszystkie barwy widoczne dla człowieka nazywamy modelem kolorów.Wykorzystując dwie współrzędne (x, y), jesteśmy w stanie zaprezentować na wykresie trójchromatyczności dowolnie wybrany odcień barwy.

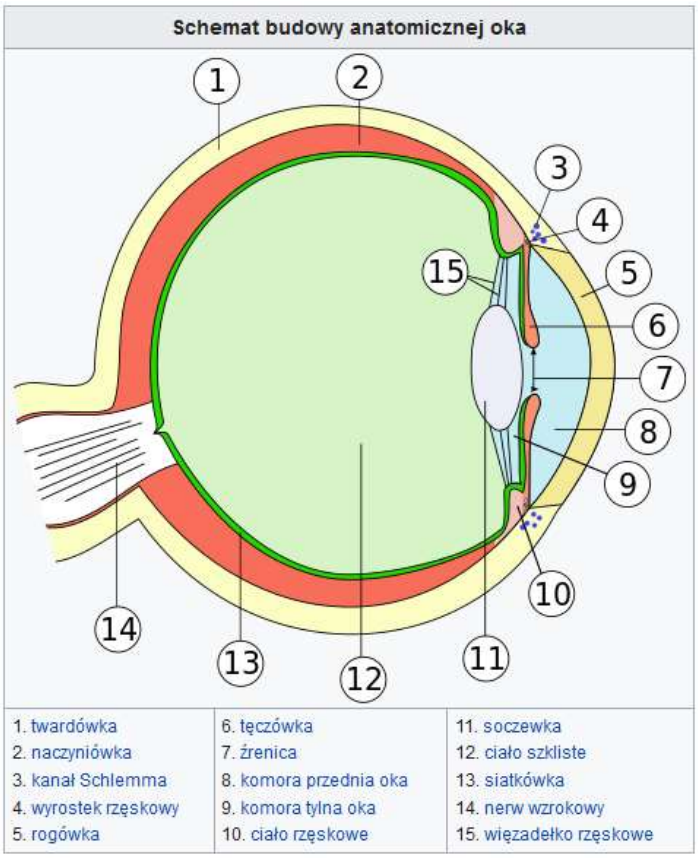
Zaznaczony w obrębie tego układu trójkąt pozwala określić, które barwy należą do danej przestrzeni kolorów. Nazywany jest on gamutem (rys. 7) – znajdujące się wewnątrz niego barwy możemy uzyskać dzięki scalaniu barw mieszczących się na wierzchołkach trójkąta.



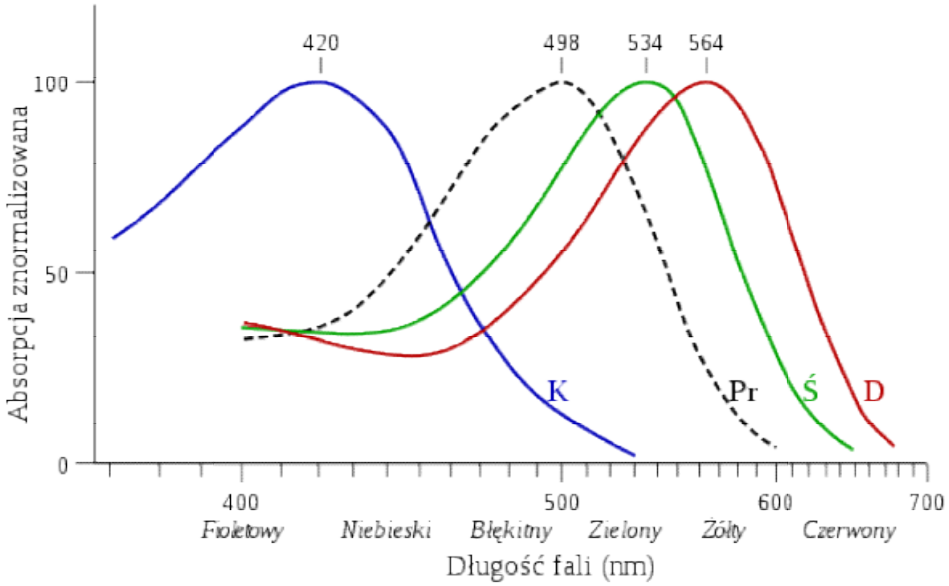
Rys. 7. Uproszczony wykres trójchromatyczności („Color–gamut". Licensed under Creative Commons Attribution–Share Alike 4.0 International license via Wikimedia Commons)

4. Widzenie kolorów przez oko ludzkie

Proces widzenia polega na wpadaniu światła poprzez załamującą je soczewkę wprost na siatkówkę, na której powstaje odwrócony obraz obiektu. Na budowę siatkówki (rys. 8) składają się dwa rodzaje komórek światłoczułych – pręciki i czopki. Aż ok. 125 milionów komórek pręcikowych zlokalizowanych na całym obszarze siatkówki reaguje na natężenie światła, przez co pozwalają nam na widzenie skotopowe. Czopki natomiast dzięki temu, że reagują na długość fali świetlnej, odpowiedzialne są za widzenie konkretnej barwy, czyli widzenie fotopowe. Jest ich w siatkówce o wiele mniej niż pręcików (tylko ok. 6,5 miliona), a największe ich zagęszczenie znajduje się w jej centralnej części – w plamce żółtej. Komórki czopkowe dzielimy na trzy rodzaje ze względu ich szczególna wrażliwość na dany zakres fal. Czopki wrażliwe na fale o długości ok. 420 nm wysyłają do mózgu impulsy wywołujące reakcję wrażenia barwy niebieskiej, analogicznie z zakresu ok. 530nm barwy zielonej i ok. 700nm barwy czerwonej (rys. 9).



Rys. 8. Schemat budowy anatomicznej oka („Eyeschememulitlingual". Licensed under Creative Commons Attribution–Share Alike 3.0 Unportedvia Wikimedia Commons)



Rys. 9. Krzywe spektrum absorpcji światła o krótkiej (K), średniej (Ś) i długiej (D) długości fali przez barwniki zawarte w ludzkich pręcikach (Pr) i czopkach. („Cone–response–pl". Licensed under Creative Commons Attribution–Share Alike 3.0 Unported via Wikimedia Commons)

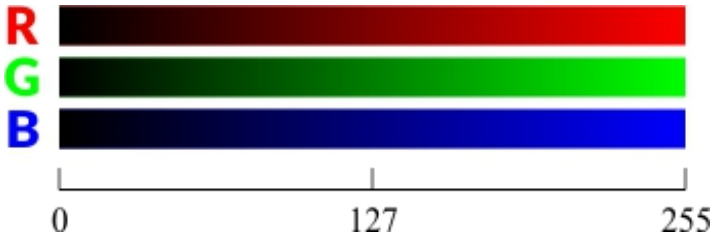
W większości przypadków do oka wpadają fale o długości pośredniej lub też wiązka fal o różnych długościach. W takim przypadku poszczególne komórki reagują w pewnym stopniu na wszystkie długości tych fal, wysyłając do mózgu odpowiednie impulsy wywołujące

wrażenie barw podstawowych. Po przetworzeniu odebranych sygnałów mózg w wyniku dodawania informacji wywołuje wrażenie barw pośrednich.

5. Przestrzeń barw RGB

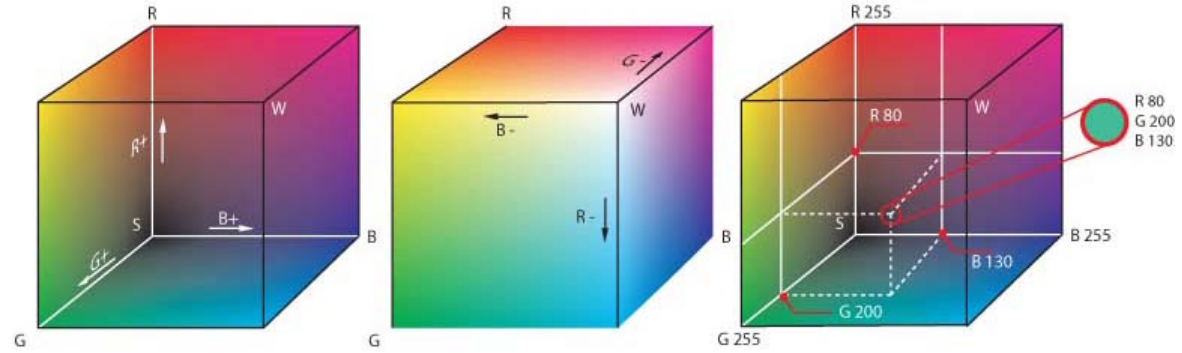
Najpopularniejszą przestrzenią barw jest RGB. Nazwa tego modelu jest skrótem utworzonym od angielskich nazw kolorów tworzących jego podstawę – Red (czerwony), Green (zielony) oraz Blue (niebieski). W modelu barw RGB zastosowanie ma synteza addytywna, czyli zjawisko mieszania barw poprzez dodawanie do siebie wiązek światła widzialnego o różnych długościach. Operatywność działania tej przestrzeni barw wynika z budowy biologicznej ludzkiego oka. Odbiera ono, bowiem wrażenie widzenia kolorów dzięki łączeniu impulsów wywołujących wrażenia trzech kolorów prymarnych.

Najczęściej spotykamy 24–bitowy zapis kolorów, w którym każdą z barw określamy korzystając ze składowych, które przyjmują wartości z zakresu od 0 do 255 (rys. 10).



Rys. 10. Reprezentacja wizualna modelu barw RGB (opracowanie własne)

Do zobrazowania tej przestrzeni barw wykorzystuje się sześcian, którego każdy bok jest reprezentantem poszczególnej składowej barw (rys. 11).



Rys. 11. Reprezentacja wizualna trójwymiarowego modelu barw RGB („RGB farbwuerfel”. Licensed under Creative Commons Attribution–Share Alike 3.0 via Wikimedia Commons)

Z przestrzenią barw RGB możemy spotkać się, na co dzień, gdyż wykorzystywana jest ona w przypadku wszystkich urządzeń elektronicznych zarówno analizujących obraz (skanery, kamery, aparaty fotograficzne) jak i służących do jego wyświetlania (m. in. telewizory, monitory, tablety czy smartfony).

W wyświetlaczach na każdy piksel składają się trzy subpiksele– jeden z nich świecący na czerwono, drugi na zielono i trzeci na niebiesko.

Zespalając ze sobą barwę czerwoną, zieloną i niebieską w zależności od ich proporcji, możemy uzyskać nawet powyżej 16 milionów kolorów. Dla przykładu łącząc barwę czerwoną i zieloną otrzymamy kolor żółty [R255, G255,B0], a łącząc barwę niebieską z zielenią uzyskamy kolor jasnoniebieski [R0,G255,B255]. Im wyższa jest suma składowych kolorów tym kolor jest jaśniejszy. Wynikiem nałożenia na siebie wszystkich trzech barw jest biel [R255,G255,B255], a w przypadku ich braku zaobserwujemy głęboką czerń [R0,G0,B0]. W opisie matematycznym konstrukcji tej odpowiada zastosowanie średniej arytmetycznej ważonej kolorów R, G, B lub – innym językiem – kombinacji wypukłych.

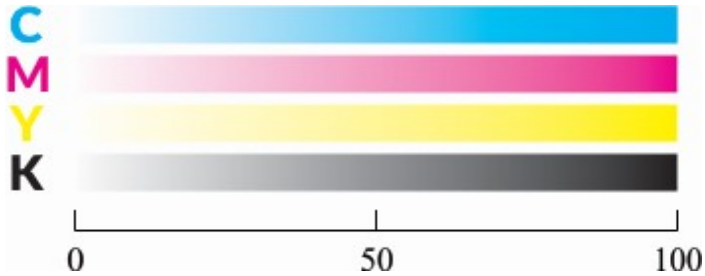
Korzystając z języka cyfrowego model RGB opisujemy w systemie szesnastkowym (heksadecymalnym). Reprezentacja taka rozpoczyna się od znaku #, po którym następują trzy pary znaków. Każda z nich opisuje kolejno barwę czerwoną, zieloną i niebieską w zakresie od 00 (w systemie dziesiętnym 0) do FF (w systemie dziesiętnym 255). Zapis ten używany jest najczęściej do określania kolorów przy projektowaniu witryn internetowych.

6. Przestrzeń barw CMYK

Analogicznie do modelu barw RGB, nazwa palety kolorów CMYK jest skrótem od angielskich nazw kolorów podstawowych tego modelu –Cyan (cyjanowy), Magenta, Yellow (żółty) i K od Black (czarny). Barwa czarna nie jest określana symbolem B(od Black), ponieważ litera ta uprzednio została uznana jako symbol koloru niebieskiego (od Blue) w modelu barw RGB.

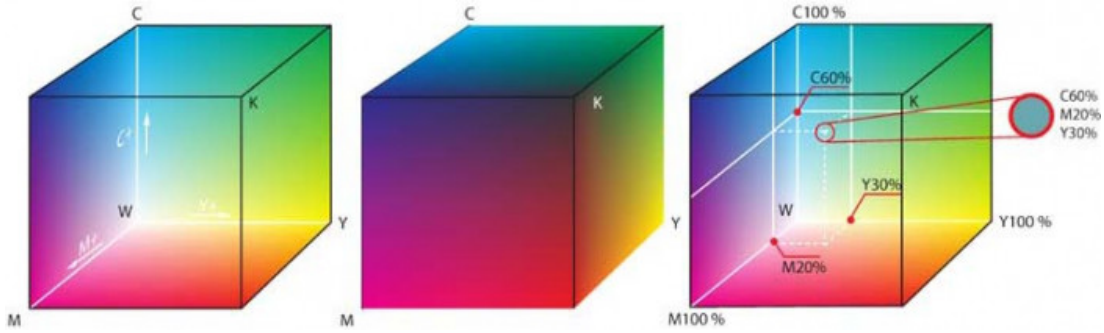
Paleta ta znajduje zastosowanie w przemyśle poligraficznym. Jest rozwinięciem idei, ·którą zapoczątkował Jacob Christoph Le Blon tworząc model RYB (szczegółowy opis znajduje się w rozdziale 2). W jej przypadku mamy do czynienia ze światłem odbitym (w przeciwieństwie do modelu RGB, gdzie była mowa o świetle świecącym). Pomimo teoretycznej możliwości uzyskania koloru czarnego poprzez zsumowanie barw cyjan, magenta i żółty, w praktyce efektem takiego połączenia jest bury kolor brązowy. Było to powodem dodania do palety jeszcze jednej barwy – K (czarny). Znaczenie miały również względy ekonomiczne (mniejsze zużycie farby drukarskiej)i praktyczne (czas schnięcia tuszu po wydruku).

W przestrzeni barw CMYK, podobnie jak w modelu RGB, barwy wynikowe można uzyskać poprzez połączenie barw podstawowych w proporcjach od 0% do 100%. Farby drukarskie są barwnikami przepuszczającymi światło, dlatego łączenie ich wykonywane jest metodą nakładania warstwami. Docelowa barwa może mieć od 0% (kolor biały; Cyjan 0%, Magenta 0%, Yellow 0%, Black 0%) do 400% kolorów składowych (głęboka czerń; Cyjan 100%, Magenta 100%, Yellow 100%, Black 100%) (rys. 12).



Rys. 12. Reprezentacja wizualna modelu barw CMYK (opracowanie własne)

Dla lepszego zrozumienia tej metody możemy założyć, że uzyskiwanie kolorów w przestrzeni CMYK możemy porównać do przypadku użycia kolorowych półprzezroczystych kawałków plexi. W palecie kolorów CMYK stosowana jest synteza, subtraktywna– zjawisko mieszania barw poprzez odejmowanie wiązek światła widzialnego różnych długości. Przykładowo, aby uzyskać kolor zielony w modelu CMYK należy wykorzystać kolor żółty oraz cyjanowy (Cyjan 100%, Magenta 0%, Yellow 100%, Black 0%). Do zobrazowania tej przestrzeni barw także wykorzystuje się sześcian, którego boki reprezentują poszczególną składową barw (rys. 13).

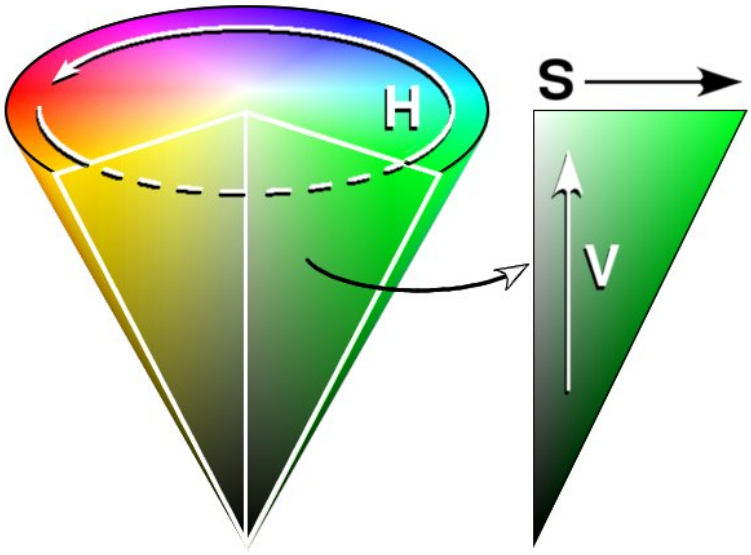


Rys. 13. Reprezentacja wizualna trójwymiarowego modelu barw CMYK („CMYK farbwuerfel". Licensed under Creative Commons Attribution–Share Alike 3.0 via Wikimedia Commons)

7. Przestrzeń barw HSV

Model opisu przestrzeni barw HSV(ang. Hue Saturation Value) został zaproponowany Alveya Raya Smitha w 1978 roku. Nawiązuje on do sposobu postrzegania przez ludzkie oko barw, jako światła pochodzącego z oświetlenia. Model ten zakłada, że każda barwa ma swój początek w świetle białym, gdzie część fal widzialnych zostaje odbita od oświetlanych przedmiotów, a część z nich zostaje pochłonięta. Uważany jest za alternatywną reprezentację przestrzeni RGB, za względu na realne oddawanie wrażeń kolorów odbieranych przez ludzkie oko, przy zachowaniu dużej prostoty obliczeniowej. Symbol H jest określeniem numerycznym barwy w skali kątowej od 0º do 360º, w odniesieniu do koła barw, litera S określa nasycenie z zakresu 0% do 100%, podczas gdy symbol V odpowiada jasności koloru od 0% do 100%. Za centrum barwy niebieskiej odpowiada kąt 240°, natomiast zielonej

kąt 120°. Model ten prezentowany jest w postaci stożka o podstawie będącej kołem barw (rys. 14).



Rys. 14. Stożek przestrzeni barw HSV („HSV cone". Licensed under Creative Commons Attribution–Share Alike 3.0 via Wikimedia Commons)

8. Wnioski i podsumowanie

Od dziesiątków wieków ludzie dążą do „zapanowania nad kolorem", do umiejętności opisania tego subiektywnego wrażenia optycznego w sposób obiektywny, odtwarzalny w każdych warunkach. Matematyka, jako najbardziej „obiektywna" (gdyż każda liczba ma swoje jedno niezmienne i niepodważalne znaczenie, nie podlegające żadnej dodatkowej interpretacji) okazała się najlepszą drogą w tym kierunku. Poza przedstawionymi przestrzeniami barw RGB, CMYK i HSV, istnieje znacznie więcej matematycznych modeli opisów kolorówm. in. NS, RAL, YUV czy PANTONE CMS. Możemy stwierdzić, że dowolny kolor jesteśmy w stanie zapisać w sposób matematyczny (a nawet na kilka sposobów), co pozwala na potwierdzenie tezy, że „Kolory to tak na prawdę liczby" (składowych barw podstawowych danego modelu).

9. Literatura

Beaird J., Goerge J., 2015. Niezawodne zasady web designu. Projektowanie spektakularnych witryn internetowych. Helion, str.: 61-95

Kończak S., 2015. Photoshop dla e-commerce i social media. Helion, str.: 36-43

Gołąb A., 2013. DTP. Od projektu aż po druk. O współpracy grafika z drukarzem. Helion, str.:30-33

Tulibacka A., 2014. Jak tworzone są kolory? O przestrzeniach barw i ich wykorzystaniu. Grafmag, https://grafmag.pl/artykuly/jak-tworzone-sa-kolory-o-przestrzeniach-barw-i-ich-wykorzystaniu na dzień 13.01.2018r.
Tomkowiak Ł., 2012. DTP od podstaw. Zasady przygotowania projektów do druku, Grafmag, https://grafmag.pl/artykuly/dtp-podstawowe-zasady-przygotowania-projektu-do-druku na dzień 13.01.2018r.
Internetowa encyklopedia PWN, http://encyklopedia.pwn.pl/haslo/daltonizm;3890431.html na dzień 13.01.2018r.
http://blog.skalibrujtv.pl/2011/09/gamut-czyli-przestrzen-barw-co-to-wlasciwie-jest/# na dzień 13.01.2018r.
http://www.fizyka.umk.pl/~milosz/PSPiZK/graf/kolor.htmlna dzień 13.01.2018r.
https://www.coatsindustrial.com/pl/information-hub/apparel-expertise/colour-by-numbers na dzień 13.01.2018r.
https://en.wikipedia.org/wiki/Jacob_Christoph_Le_Blon na dzień 13.01.2018r.
https://pl.wikipedia.org/wiki/Johann_Wilhelm_Ritter na dzień 13.01.2018r.
http://historiasztuki.com.pl/NOWA/30-00-01-KOLOR.php na dzień 13.01.2018r.
https://en.wikipedia.org/wiki/Michel_Eug%C3%A8ne_Chevreul na dzień 13.01.2018r.
http://designer.info.pl/elementy-projektowania-kolor-barwa-nasycenie-jasnosc/ na dzień 13.01.2018r.
https://en.wikipedia.org/wiki/Gunnar_Svaetichin na dzień 13.01.2018r.
https://sound.eti.pg.gda.pl/student/pp/oko-budowa_i_wlasnosci.pdf na dzień 13.01.2018r.
http://www.biecek.pl/Eseje/indexKolory.html na dzień 13.01.2018r.
https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_radiation na dzień 13.01.2018r.

Wykorzystanie sztucznej inteligencji do identyfikacji osób poprzez odcisk małżowiny usznej

Łukasz Hamera [(1)]

[1] Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej
ŁukaszHamera: lucas.hamera@gmail.com

Streszczenie
Autoryzacja użytkowników może być prowadzona za pomocą różnorakich metod weryfikacyjnych. Najczęściej wybieraną metodą jest uwierzytelnianie przez hasło lub PIN, jednak to niejednoznacznie określa czy dana osoba powinna uzyskać autoryzacje. System identyfikujący musi bazować na osobniczych cechach tzw. cechach biometrycznych. Najbardziej znanymi są linie papilarne,tęczówka, geometria twarzy oraz kształt małżowiny usznej. Warto zwrócić uwagę na tą ostatnią cechę, uszy ludzkie wraz z wiekiem nie zmieniają kształtu oraz ułożenia elementów konstrukcyjnych. Te dane będą bazą do stworzenia sztucznej sieci neuronowej identyfikującej osoby na podstawie zdjęćmałżowinyusznej. Cały proces powstawania takiej struktury oraz przetwarzanie danych wejściowych zostanie opisany w niniejszym artykule.

Słowa kluczowe: sztuczna inteligencja, małżowina uszna, sieć neuronowa

The use of artificial intelligence to identify people through the earlobe

Summary
The user's authorization can be carried out with the help of various verification methods. The most often chosen method is authentication by a password or PIN, however it is ambiguous to determine whether a given person should obtain authorization. The identification system must be based on the individual features of the so-called biometric features. The best known are fingerprints, iris, facial geometry and the shape of the earlobe. It is worth paying attention to the last feature, human ears do not change the shape and arrangement of structural elements with age. This data will be the basis for creating an artificial neural network that identifies people based on shape of the earlobe. The entire process of creating such a structure and the processing of input data will be described in this article.

Keywords: artificial intelligence, , earlobe, neural network

1. Wstęp

Identyfikacja osób w dzisiejszych czasach ma coraz większe znaczenie. Autoryzowane dostępy do systemów elektronicznych i informatycznych są powszechnie stosowane. Rozpoznawanie osób jest wykorzystywane przez funkcjonariuszy podczas kontroli granicznych, czy badania miejsc zbrodni. Powiązanie rekordu w bazie danych z żywą osobą jest niepomijalnym procesem w autoryzacji osobowości. Można to przeszukiwanie oprzeć na wielu informacjach m.in. kodzie PIN, haśle, kartach magnetycznych lub cechach biometrycznych. Ostatnia wymieniona pozycja opisuje cechy jasno identyfikujące daną istotę żywą oraz rozróżniające ją od innych przedstawicieli jej gatunku. Można je podzielić na dwie kategorie:

- Biometryczne cechy fizyczne:
    1. tęczówka,
    2. linie papilarne,
    3. geometria twarzy,

4. rozkład temperatury na twarzy,
5. geometria dłoni,
6. kształt małżowiny usznej.

- Cechy behawioralne:
    1. barwa głosu,
    2. dynamika pisma odręcznego,
    3. sposób chodzenia,
    4. sposób pisania na klawiaturze.

W niniejszej pracy przedstawiono i opisano metodę identyfikowania osób poprzez odcisk małżowiny usznej. Nauka zajmującą się takim zagadnieniem nazwana jest otoskopią kryminalistyczną. Zapoczątkowana potwierdzeniem unikatowości anatomii ucha przez Alfred Lannarelli'egow roku 1989 (Iannarelli, 1989). Badania identyfikacyjne zostały przeprowadzone na ponad tysiącu zdjęć uszów, w tym pochodzących od bliźniąt jednojajowych. Każda z próbek miała indywidualne cechy, niektóre cechy fizjologiczne ucha były podobne, jednak nie identyczne. Od nazwiska Alfreda nazwano system poprawnego wykonywania pomiarów małżowiny usznej – system Lannarelli'ego.

Następnym przełomem w identyfikacji osób poprzez skan małżowiny usznej było stworzenie trójstopniowego systemu przez zespół prof. Jerzego Kasprzaka. Polscy eksperci zajmują się tym zagadnieniem od 1990 roku, przez ponad 10 lat projektu zebrali materiały od 1500 osób(w tym 910 mężczyzn i 590 kobiet). Podczas badań wydzielili grupy charakterystycznych cech, które jednoznacznie identyfikują osoby. Ich system składa się z następujących kroków:

- określenie ogólnego kształtu małżowiny usznej(owalny, okrągły, trójkątny, romboidalny albo wielokątny),
- znalezienie 24 punktów charakterystycznych,
- określenie szczególnych cech morfologicznych(blizn, struktura skóry, zmarszczki, ślady po biżuterii np. kolczykach).

Przestawiony system ma praktyczne zastosowanie w sądownictwie oraz jest podstawą do tworzenia procedursądowego badania otoskopiowego.

- Budowa ludzkiego ucha

Ludzkie ucho odpowiada u człowieka za dwie czynności: odbieranie fal dźwiękowych oraz odpowiedzialność za zmysł równowagi. Można go nazwać narządem słuchu i równowagi. Jego budowę można podzielić na trzy części(Aleksander Sęk, 2000):

- Ucho zewnętrzne składające się z małżowiny usznej oraz przewodu słuchowego. Zadaniem tej części ucha jest zbieranie dźwięków oraz kierunkowanie ich do ucha środkowego,
- Ucho środkowe jest zbudowane z błony, jamy bębenkowej, kosteczek słuchowych oraz trąbki słuchowej. Mechanicznie wzmacnia sygnał.
- Ucho wewnętrzne składające się z ślimaka, nerwu słuchowego oraz trzech kanałów półkolistych. Przetwarza fale dźwiękowe na impulsy elektryczne, które za pośrednictwem nerwu słuchowego trafiają do mózgu.

2. Metody weryfikacji

Istnieje już wiele metod weryfikacji osób przez zdjęcie małżowiny usznej, wszystkieopierają się na algorytmie skalo-niezmiennicze przekształcenia cech (w skrócie SIFT) (Lowe, 1999). Algorytm ma szerokie zastosowanie w mozaikowaniu obrazów, dopasowania kadrów w filmie, wykrywania gestów oraz śledzenia obiektów. Kroki algorytmu prezentują się następująco:

1. Wykrycie punktów ekstremalnych

Pierwszy etap obejmuje wykrycie punktów tzw. ekstremalnych, które są stałe względem skalowania oraz zmiany lokalizacji obrazu. W tym celu tworzymy przestrzeń w skali Gaussa z oryginalnego obrazu. Liczymy to przekształcenie filtrem Laplace'a, możemy do tej operacji użyć operatora splotu obrazu wejściowego wraz z kernelem:

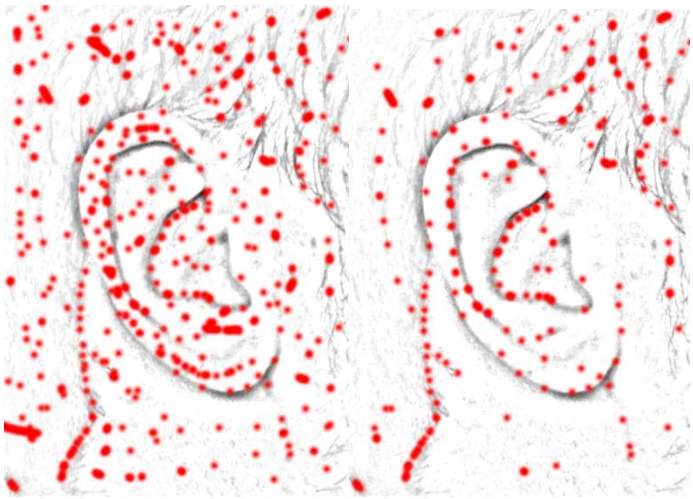
$$\frac{1}{16}\begin{bmatrix}1 & 2 & 1\\ 2 & 4 & 2\\ 1 & 2 & 4\end{bmatrix} \qquad (1)$$

Odbywa się to w różnych wielkościach, oraz z różnymi parametrami. Różnica rozkładów Gaussowskich(DoG) wskaże punktury charakterystyczne na obrazie.

Rys. 1. Przedstawienie działania różnicy rozkładów Gaussowskich. Zdjęcie pobrano z internetowej bazy danych (AMI Ear Database, 2018)(opracowanie własne).

2. Poprawienie dokładności punktów charakterystycznych

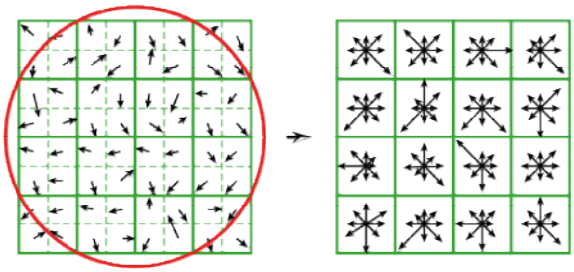
W punkcie drugim wyznaczamy dokładne piksele, w których są punkty charakterystyczne. Szukamy na obrazie w skończonym otoczeniu wartości minimalnych i maksymalnych barwy obrazu. Wykryte punkty spełniają nasze założenie, jednakże ich spora liczba uniemożliwia optymalne przetworzenie obrazu. Redukujemy punkty poprzez usunięcie ich na jednolitych tłach. Następnie sprawdzamy czy dane piksele leżą na końcach odcinka obrazu, jeżeli tak to podlegają one usunięciu.



Rys. 2. Przedstawienie działania redukcji punktów(opracowanie własne).

3. Przypisywanie orientacji punktom charakterystycznym

W trzecim kroku szukamy punktów niezmiennych względem orientacji obrazu. Wyznaczamy orientacje każdego piksela charakterystycznego. Wyznaczony kierunek jest kierunkiem ustawienia naszego okna. Aby uzyskać kierunek obliczamy dla każdego punktu rozmytego obrazu(z kroku pierwszego) pierwiastek z kwadratu odległości – wielkość gradientu. Przekształcamy obliczone gradienty przez histogram skończonej liczby kątów (np. $15^{\circ}, 30^{\circ},\ldots, 345^{\circ},360^{\circ}$).



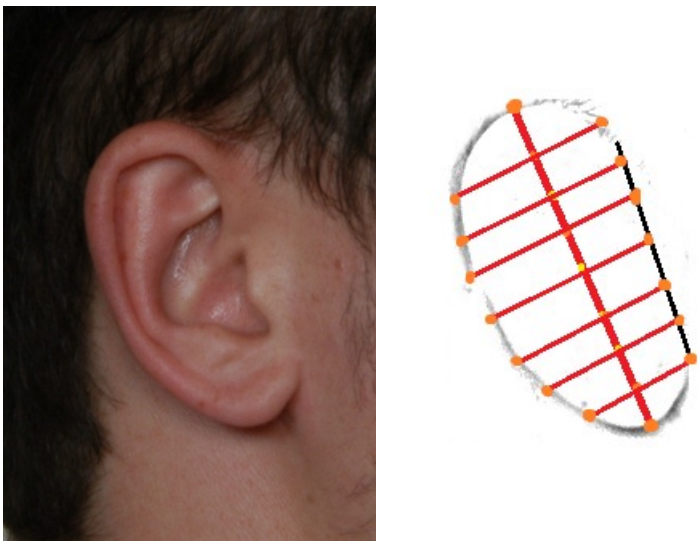
Rys. 3.Działanieprzekształceniagradientuprzezhistogram.This file is licensed under the Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported, 2.5 Generic, 2.0 Generic and 1.0 Generic license.

4. Dopasowanie punktów charakterystycznych

Krok polega na dopasowaniu punktów charakterystycznych na wejściowym zdjęciu małżowiny oraz na zdjęciu wzorcowym. Przed algorytmem dopasowania musimy

zoptymalizować ilość pikseli do łączenia, aby zadbać o odpowiednią, jakość. Po zredukowaniu punktów najlepiej dopasować je, tak, aby odległość między nimi była zdefiniowana, jako minimalizacja drogi w przestrzeni Euklidesowej.

Możemy zmodyfikować powyższy algorytm, wybierając swoje punkty charakterystyczne. Jeżeli przetworzymy obraz małżowiny usznej wykrywając jej krawędzie, możemy zaznaczyć linie od najwyższego punktu małżowiny do najniższego. Linia ta obrazuje maksymalną wysokość ucha oraz końce tej prostej są pierwszymi dwoma punkami charakterystycznymi. Następnie dzielimy tą prostą na 7 równych części, wyznaczamy proste prostopadłe przez punkty podziału. Końce prostych opieramy na krawędziach ucha.



Rys. 4. Wyznaczenie własnych punktów do autoryzacji.(opracowanie własne).

- Sztuczna sieć neuronowa

Powyższe algorytmy do osiągnięcia odpowiedzi wymagały wielorakiego przetworzenia obrazu w celu znalezienia punktów identyfikacyjnych i porównaniu ich pomiędzy dwoma zdjęciami małżowiny usznej. Jest to skomplikowany proces wymagający sporej mocy obliczeniowej. Przedstawiona w niniejszej pracy metoda odstępuje od proceduralnego podejścia i kieruje się w stronę użycia programowanej sztucznej inteligencji, a dokładnie sztucznych sieci neuronowych.

Sztuczna sieć neuronowa jest algorytmem lub maszyną numeryczną opartą na działaniu ludzkiego mózgu. Jej struktura zbudowana jest z pojedynczych sztucznych neuronów przetwarzających informację oraz połączeń między nimi. Każda pojedyncza komórka posiada wiele wejść oraz jedno wyjście opisanego wzorem:

$$y_i^L = f_L\left(\sum_{i=1}^{n} x_i^L w_i^L + b^L\right), \qquad (2)$$

gdzie:

y_i^L–wyjście neuronui-tego w warstwie L,

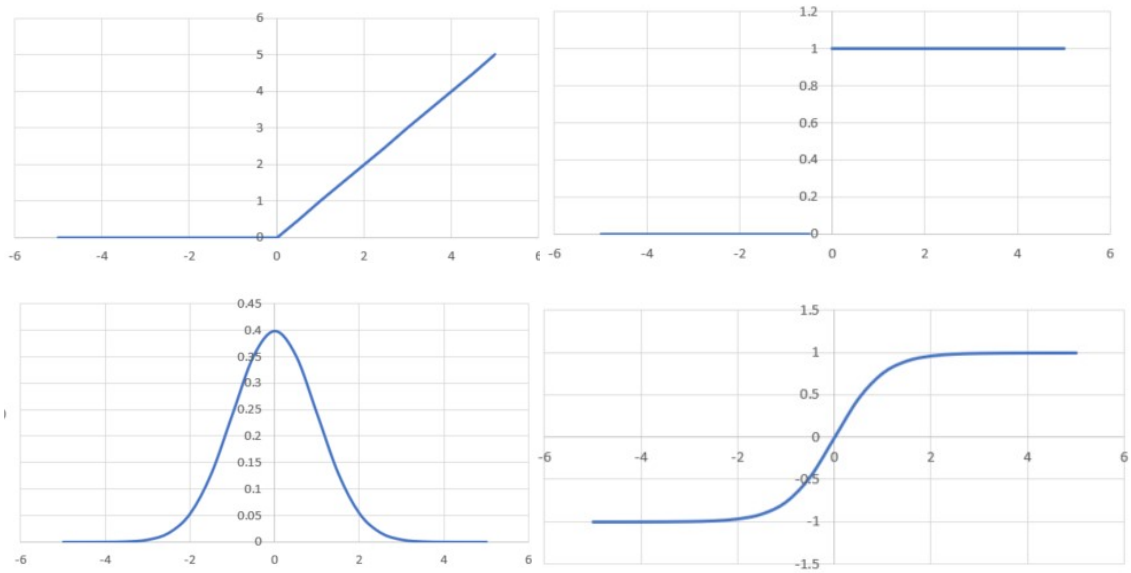
x_i^L–wejściowy sygnał o indeksie i w warstwie L,

w_i^L - waga o indeksie i w warstwie L,

b^L–wartość progowa w warstwie L,

f_L–funkcja aktywacji w warstwie L.

Wejścia i-tego neuronu x_i^L w warstwie L są mnożone przez odpowiadające im wagi w. Następnie iloczyny są sumowane (wraz z wartością progową), otrzymana wartość jest argumentem funkcji aktywacji, przybierającą następujące formy:



Rys. 5.Formyfunkcjiaktywacji: ReLU (Vinod Nair, 2010), skokowa, Gaussaorazsigmoidalna.This file is licensed under the Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International license.

W strukturze sieci neuronowej możemy wyróżnić odpowiednio:

1. Warstwę wejściową – jest to grupa neuronów, które mają na celu poprawne wprowadzenie danych do sieci,
2. Warstwy ukryte – są to warstwy pośrednie między warstwą wejściową oraz neuronami wyjściowymi. Tworzy ogromną siatkę połączeń między sztucznymi komórkami.
3. Warstwa wyjściowa – warstwa zwracająca wynik w odpowiedniej postaci. Najczęściej w tej warstwie używana jest funkcja softmax określona wzorem:

$$S(y_i) = \frac{e^{y_i}}{\sum_j e^{y_j}} \tag{3}$$

gdzie:

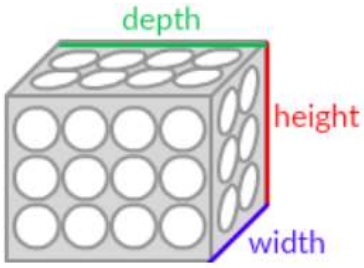
S-funkcja softmax,

y_i-wyjściei -te.

- Konwolucyjna sieć neuronowa (ConvNet)

Sztuczna sieć neuronowa jest świetnym narzędziem do klasyfikowania, jednak jej podstawowa struktura nie jest odpowiednia do przetwarzania map sygnałów. Powodem takiego problemu jest zbyt skomplikowana struktura, każdy neuron jest połączony z wszystkimi neuronami warstwy poprzedzającej. Przy przetwarzaniu np. obrazu ilość wykonywanych operacji jest ogromna, co negatywnie wpływa na długość oczekiwania na odpowiedź. W celu klasyfikacji dużej ilości danych stworzono specjalny typ sztucznej sieci neuronowej zwany konwolucyjna (splotowa) sieć neuronowa(Yann LeCun, 1998). Główną cechą tego rodzaju sieci jest występowanie niewpełni łączonych warstw, wejścia sztucznych komórek nie są podłączone do każdej komórki w warstwie poprzedzającej. Pozwala to tworzyć następujące warstwy:

1. Warstwa konwolucyjna – jest warstwą, która opiera się na działaniu operatora splotu. Możemy przyjąć, że każdy obraz zapisany w komputerze jest w postaci struktury tensorowej, posiadającej wysokość(ilość wierszy pikseli), szerokość(ilość kolumn pikseli) oraz głębokość(ilość kolorów przypadająca na jeden piksel).Każdy kolor odpowiada osobnej macierzy wartości, które są w granicach od 0 do 255.



Rys. 6. Reprezentacja struktury tensorowej. This file is licensed under the Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International license.

Jedno wyjście*h*tej warstwy jest wynikiem operacji na kilku najbliższych pikselach obrazu wejściowego. Możemy tą procedurę zapisać następująco:

$$\mathrm{h}[c,m,n] = (f * g)[c,m,n] = \sum_j \sum_k f[c,j,k]g[m-j,n-k] \quad (4)$$

gdzie:

f-obraz wejściowy (struktura tensorowa),

g-filtr obrazu,

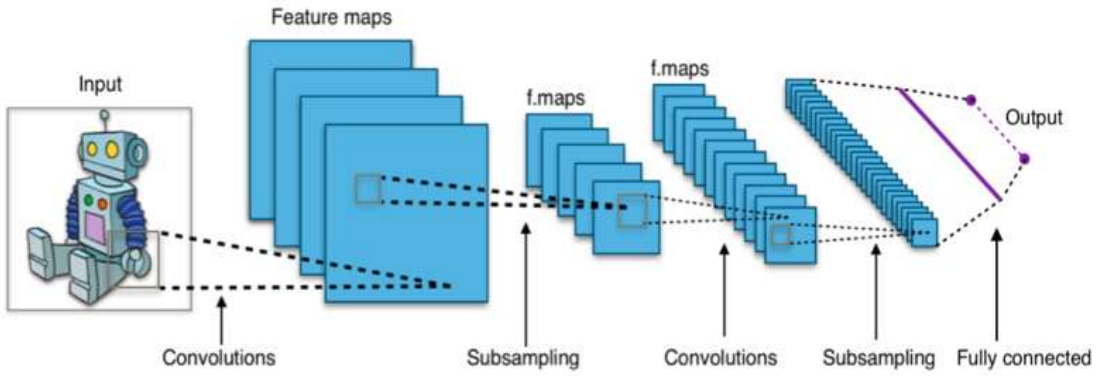
c-indeks kanału,

m-indeks wiersza,

n- indeks kolumny.

Wynik splotu każdego piksela jest argumentem funkcji aktywacji, tensor składający się z wartości funkcji aktywacji jest wyjściem warstwy konwolucyjnej.

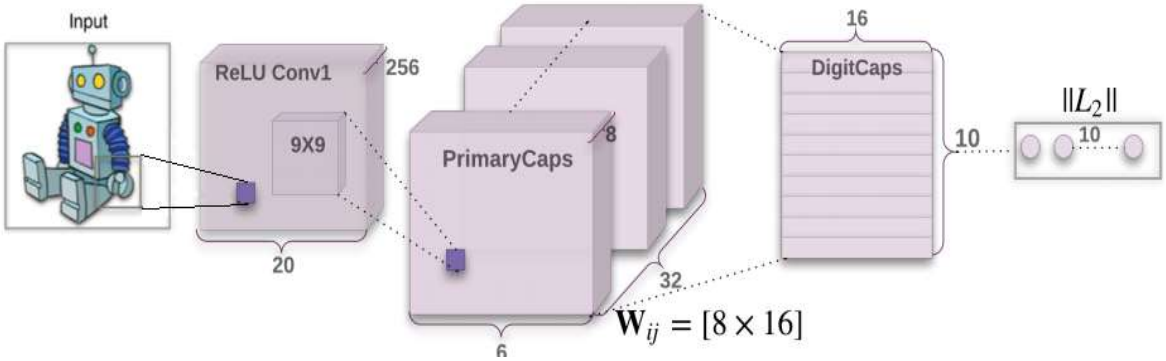
2. Warstwa redukująca – warstwa redukująca wartości mapy sygnałów.Obraz wejściowy jest dzielony na części o rozmiarze $n \times n$, wybieramy piksele o maksymalnej wartości kolorów z każdej grupy. Takim rozwiązaniem nazywamy *max pooling*, możemy zastosować tzw.*averagepooling*, polegające na ustaleniu wyjść, jako średnie arytmetyczne wartości kolorów każdej grupy.



Rys. 7. Przykładowasiećkonwolucyjna.This file is licensed under the Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International license. Legenda: Input – obraz wejściowy, Convolutions – konwolucja, Featuremaps– mapy obrazu, f.maps – mapy obrazu, Subsampling – redukcja, Fullyconnected – warstwa pełno połączona.

- Kapsułkowa sieć neuronowa (CapsNet)

Konwolucyjna sieć neuronowa to bardzo skuteczne rozwiązane, jednak posiadające wiele wad. Naukowcy z zespołu Google Brain przedstawili metodę klasyfikacji, segmentacji oraz wykrywania obiektów wprowadzając nowy typ sieci – sieć kapsułkową (Geoffrey E. Hinton, 2017).



Rys.8 Przykładowasiećkapsułkowa.This file is licensed under the Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International license. Legenda: Input – obraz wejściowy, ReLU Conv1 – warstwa konwolucyjna z funkcją aktywacji ReLU.

W podstawowych sieciach neuronowych jednym z głównych parametrów jest ilość warstw ukrytych. Warstwy ukryte tworzą ścieżki klasyfikacji, gdy ilość warstw będzie zbyt niska to sieć nie osiągnie nigdy dostatecznie dobrej skuteczności. Nadmierność warstw jest też złym rozwiązaniem, ilość łączeń w sieci jest zbyt duża i nie pozwala to odpowiednio zoptymalizować funkcję błędu, co prowadzi do niepoprawnego doboru wag. W sieci kapsułkowej zmieniono rolę parametru ilości warstw, który odnosi się do każdej warstwy. Dzięki zastosowaniu kapsuł każda warstwa może mieć w sobie podwarstwy.

Wyróżniamy dwa rodzaje kapsuł:

1. DigitCaps –wektor wejściowy składa się z wartości części obrazu w obrębie jednego koloru. Wyjście określane jest, jako:

$$v_j = \frac{\|s_j\|^2}{1 + \|s_j\|^2} \frac{s_j}{\|s_j\|} \quad (5)$$

gdzie:

v_j- j-te wyjście PrimaryCaps,

s_j-j-ta wartość DigitCaps.

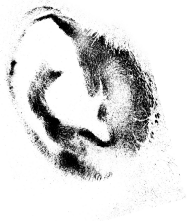
2. PrimaryCaps – zbiór digitcaps.

- Porównanie sprawności ConvNet i CapsNet

Sieć konwolucyjna jest bardzo dobrym rozwiązaniem do klasyfikowania zamkniętych baz danych. Jeżeli obiekty na obrazach ulegają rotacji, zmianie orientacji etc.skuteczność sieci drastycznie spada (Geoffrey Hinton's talk 'Whatiswrong with convolutionalneuralnets ?', 2014). Wynika to z wykrywania korelacji na obrazie. Sieć łączy znalezione wzorce i bazując na tej wiedzy udziela odpowiedzi. W przypadku weryfikowania uszów będzie odnosić niskie skuteczności, biorąc pod uwagę zmienne pozycje małżowiny usznej na zdjęciach. Można wprowadzić wstępne pozycjonowanie oraz skalowanie, jednakże wydłuży to proces nauki oraz uzyskiwanie odpowiedzi.

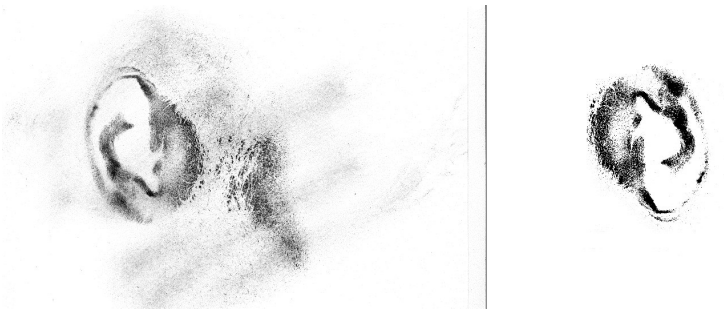
Sieć kapsułowa nie klasyfikuje całego obrazu, dzieli go na części i każda z nich jest traktowana indywidualnie. Dzięki wykorzystaniu takiego zastosowania niepodatni jesteśmy na błędy odpowiedzi wynikające z rotacji, skalowania obrazu. Taki typ siecipotrafi idealnie określać obszar obrazu, który zajmuje obiekt z dokładnością do wielkości kapsuły (np. 9 na 9 pikseli).

Tabela 14. Porównanie werdyktów ConvNet oraz CapsNet przy rotacji, zmianie rozmiaru, modyfikacji częściowej obrazu oraz lustrzanym odbiciu.

Obraz	Werdykt ConvNet	Werdykt CapsNet	Obraz	Werdykt ConvNet	Werdykt ConvNet
	Poprawny skan	Poprawny skan		Poprawny skan	Niepoprawny skan
	Niepoprawny skan	Poprawny skan		Niepoprawny skan	Poprawny skan

- Przygotowanie bazy uczącej

Obecne metody kryminalistyczne pobierając odcisk małżowiny usznej używają zbliżonych metod do zbierania odbitek linii papilarnych. Ujawnienie śladów odbitego ucha polega na użyciu odpowiedniego proszku np, .argentorat, który przykleja się do substancji potowo-tłuszczowej pozostawionej po dotknięciu przedmiotu. Tworzy to dokładny ślad, dając wyraźny kontur pozostawionego narządu słuchu. Następnie jest zabezpieczany, poprzez fotograficzną rejestrację oraz przeniesienie śladu na folię daktyloskopijną. Otrzymana fotografia jest przetwarzana w celu zmniejszenia pojemności dyskowej pliku, z równoczesną dbałością o jej szczegółowość. Proces obróbki skanu małżowiny usznej ma na celu też uwidocznienie śladu, wraz z pominięciem niechcianych części. Taka modyfikacja obrazu może być przeprowadzona przez proces binaryzacji – ucinania dziedzin. Wartości kolorów znajdujące się poza danym zakresem są pomijane i nie występują w obrazie wyjściowym. Następną ważną modyfikacją obrazu jest wyostrzenie konturów skanu. Fundamentalną podstawą w tworzeniu bazy danych jest przetworzenie wszystkich obrazów w jednakowy sposób. Powstała kolekcja obrazów jest dobrą podstawą do stworzenia bazy tzw. uczącej sztuczną sieć neuronową.



Rys. 9. Obraz ucha przed procesem i po procesie przetwarzania obrazu.

Proces nauki sieci jest fundamentalnym krokiem w budowie sztucznej sieci neuronowej. Polega na automatycznym minimalizowaniu funkcji błędu poszczególnej warstwy według odpowiedniego algorytmu optymalizującego (Zhiyong Cheng, 2015). Odchylenie od poprawnego wyniku sztucznej sieci neuronowej możemy zapisać używając sumy kwadratów błędu.

$$C^L = \|\hat{t} - \hat{y}^L\|^2 = \frac{1}{2}\sum_j \left(t_j - y_j^L\right)^2 \tag{6}$$

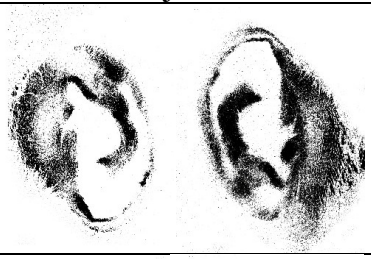
gdzie:

C^L- błąd w warstwie o indeksie L,

$\hat{t}$- wektor odpowiedzi pożądanej,

$\hat{y}^L$- wektor wyjść warstwy o indeksie L.

Tabela 15. Przykład dwóch danych uczących. Wyjście 0 oznacza, żeskany pochodzą od różnych osób. Wyjście 1 informuje że odbicia należą do tej samej osoby.

Wejście	Wyjście
	0
	1

Dane uczące składają się z danych wejściowych z przyporządkowanym im wektorem wyjściowym. Dla problemu przedstawianego w tym artykule dane uczące składają się z pary skanów odcisków małżowiny usznej oraz odpowiedzi neuronu wyjściowego (0,1), która odpowiada, czy skany małżowiny usznej pochodzą od jednej osoby.

3. Wnioski

Odcisk małżowiny usznej zaliczamy do śladów „odwzorowań", powstaje podczas kontaktu z podłożem. Możemy wyróżnić dwa rodzaje śladów po małżowinie usznej(Konchoskopia = Otoskopia kryminalistyczna, 2014):

1. odwarstwiony – powstaje wskutek przyklejenia substancji pyłowo-kurzowej do ucha. Najczęściej takie odciski znajdują się na drzwiach, oknach.
2. nawarstwiony – powstaje wskutek pozostawienia substancji potowo-tłuszczowej na danym podłożu.

Pobranie w prawidłowy sposób odcisków małżowiny usznej jest kluczowe do poprawnej identyfikacji osoby. Żadna metoda nie pozwoli na poprawną odpowiedź, jeżeli skan będzie częściowy, niewyraźny, niepoprawnie pobrany oraz źle zeskanowany. Wszystkie czynności podczas procesu identyfikacyjnego muszą być przeprowadzone z należytą dokładnością.Jest to warunkiem stworzenia bazy danych skanów małżowiny usznej potrzebnych do nauki sieci. Jeżeli zebrane dane będą nienależytej, jakości, skuteczność sztucznej sieci neuronowej będzie znikoma.

4. Literatura

Geoffrey Hinton's talk 'What is wrong with convolutional neural nets https://www.youtube.com/watch?v=rTawFwUvnLEdostępnynadzień 4 grudnia 2014 r.

Konchoskopia-Otoskopia kryminalistyczna: https://www.facebook.com/kryminalistyka24/posts/495831993885627 dostępny na dzień 30 lipca2014 r.

AMI Ear Database: http://www.ctim.es/research_works/ami_ear_database/ dostępny na dzień 24 stycznia 2018 r.

Aleksander Sęk, E. S. 2000. Psychoakustyka w pigułce . Instytut Akustyki UAM.

Geoffrey E. Hinton, S. S. 2017. Dynamic Routing Between Capsules. Toronto.

Iannarelli, A. V. 1989. Ear Identification. Paramont Publishing Company.

Kasprzak, J. 2005. FORENSIC OTOSCOPY – NEW METHOD OF HUMAN.

Lowe, D. G. 1999. Object Recognition from Local Scale-Invariant Features. Vancouver.

Vinod Nair, G. E. 2010. Rectified Linear Units Improve Restricted Boltzmann Machines. Toronto.

Yann LeCun, L. B. 1998. Gradient-Based Learning Applied to Document Recognition.

Zhiyong Cheng, D. S. 2015. Training Binary Multilayer Neural Networks for Image Classification using Expectation Backpropagation.

Porównanie algorytmów konwolucji macierzowej

Łukasz Hamera [(1)]

[1] Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej
ŁukaszHamera:lucas.hamera@gmail.com

Streszczenie
W dobie stałej komputeryzacji ilość przetwarzanych informacji stale rośnie.W ciągu jednego dnia 90 bln obrazów przewija się przez przeglądarki. Bitmapy te są reprezentowane, jako tensor posiadający informację o wartości każdego piksela we wszystkich kanałach. Najczęściej wykorzystującąmetodą filtracji obrazu jest konwolucja macierzy kolorów z odpowiednio przygotowanym kernelem. Szybkość tej operacji jest kluczowa w dostępie do informacji, gdyż większość zdjęć jest przetwarzana po udostępnieniu. W niniejszej pracy przedstawiono rozwój oraz ideę algorytmów służących do konwolucji macierzowej. Rozpoczyna się od najbardziej podstawowej, kończąc na ciągle rozwijającej się konwolucji wektorowej. W pracy porównano wszystkie opisane algorytmy pod względem szybkości oraz złożoności obliczeń.

Słowa kluczowe: konwolucja, przetwarzanie obrazu, algorytmika

Comparison of matrix convolution algorithms

Summary
In the era of constant computerization, the amount of information processed is constantly increasing. In one day, 90 trillion images scroll through browsers. These bitmaps are represented as a tensor, having information about the value of each pixel in all channels. The most common method of image filtering is the convolution of a color matrix with a suitably prepared kernel. The speed of this operation is crucial in accessing information, as most of the images are processed after sharing. Therefore, the present work presents the development and idea of algorithms used for matrix convolution. It begins with the most basic, ending with the ever-evolving vector convolution. The work compares all described algorithms in terms of speed and complexity of calculations.

Keywords: convolution, image processing, algorithmics

1. Wstęp

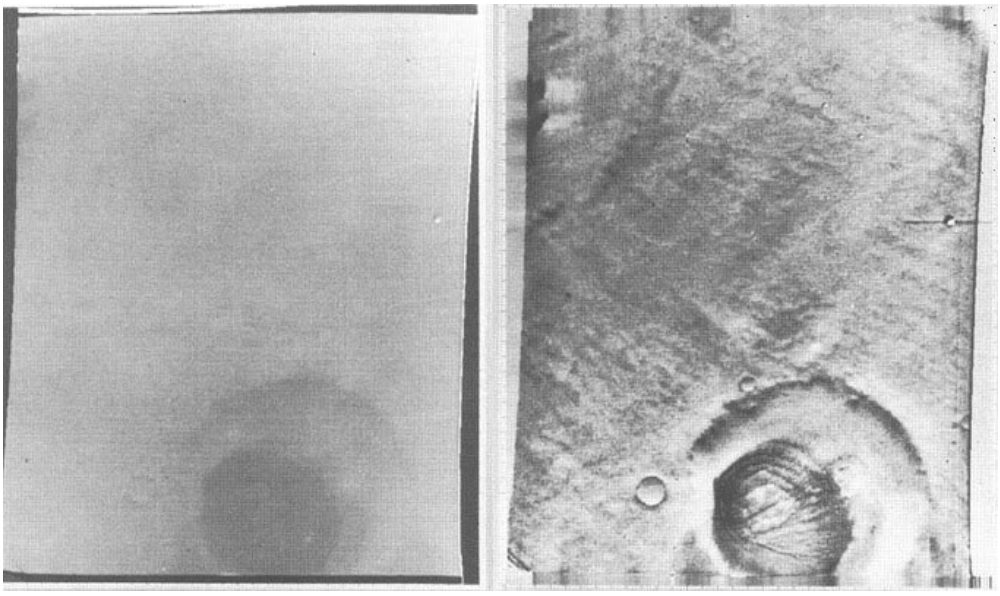
Konwolucja macierzy największe zastosowanie znalazła w dobie komputeryzacji, a dokładniej w dziedzinie przetwarzania obrazów. Jest najpopularniejszą i najbardziej podstawową metodą filtracji obrazu. Dzięki niej możemy w czasie rzeczywistym modyfikować barwy obrazów, kontrast, szczegółowość, a nawet uwidaczniać krawędzie. Przy ponad 90 bilionach zdjęć udostępnianych dziennie algorytmy umożliwiające jej zastosowanie powinny być jak najmniej pamięciożerne oraz wykonywać te operacje w jak najkrótszym czasie.

Szeroko dostępne programy do edycji grafiki pozwalają uzyskać niesamowite efekty, kryjąc pod swoimi funkcjami operację splotu. Jak konwolucja uzyskała tak szerokie spektrum zastosowania w edycji obrazu ?

- Historia

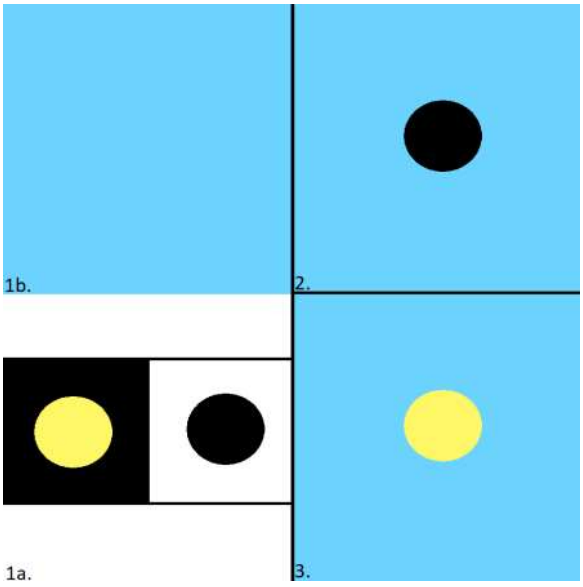
Początkiem dziedziny zajmującej się przetwarzaniem obrazu można uznać lata sześćdziesiąte. NASA podczas przechwytywania obrazu (rys. 1) z kamery patrzącej na księżyc narzekała na zbyt mały kontrast (Dunne, 1976). Wszystkie szczegóły obrazu zostały

utracone podczas zamiany na mono kolor. Obraz był rozdzielczości 200 x 200 px i docierał do stacji raz na tydzień. Zastosowano na nim pierwszy algorytm polepszania kontrastu, po którym w pełni uwidaczniał piękno księżyca.



Rys. 10. Wizualizacja użycia pierwszego algorytmu przetwarzania obrazu - zwiększenie kontrastu.

W latach osiemdziesiątych nośniki danych stawały się coraz popularniejsze dla domowych użytkowników. Możliwe przechowywanie prostych obrazów zmusiło firmy tworzące oprogramowanie do stworzenia odpowiednich algorytmów do ich przetwarzania. Należy wyróżnić Bit Blit(rys. 2), który pozwalał połączyć dwie bitmapy używając funkcji boolowskich. Wykorzystywany jest on przez każdy graficzny interfejs użytkownikaoraz przez większość desktopowych aplikacji.



Rys.11. Przedstawienie działaniaalgorytmubit blit. 1a. Pierwsza bitmapa wraz z maską. 1b. Druga bitmapa. 2.Druga bitmapa z uwzględnieniem maski. 3. Wynikowy obraz.

Kroki algorytmu bit blit:

1. Użycie operatora AND na wszystkie piksele drugiego obrazu wejściowego z maską pierwszego obrazu. Wszystkie wyjściowe wartości będą 0, odpowiada to kolorowi czarnemu.

$B_1[m,n] = M[i,j]\ AND\ B_1[m+i,n+j]$, dla$i = 0..h-1, j = 0..w-1,$ gdzie: B_1- bitmapa pierwsza, M- maska drugiej bitmapy, h-wysokość bitmapy drugiej, w - szerokość bitmapy drugiej, m - indeks wiersza, n- indeks kolumny.	(1)

2. Użycie operatora OR na wszystkich pikselach pierwszego obrazu z drugim obrazem. Ta operacja zastąpi czarne miejsca wybranym obrazem.

$B_2[m,n] = B_1[i,j]\ OR\ B_2[m+i,n+j]$, dla$i = 0..h-1, j = 0..w-1,$ gdzie: B_1 - bitmapa pierwsza, B_2 - bitmapa druga, h - wysokość bitmapy drugiej, w - szerokość bitmapy drugiej, m - indeks wiersza, n – indeks kolumny.	(2)

Wraz z rozwojem przetwarzania cyfrowych obrazów nie wystarczała już prosta filtracjaobrazu, biorąca pod uwagę tylko jeden piksel wejściowy. Ogranicza to możliwość wyodrębniania informacji oraz prędkości algorytmów, których czas wykonywania był ściśle związany z rozmiarem oraz ilością kanałów bitmapy. Wraz ze wzrostem tych parametrów czas przetwarzania diametralnie wzrastał, co uniemożliwiało pracę na obrazach w czasie rzeczywistym. Pierwsze telefony komórkowe z aparatem fotograficznym oraz popularyzacja telewizji kolorowej zmusiła do wykorzystania bardziej zaawansowanych metod przetwarzania cyfrowych obrazów.

Z pomocą przyszła znanajuż operacja – konwolucja (splot). Jest to działanie matematyczne dające w wyniku inną funkcję, a dokładniej zmodyfikowaną funkcję wejściową (d'Alembert, 1754). Dla przestrzeni jednowymiarowej można zapisać ją w następujący sposób:

$$H(t) = (f * g)(t) = \int_b^a f(t-x)g(x)dx = \int_b^a g(t-x)f(x)dx,$$ gdzie: H- wyjściowa funkcja,	(3)

f - pierwsza funkcja wejściowa, g- druga funkcja wejściowa, t - argument funkcji.	

Dla zbiorów dyskretnych:

$$H[t] = (f * g)[t] = \sum_{i=a}^{b} f[i]g[t-i] = \sum_{i=a}^{b} f[t-i]g[i],$$ gdzie: H - wyjściowa funkcja, f - pierwsza funkcja wejściowa, g – druga funkcja wejściowa, t – argument funkcji.	(4)

To nie rozwiązuje problemów algorytmicznych związanych z obrazem, gdyż jest on wielowymiarowy.

- Reprezentacja macierzy w komputerze

Wszystkie informacje w komputerze są zapisane, jako ciąg zer i jedynek. Ta najmniejsza informacja jest nazwana bitem, może ona przyjąć jedynie dwie wartości (Shannon, 1948):

- 0– oznaczające niskie lub brak napięcia
- 1 – oznaczające wysokie napięcie (np. 3,3 V)

Wszystkie dane składają się z powyższych jednostek informacji. Natomiast osiem bitów składa się w najmniejszą adresowaną jednostkę zwaną bajtem [B].

Wzoru trzeciego i czwartego nie możemy odnieść do obrazów, gdyż na komputerze wszystkie bitmapy są zapisane jako struktury tensorowe – zbiór macierzy obejmujących jeden kanał kolorów(rys. 3). Po ilości kanałów(tab. 1.) można odczytać ile barw zawieraobraz oraz ile bitów zostało przydzielone na każdy piksel.

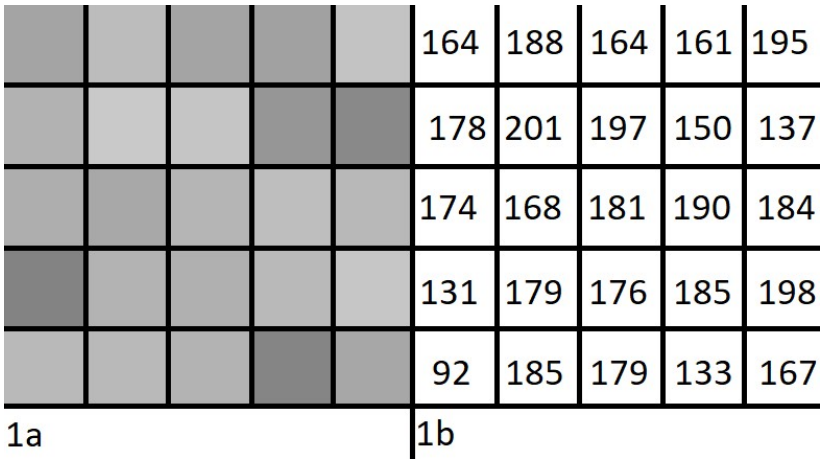
Tabela 16 Porównanie parametrów obrazu o różnych głębiach.

Głębia obrazu	Ilość kanałów (składowych koloru)	Ilość kolorów przypadających na jeden piksel	Ilość kolorów
1-bitowa	1	1	2
8-bitowa	1	255	255
24-bitowa	3	255	16581375
32-bitowa	4	255	16581375 + informacja o przezroczystości

1. Głębia 1-bitowa – jeden bit odpowiada każdemu pikselowi obrazu. Może on przyjmować dwa stany – 1 jest kolorem białym, natomiast 0 jest kolorem czarnym. Obraz powstały może dysponować maksymalnie dwoma kolorami, jest nazywany obrazem kreskowym.
2. Głębia 8-bitowa – osiem bitów przypisanych do jednego piksela, który może osiągnąć wartość z przedziału od 0 do 255. Powstały obraz jest w trybie szarości,więc

prezentuje jedynie odcienie szarości. Często można znaleźć określenie grayscale opisujące taki obraz.

3. Głębia 24-bitowa – każdy piksel przechowuje informacje na temat 3 kolorów. Wszystkie kolory zajmują 8 bitów pamięci oraz mogą przyjmować wartości od 0 do 255. Występuje w trybie RGB, co charakteryzuje, iż pierwsza wartość koloru opisuje odcień czerwieni, druga opisuje odcień zieleni oraz ostatnia opisuje odcień koloru niebieskiego. Możliwe jest zapisanie ponad 16 milionów kolorów, korzystając z tej głębi.
4. Głębia 32 – bitowa jest rozszerzeniem 24 – bitowej głębi koloru poprzez dodanie informacji o kanale alfa. Służy on do zwiększenia szybkości przesyłów obrazów oraz zawiera informacje na temat przezroczystości danego koloru. Rozszerza możliwość wyrażenia kolorów do ponad 4 miliardów.



Rys. 12 Przedstawienie reprezentacji obrazu rastrowego. 1a pokazuje bitmapę widoczną przez człowieka, natomiast 1b wygląd bitmapy dla komputera. Wartości celowo zostały przekonwertowane na system dziesiętny z binarnego z powodów czytelności.

2. Metody konwolucji macierzowej

- Metoda liniowa

Metoda liniowa konwolucji macierzowej opiera się na rozszerzeniu jednowymiarowego splotu dokładając wyższy wymiar. Można ją zapisać w następujący sposób:

$$H[m,n] = f[m,n] * g[m,n]$$
$$= \sum_i \sum_j f[i,j]g[m-i,n-j] = \sum_i \sum_j f[m-i,n-j]g[i,\square],$$

(4)

gdzie:
H– wyjściowa macierz,
f–pierwsza wejściowa macierz,
g – druga wejściowa macierz,
m, i - indeks wiersza,
n, j – indeks kolumny.

Algorytm 1. Konwolucja dwuwymiarowa

$i \leftarrow 0$
$j \leftarrow 0$
while $i < h$
while $j < w$
$k \leftarrow 1$
$h \leftarrow 1$
$sum \leftarrow 0$
while $k < kernel_h$
while $l < kernel_w$
$sum \leftarrow sum + bitmap[i + k, j + l] * kernel[k, l]$
end while
end while
$O[i, j] = sum$
end while
end while

Jedna wartość macierzy wynikowej powstaje poprzez operację kilku najbliższych punktach macierzy wejściowej. Można ją opisać jako wymnożenie wartości obu sygnałów oraz zsumowanie tych iloczynów. Pierwsza macierz nazywana jest zbiorem sygnałów podstawowych (przetwarzanych), natomiast druga sygnałów przetwarzających (filtr lub kernel). Rozmiar pierwszego zbioru dyskretnego powinien być znacząco większy, w przypadku drugiego wysokość i szerokość powinny być liczbami nieparzystymi.

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ 5 & 4 & 3 & 2 & 1 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ 5 & 4 & 3 & 2 & 1 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 3 & 2 & 1 \\ 1 & 2 & 3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} - & - & - & - & - \\ - & a & \cdots & b & - \\ - & \vdots & \ddots & \vdots & - \\ - & c & \cdots & d & - \\ - & - & - & - & - \end{bmatrix},$$

gdzie:

a- $1 * 1 + 2 * 2 + 3 * 3 + 5 * 3 + 4 * 2 + 3 * 1 + 1 * 1 + 2 * 2 + 3 * 3 = 54$

b- $3 * 1 + 4 * 2 + 5 * 3 + 3 * 3 + 2 * 2 + 1 * 1 + 3 * 1 + 4 * 2 + 5 * 3 = 66$

c– równe a

d – równe b

W stosowanej metodzie występuje tak zwany „problem brzegu ”, dotyczy on tylko„krawędzi ”sygnału. Polega on na niemożliwości wymnożenia wartości filtra z wartościami macierzy wejściowej, gdyż operacja musiałaby wyjść poza jej granice.Można go zredukować poprzez:

1. rozszerzenie macierzy źródłowej wartościami występującymi na jej brzegach lub przypisanie im wartości 0,
2. zwracanie wartości spoza macierzy przez odbicie lustrzane krawędzi,

3. macierz jest zawijana koncepcyjnie, a wartości są pobierane z przeciwnej krawędzi lub rogu,

- Metoda dyskretnej transformaty Fouriera

Dyskretna transformata Fouriera jest jedną z najbardziej popularnych i wydajnych metod służących do przetwarzania sygnałów. Powoduje wyeksponowanie właściwości częstotliwościowych(zwanych spektrum) lub harmonicznych funkcji zależnej od czasu.Pozwala to na syntetyzowanie i badanie obrazu w nieporównywalnie lepszym stopniu niż sygnału analogowego.Dyskretna transformata opiera się na ciągu liczbowym próbek sygnału oddalonych od siebie o tak zwany okres próbkowania.Odgrywa to ważną rolę w realizacjach różnych algorytmów przetwarzania tych danych. Pierwsze zastosowanie znalazła w opisaniu równań rozchodzenia się ciepła w ciałach stałych. Dzisiaj jest stosowana w każdej dziedzinie nauki inżynieryjnej. Do tego można zaliczyć wiele zastosowań wfizyce, kryptografii, teorii liczb, statystyce i probabilistyce. W 1962 roku dzięki użyciu transformacji Fouriera możliwe było przywrócenie struktury krystalicznej poprzez przeanalizowanie dyfrakcji rentgenowskiej.

Jej jednowymiarowe przekształcenie można zapisać tak:

$$H[t] = \sum_{n=0}^{N-1} a_n e^{\frac{-i2\pi kn}{N}},$$ gdzie: i–jednostka urojona, n–indeks próbki sygnału, a_n – wartość próbki sygnału, k – numer harmonicznej, N– liczba próbek.	(5)

Dyskretna transformata Fouriera ma duże znaczenie w zastosowaniu konwolucyjnym. W matematyce teoria o splotach stwierdza(Bracewell, 1999), że w odpowiednich warunkach transformata Fouriera splotu w jednej domenie (np. domenie czasu) jest równa mnożeniu punktowemu w innej domenie (np. domenie częstotliwości).

Przyjmijmy, że $\mathcal{F}\{f\}$ jest transformatą Fouriera funkcji f, to:

$$\mathcal{F}\{f * g\} = \mathcal{F}\{f\} \cdot \mathcal{F}\{g\}$$	(6)
$$\mathcal{F}\{f \cdot g\} = \mathcal{F}\{f\} * \mathcal{F}\{g\}$$	(7)

Żeby wyznaczyć wzór konwolucjimusimy zapoznać się z zagadnieniem transformaty odwrotnej.Umożliwia ona odwrócenie tego procesu i uzyskanie oryginalnego obrazu w

dziedzinie czasu przez przeprowadzenie IDFT(ang. InverseDiscreteFourier Transform) na wartościach A_kw dziedzinie częstotliwości. Wyrażamy ją wzorem:

$$a_n = \frac{1}{N}\sum_{k=0}^{N-1} A_k w_N^{kn}, 0 \le n \le N-1$$ gdzie: a_n – wartość próbki sygnału, n – indeks próbki sygnału, N– liczba próbek, k – numer harmonicznej, $w_N = e^{i\frac{2\pi}{N}}$.	(8)

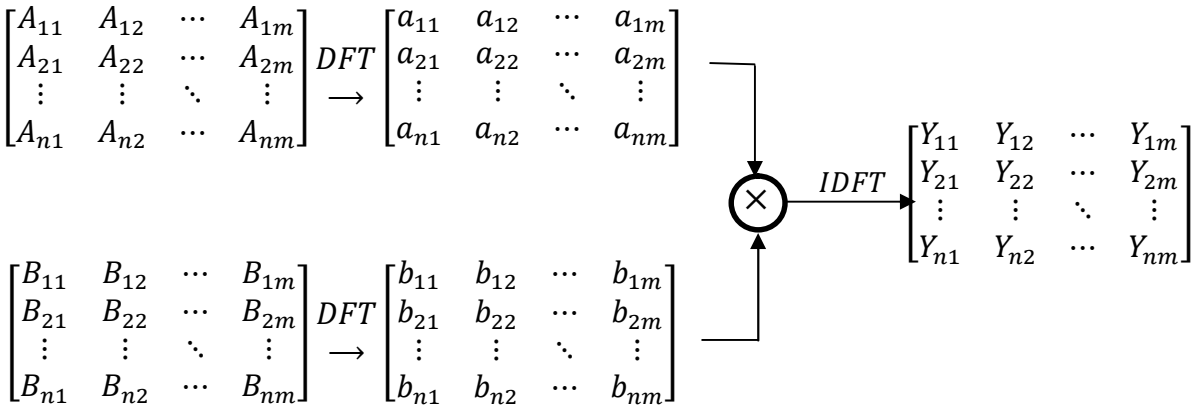
Korzystając z powyższej definicji możemy zapisać:

$$\mathcal{F}^{-1}\{f * g\} = \mathcal{F}^{-1}\{f\} \cdot \mathcal{F}^{-1}\{g\}$$	(9)
$$\mathcal{F}^{-1}\{f \cdot g\} = \mathcal{F}^{-1}\{f\} * \mathcal{F}^{-1}\{g\}$$	(10)

co daje w wyniku:

$$f * g = \mathcal{F}^{-1}\{\mathcal{F}\{f\} \cdot \mathcal{F}\{g\}\}$$	(11)
$$f \cdot g = \mathcal{F}^{-1}\{\mathcal{F}\{f\} * \mathcal{F}\{g\}\}$$	(12)

Jak odnieść tę metodę do macierzy? Możemy przyjąć, że macierz to dwuwymiarowa przestrzeń sygnałów. Każda jej wartość odpowiada wartości funkcji dwóch zmiennych w domenie czasu. Jeżeli dwa zbiory takich próbek sygnału poddamy transformacji, wymnożymy skalarniewszystkie wartości. Następnie na otrzymanym iloczynie przeprowadzamy odwrotną transformatę, ostatecznie otrzymujemy wynik konwolucji obu macierzy. Wynikowa macierz jest rozmiarów takich samych jak macierz wartości próbek sygnałów przetwarzających. Jest ona wolna od problemów związanych z „krawędziami ”, gdyż do obliczenia pełnego wyniku nie potrzebujemy wartości spoza macierzy wejściowych.



Warto wspomnieć opojęciu Szybkiej Transformaty Fouriera (FFT) jest to wydajniejsza, bardziej zoptymalizowana metoda obliczania Dyskretnej Transformaty Fouriera. Wektor powstały z tej metody to aproksymacja oryginalnej transformaty. Wielką zaletą tego algorytmu jest znacząca redukcja czasu obliczeń. Jednym z wymogów zastosowania tego odmiany transformaty jest określona ilość próbek, która powinna wynosić potęgę z dwóch. Metodą, której rozmiar danych zawsze będzie właściwy, jest uzupełnienie danych wejściowych na końcu zerami. Powodem takiego zabiegu jest bazowanie na metodzie dziel i zwyciężaj(Heideman, 1984), znanej z sortowania quicksort. Algorytm dzieli problem rekurencyjnie na coraz to więcej podproblemów, aż do uzyskania wyniku. Wynikowy ciąg można zapisać w następujący sposób:

$$X_n = \begin{cases} \mathrm{E}_n + e^{-\frac{i2\pi n}{N}} O_n & jeżeli\ k < \frac{N}{2} \\ E_{n-\frac{N}{2}} + e^{-\frac{i2\pi(n-N)}{2N}} O_{n-\frac{N}{2}} & jeżeli\ k \geq \frac{N}{2} \end{cases}, \quad (13)$$

gdzie:
E_n- element parzysty,
O_n- element nieparzysty,
N- liczba próbek.

- Metoda Winograd

Jest to dość innowacyjna metoda, która do celów konwolucyjnych została opisana pierwszy raz w 2015 roku przez AndrewaLavina oraz Scotta Graya (Andrew Lavin, 2015). Została zastosowana do dziedziny sztucznej inteligencji, a dokładniej splotowych sztucznych sieci neuronowych.Pierwszym krokiem algorytmu jest efektywne przekształcenie macierzy w dwuwymiarową tablicę. Macierz dzielimy na podmacierze, kopiujemy te wartości i zapisujemy, jako wektor.

Przyjmijmy, że p_k jest jedną z podmacierzy, można ją określić wzorem:

$$p_k = \begin{bmatrix} a_{ij} & \cdots & a_{i(j+kw)} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{(i+kh)j} & \cdots & a_{(i+kh)(j+kw)} \end{bmatrix}, \quad (14)$$

gdzie:
k – indeks podmacierzy, kw - szerokość kernela, kh - wysokość kernela,

$$i = \frac{k}{h},$$

h - wysokość macierzy wejściowej,

$$j = \frac{k}{w},$$

w - szerokość macierzy wejściowej.

Ostatecznie przekształcenie można zapisać w sposób następujący:

$$\begin{bmatrix} p_1 & \cdots & p_w \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{w*h} & \cdots & p_{w*h+w} \end{bmatrix} mx2vec \Rightarrow \begin{bmatrix} p1 \\ p2 \\ \vdots \\ p_{m*n+m} \end{bmatrix} \quad (15)$$

Aby zaprezentować działanie tego procesu($mx2vec$) warto przytoczyć przykład liczbowy:

$$\begin{bmatrix} 1 & \cdots & 10 \\ 11 & \cdots & 20 \\ 21 & \cdots & 30 \\ 31 & \cdots & 40 \end{bmatrix} mx2vec\ (2,5) \Rightarrow \begin{bmatrix} 1 & 21 & 6 & 26 \\ 11 & 31 & 16 & 36 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 15 & 35 & 20 & 40 \end{bmatrix}$$

Taka modyfikacja umożliwia zastosowanie operacji GEMM (GEneral Matrix to Matrix Multiplication) (Sharan Chetlur, 2014), która pozwala mnożyć ze sobą dwie bardzo duże macierze. Struktura algorytmu jest przyjazna implementacji równoległej, co w znacznym stopniu zwiększa jej wydajność.

Algorytm minimalnej filtracji dla liczenia $m \times n$ wyjść z filtrem o rozmiarach $r \times s$ nazywamy$F(m \times n, r \times s)$ i wymaga

$$\mu\big(F(m \times n, r \times s)\big) = (m + r - 1)(n + s - 1) \quad (16)$$

mnożeń. Niech wejściem będzie $i = (i_0, i_1, i_2, i_3)$ oraz kernel $k = (k_0, k_1, k_2)$, możemy wyprowadzić następujące wzory nawyjście m:

$$m_1 = (i_0 - i_2)k_0 \quad (17)$$

$$m_2 = (i_1 + i_2)\frac{k_0 + k_1 + k_2}{2} \quad (18)$$

$$m_1 = (i_2 - i_1)\frac{k_0 - k_1 + k_2}{2} \quad (19)$$

$$m_1 = (i_1 - i_3)k_2 \quad (20)$$

$$F(2,3) = \begin{bmatrix} i_0 & i_1 & i_2 \\ i_1 & i_2 & i_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k_0 \\ k_0 \\ k_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_1 + m_2 + m_3 \\ m_2 - m_3 - m_4 \end{bmatrix} \quad (21)$$

Przy użyciu pomocniczych macierzy C,G, A obrazujących znak oraz wartość współczynnika przy zmiennych i,k i m możemy wyprowadzić wzór na macierz wyjściową:

$$Y = A^T[(GgG^T) \odot (CiC^T)]A \quad (22)$$

Macierze C, G, A są indywidualne dla różnych ilości wejść oraz rozmiarów filtru. Dla przykładu dla $F(3 \times 3,2 \times 2)$ wyglądają następująco:

$$C^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} G = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} A^T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

3. Wyniki

Wszystkie badania zostały przeprowadzone na komputerze z procesorem i7 6700HQ. Zostały zaimplementowane w języku C# sekwencyjnie bez technologii wspierających obliczenia na karcie pamięci. Konwolucji podlegał jeden obraz skalowany do różnych rozdzielczości.

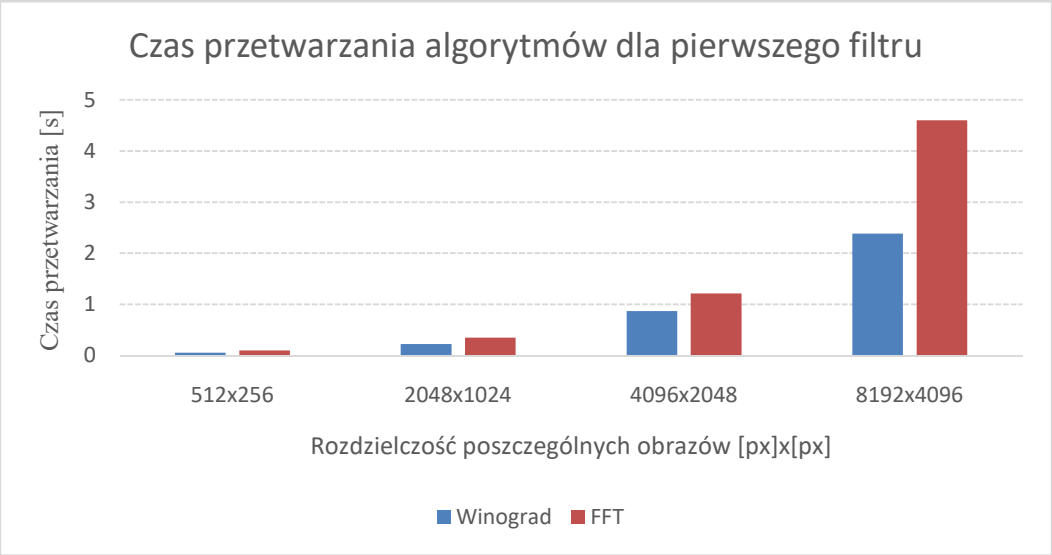
Rys. 13. Obraz podlegający konwolucji.

Do przeprowadzenia testów użyte zostały kernele o rozmiarach 2 x 2 oraz 3 x 3.Odpowiednio:

$$k_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} k_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

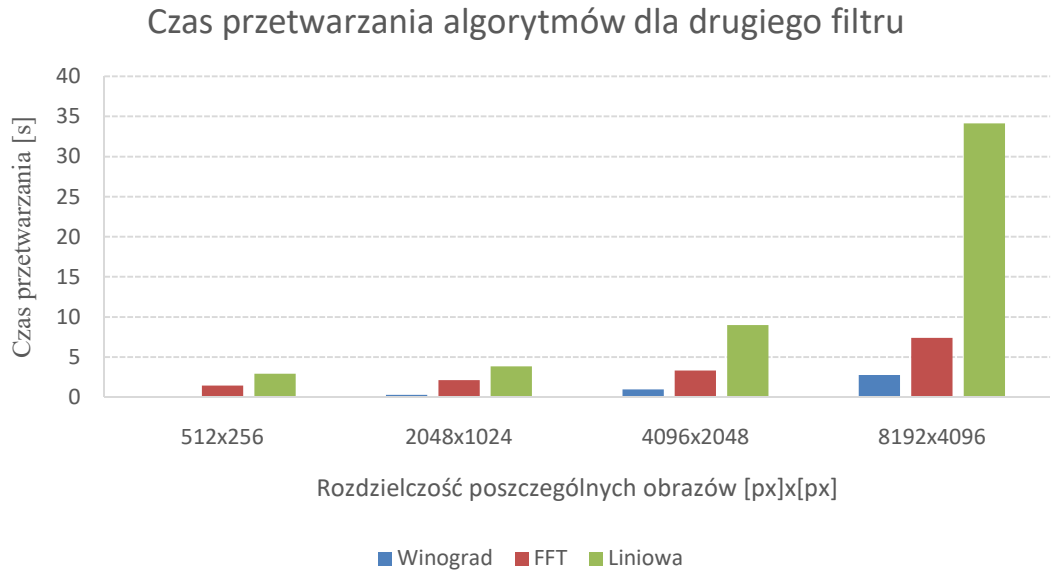
Filtry te w ogóle nie modyfikują obrazu wejściowego, jedynie FFT może pogorszyć, jakość przetworzonego obrazu ze względu na aproksymację.

Rysunek 5 obrazuje porównanie czasów wykonywania operacji splotu przy pomocy filtru k_1. Każda wartość jest średnią arytmetyczną dziesięciu czasów wykonania splotu na tych samych danych. Wraz ze wzrostem rozmiarów obrazu przewaga jest znacząca. Metoda liniowa została pominięta w tym porównaniu z powodu parzystej liczby wierszy i kolumn macierzy filtra.



Rys. 14 Porównanie czasów konwolucji macierzy filtrowanych przy pomocy algorytmów Winograd,FFT z kernelem$\boldsymbol{k_1}$. (opracowanie własne)

Następny rysunek (rys. 6) obrazuje czas algorytmów konwolucji przy tych samych rozmiarach macierzy, lecz o kerneluk_2 w rozmiarze 3x3.



Rys. 15. Porównanie czasów konwolucji macierzyfiltrowanych przy pomocy algorytmów Winograd,FFT i liniowejz kernelem$\boldsymbol{k_2}$. (opracowanie własne)

4. Dyskusja

Istnieje niewiele publikacji opisujących zagadnienie konwolucji w szczegółowy sposób. W przypadku przetwarzania zdjęć jest to temat niezwykle istotny, gdyż coraz popularniejsze są aplikacje modyfikujące obraz. Niewiele z autorów takiego oprogramowania rozważa o doborze dobrego i szybkiego algorytmu przetwarzania, dlatego najczęściej spotykanymi metodami są FFT i liniowa - w zasadzie w pełni wystarczające dla niespecjalistycznych zastosowań. Jednak w dziedzinach gdzie dokonuje się filtracji wielu gigantycznych obrazów

lub przetwarzania filmu w czasie rzeczywistym jesteśmy zmuszeni do wyboru najlepszych rozwiązań.

5. Wnioski

Różnice, które odnotowano w czasach działania algorytmów, wynikają z ilości potrzebnych operacji do uzyskania wyniku.Wraz ze wzrostem rozmiarów macierzy różnica między algorytmami wzrasta. Wynika to z nieefektywności oraz zbyt dużych złożoności obliczeniowych zwłaszcza dla algorytmu liniowej konwolucji. Przy obrazach większych niż 2048 na 1024 piksele czas przetwarzania tego algorytmu jest rozczarowujący.

Prezentowane w niniejszej pracy badania mają na celu zobrazowanie różnic czasowych podstawowych algorytmów konwolucji. Warto podkreślić możliwości dobrze zoptymalizowanego algorytmu, nie tylko pod kątem szybkości przetwarzania, ale też pod kątem prostoty przełożenia go na język programowania. Właściwa implementacja metod wymaga bardzo dużego nakładu pracy. Ilość składowych procedur poszczególnych algorytmów jest ogromna. Podstawowym warunkiem poprawnego mierzenia działania każdej z wyżej opisywanych metod jest stałe, wspólne środowisko uruchomieniowe oraz niezmienne dane wejściowe. Każda dodatkowo uruchomiona aplikacja może zaburzyć pomiar, wydłużając czas działania właściwego programu. Dodatkowo istnieje wiele cech opisujących algorytm, w niniejszej pracy skupiłem się na porównaniu tylko złożoności szybkości oraz złożoności obliczeniowej, dlatego prowadzenie dalszych badań dotyczących m.in. zdolności implementacji przetwarzania równoległego, czy możliwości wykonania opisywanych algorytmów na karcie graficznej uważamy za niezbędne.

6. Literatura

Andrew Lavin, S. G. 2015. Fast Algorithms for Convolutional Neural Networks.

Bracewell, R. 1999. The Fourier Transform & Its Applications 3rd Edition. New York.

d’Alembert, J. l. 1754. Recherches sur différents points importants du système du monde.

Dunne, J. A. 1976. Digital Processing of the Mariner 6 and 7 Pictures,.

Heideman, M. T. 1984. Gauss and the history of the fast Fourier transform.

Shannon, C. E. 1948. The Mathematical Theory of Communication. Bell System Technical Journal.

Sharan Chetlur, C. W. 2014. cuDNN: Efficient Primitives for Deep Learning. Santa Clara.

Wykorzystanie pogłosu bramkowanego w realizacji nagrań muzycznych

Maurycy Kin [(1)], Sylwia Prygoń [(1)]

[1] Katedra Akustyki i Multimediów, Wydział Elektroniki, Politechnika Wrocławska
Maurycy Kin: maurycy.kin@pwr.edu.pl

Streszczenie
Jednym z powszechnie stosowanych efektów dźwiękowych w procesie realizacji nagrań jest efekt pogłosu. Sygnał pogłosowy tworzony jest albo w sposób sztuczny (na drodze przetwarzania sygnałów), albo wykorzystuje się naturalne warunki akustyczne, w jakich nagrywane jest źródło dźwięku. W pracy przedstawiono ideę pogłosu bramkowanego i sposoby jego kształtowania. Przeprowadzono testy odsłuchowe dla 3 źródeł: gitary, saksofonu oraz głosu, nagrywanych w różnych pomieszczeniach. Okazało się, że dla uzyskania optymalnego brzmienia należy ustawiać inne wartości parametrów, szczególnie progu zadziałania bramki dla każdego z badanych źródeł, w zależności od pomieszczenia, w którym dokonano nagrania.

Słowa kluczowe: nagranie, pogłos, przetwarzanie dynamiki

Sound recording with gatedreverberation

Summary
The idea of gated reverberation and its processing methods are presented in the paper. The listening examination was done for three sources: guitar, alto saxophone and female singing. These sources had been recorded in three places with different acoustical conditions and then recordings have been evaluated by the three persons. It turned out that for all sources and all environments the set-ups of parameters, particularly the threshold values, should be different to obtain an optimal sound quality.

Keywords: recording, reverberation, processingof dynamics

1. Wstęp

Realizacja nagrań muzycznych to proces, który można podzielić na cztery główne etapy: rejestrację sygnałów, ich edycję, miksowanie oraz mastering. Każdy z tych etapów posiada istotny wpływ na ostateczny kształt nagrania. Muzycy wraz z realizatorami wciąż poszukują nowych, oryginalnych brzmień, eksperymentując na różnych etapach produkcji. Przykładem tych działań jest stosowanie przeróżnych technik mikrofonowania, procesorów dynamiki, korektorów graficznych, efektów.

Szukanie brzmień i dźwięków spotykanych w środowisku doprowadziło do rozwoju niestandardowych technik wydobycia dźwięku oraz różnorodnych technik ujęcia obrazu dźwiękowego. Nowe techniki wydobywania dźwięku i jego artykulacji na instrumentach tradycyjnych, przeznaczonych do konwencjonalnych sposobów gry powodują, że często parametrysygnału dźwiękowegouzyskanego przez zastosowanie takich technik sądalekie od doskonałości. Za przykład niech posłuży cała gama dźwięków tzw. szmerowych, cechujących się niższym poziomem, niż tym powstałym przy wydobywaniu dźwięków tradycyjnymi technikami, dlatego też pełnię wartości utworów, w których wykorzystywane są te efekty, w praktyce przedstawić można jedynie po zastosowaniu nowych technik wzmacniania i przetwarzania sygnałów (Brixen, 2011, Kadis, 2012). Problem znika, gdy mamy do

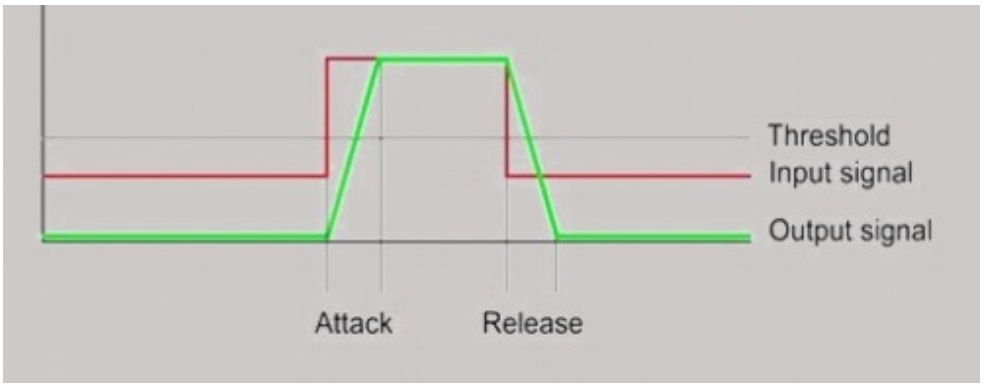
czynienia z nagraniem – wówczas wszelkie współcześnie dostępne techniki można zastosować na etapie produkcji nagrania. Z drugiej jednak strony istnieje zapotrzebowanie na tzw. „żywe" wykonania utworów zawierających takie techniki, a żadne nagranie, choćby najlepsze, nie zastąpi interakcji zachodzącej między wykonawcami, a publicznością. Sposobem na zaistnienie kompozycji wykorzystujących wyżej wspomniane techniki wydobycia i kształtowania dźwięku jest odpowiednie nagłośnienie instrumentu i umiejętna praca wykonawcy z mikrofonem oraz wykonanie określonego utworu w określonym miejscu, niekoniecznie w sali koncertowej o specjalnie ukształtowanych warunkach akustycznych. Jeśli te warunki nie są adekwatne do potrzeb, można posłużyć się przetwarzaniem sygnału w czasie rzeczywistym i skutecznie zasymulować (lub zwirtualizować) określone zjawisko dźwiękowe.

Pod koniec lat 70-tych XX w. w muzyce pojawił się nowy efekt- pogłos bramkowany. Powstaje on w skutek odcięcia poprzez bramkę szumów dźwięku pogłosu, bardziej gwałtownie niż w wyniku jego naturalnego, stopniowego zaniku. Brzmienie tego efektu może być nową kategorią estetyczną: przy dźwiękach o odpowiedniej dynamice i głośności otrzymujemy potężne brzmienie, z dużą zawartością sygnałów pogłosowych, ale jednocześnie głośne i wyraźne. Natomiast przy dźwiękach cichych, nie ma pogorszenia czytelności i wyrazistości dźwięku, ponieważ jego warstwa pogłosowa jest znikoma (Hubert, Runstein, 2014).Klasyczną metodą uzyskiwania tego efektu jest rejestracja śladów przy pomocy conajmniej dwóch mikrofonów- jednego umieszczonego w polu bliskim, drugiego w polu dalekim. Zadaniem pierwszego mikrofonu jest zebranie dźwięku bezpośredniego, natomiast przetwornik umieszczony w polu dalekim rejestruje odpowiedź pomieszczenia, która następnie przepuszczana jest przez bramkę szumów.W momencie, gdy wartość sygnału osiągnie lub przekroczy pewien poziom- bramka otwiera się i przepuszcza sygnał na wyjście, natomiast, kiedy emitowany sygnał opadnie poniżej tego poziomu- bramka zamyka się i odcina sygnał (Bazil, 2008, Hubert, Runstein, 2014). Działanie to obrazuje charakterystyka poziomu wyjściowego w funkcji poziomu wejściowego, widoczna na rys.1.

Podstawowymi parametrami, przy pomocy, których jesteśmy w stanie kontrolować działanie każdej profesjonalnej bramki szumów są: threshold(poziom graniczny, określający próg przepuszczenia bądź odcięcia sygnału) oraz regulatory obwiedni: attack(określa czas, który upłynie od momentu, gdy sygnał przekroczy próg zadziałania do chwili, w której bramka otworzy się i wypuści sygnał na wejście) irelease (czas, który upłynie od momentu, gdy sygnał opadnie poniżej progu zadziałania do chwili, w której bramka zamknie się i stłumi

sygnał na wyjściu) (Bregitzer, 2009). Rys.2 ukazuje działanie regulatorów obwiedni: attack i release.

Rys.1. Charakterystyka przejściowa bramki szumów



Rys.2. Działanie parametrów czasowych bramki szumów

Dodatkowym efektem takiego typu przetwarzania jest możliwa zmiana rozmiaru i położenia pozornych źródeł dźwięku (Kin, 2013), która powstaje w wyniku opóźnienia fali dźwiękowej dochodzącej nie w jednej chwili do obu mikrofonów oraz przesuwania się warstwy pogłosowej danego źródła w głąb dźwiękobrazu przy dźwiękach o mniejszej intensywności. Przy dźwiękach głośnych otoczenie pogłosowe „przybliża się" do słuchacza, co może wzmagać wrażenie głośności i dynamiki przekazu, w myśl zasady: coś, co jest bardziej wyraziste i w całości jest na pierwszym planie jest ważniejsze, a przez to staje się głośniejsze w kontraście do źródeł umieszczonych na dalszych planach.

Głównym celem pracy jest subiektywna ocena wpływu panujących w pomieszczeniu warunków akustycznych oraz dobranych parametrów bramki szumów na uzyskany efekt pogłosu bramkowanego przy wykorzystaniuuprzednio nagranego materiału dźwiękowego.

2. Nagrania

Nagrania odbyły się w trzech środowiskach: studiu nagrań Politechniki Wrocławskiej (czas pogłosu 0,2 s, pomieszczenie adaptowane), korytarzu tego studia (czas pogłosu ok. 0,8 s, pomieszczenie nieadaptowane, dość mocno odbijające dźwięk), a także w sali wielofunkcyjnej Strefy Kultury Studenckiej (czas pogłosu 1,5 s, pomieszczenie nieadaptowane). Zarejestrowano trzy źródła dźwięku- saksofon, gitarę klasyczną oraz wokal żeński. Są to instrumenty o dość powszechnym zastosowaniu w nagraniach muzycznych, jednak nie jest popularne realizowanie ich z wykorzystaniem pogłosu bramkowanego (z wyjątkiem wokalu). Podczas nagrań wszystkie dane sygnału oraz urządzeń były zarządzane przez ASIO (Audio Stream Input/Output), a nagrywano na twardy dysk komputera z wykorzystaniem stacji roboczej i programuSamplitude 10 Pro.Dźwięk został zapisany z 24-bitową rozdzielczością i częstotliwością próbkowania 44,1 kHz.

W czasie nagrań wykorzystano mikrofonySontronics STC-1, oraz AKG C212 – pierwszy z nich rejestrował sygnały pola dalekiego (reakcję pomieszczenia), natomiast AKG był używany, jako mikrofon pola bliskiego, bezpośrednio przy źródle. Takie rozwiązanie przyjęto ze względu na charakterystyki i brzmienia mikrofonów, ponieważ mikrofon Sontronics STC-1 charakteryzował się mniejszym „uszczegółowieniem" dźwięku, przydatnym w warstwie pogłosowej (Rumsey, 2017).

Proces pracy nad materiałem rozpoczął się od wyboru najlepszych ujęć z punktu widzenia, jakości wykonania muzyki, a następnie fragmentów nadających się najlepiej do ukazania efektu uzyskanego poprzez zbramkowanie ścieżki pogłosowej (pole dalekie).

W efekcie pogłosu bramkowanego bardzo ważną rolę odgrywa dynamika sygnału, rozumiana, jako rozpiętość pomiędzy dźwiękami: najcichszym i najgłośniejszym. Badane instrumenty charakteryzują się różną rozpiętością dynamiczną, więc w procesie nagrania należy odpowiednio wyregulować poziom zapisu, w celu uniknięcia przesterowania sygnału. Ponieważ podczas oceny dokonanych nagrań mógł pojawić się problem wynikający z różnego poziomu ekspozycji, a głośność sygnału dźwiękowego rzutuje na percepcję dźwięku muzycznego i jego ocenę (Kin, Chojnacka, 2016, Łętowski 1976), postanowiono wyrównać poziomy sygnałów z poszczególnych źródeł, aby te zmiany nie rzutowały na ogólne wrażenie ocenianych próbek dźwiękowych (Wendl, Lee, 2014).

Do dalszych badańzostało wybranych dwanaście wariantów doboru parametrów bramki szumów. Należy zaznaczyć, że ze względu na różne reakcje pomieszczeń na pobudzenia za pomocą poszczególnych instrumentów, parametry te różnią się od siebie w poszczególnych przypadkach. Wszystkie warianty nastawień parametrów bramki szumowej prezentuje Tab. 1.

Tab.1. Dobrane wartości parametrów bramki szumów

	Parametry	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Saksofon	Threshold [dB]	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-25	-25	-25	-25	-25	-25
	Attack [ms]	3	3	10	10	25	25	3	3	10	10	25	25
	Release [ms]	100	300	100	300	100	300	100	300	100	300	100	300
Gitara	Threshold [dB]	-16	-16	-16	-16	-16	-16	-22	-22	-22	-22	-22	-22
	Attack [ms]	2	2	10	10	25	25	2	2	10	10	25	25
	Release [ms]	100	300	100	300	100	300	100	300	100	300	100	300
Wokal	Threshold [ms]	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-22	-22	-22	-22	-22	-22
	Attack [ms]	2	2	15	15	25	25	2	2	15	15	25	25
	Release [ms]	100	300	100	300	100	300	100	300	100	300	100	300

3. Ocena uzyskanych efektów

W ocenie brzmienia zmodyfikowanego poprzez użycie bramki szumowej do bramkowania pogłosu wzięły udział trzy osoby, zatem nie jest to ocena słuchowa w ścisłym sensie, ale raczej są to uwagi eksploatacyjne, opisujące efekt przetwarzania. Dlatego też nie dokonano oceny statystycznej odpowiedzi, choćby ze względu na małą próbę badawczą. Warto też zaznaczyć, że poniższe opinie odnoszą się do odsłuchu za pomocą standardowego zestawu stereofonicznego, który emituje falę dźwiękową w formie skupionej wiązki (Kim, Choi, 2013); spostrzeżenia poczynione przy odsłuchu za pomocą słuchawek mogą dać zupełnie inne rezultaty.

- Wpływ pomieszczenia

W wyniku przeprowadzonych eksperymentów okazało się, że warunki akustyczne panujące w pomieszczeniu mają znaczący wpływ na barwę uzyskanych sygnałów oraz postrzeganie ich przestrzenności. Dla pomieszczeń o relatywnie małym czasie pogłosu (pomieszczenie studyjne) w momencie, gdy bramka przepuszcza sygnał, odbieramy głównie subiektywne wzmocnienie dźwięku.

Dla pomieszczeń bardziej pogłosowych (korytarz, a przede wszystkim sala wielofunkcyjna SKS), otwarta bramka poza słyszalnym wzmocnieniem zmienia barwę dźwięku, nadaje mu głębię, więcej przestrzeni. W dodatku poprzez zamykanie i otwieranie bramki mamy wrażenie dźwiękupływającego w panoramie lub w perspektywie.

- Wpływ parametrów bramki szumów

Dobranie odpowiednich wartości parametrów bramki szumów jest bardzo istotną kwestią. Wpływają one, bowiem znacząco na estetykę uzyskiwanego efektu. Bramka powinna działać płynnie, tak by nie powodować odczucia nienaturalności zachodzących procesów.

-Próg zadziałania (threshold): ilość możliwych doborów parametruzależy głównie od rozpiętości dynamicznej sygnału. Próg zadziałania ma wpływ na naturalność nagrania. Jeśli zostanie ustawiony w taki sposób, że przykładowo bramkowanie nastąpi w połowie frazy, wrażenie subiektywne będzie nacechowane zdecydowanym dyskomfortem. Najlepiej dało się to usłyszeć dla nagrań gitary, przy ustawionej wartości threshold -16 dB (warianty od I do VI, Tab.1).

Czasami trudno jest dobrać jedną wartość parametrutreshold dla całego utworu, dlatego warto, (jeśli jest to możliwe) wpłynąć na kształt obwiedni głośności niektórych fragmentów lub dobrać odpowiednie wartości osobno dla poszczególnych fragmentów nagrania.

- Parametr attack: W momencie krótkiego czasu ataku, gdy zbocze narastania sygnału jest zbyt strome dźwięk może zabrzmieć nienaturalnie. Da się wtedy słyszeć charakterystyczny moment otwierania się bramki. Dobrze ukazują to próbki wariantów I, II, VI, VII (tab.1) zarówno dla saksofonu, gitary klasycznej oraz wokalu.

- Parametr release: Stosunkowo krótki czas zaniku (ok. 100 ms) skutkuje „suchym" dźwiękiem, dodatkowo może też ucinać końcówki fraz powodując dyskomfort odbioru. Krótki czas zaniku wydaje się szczególnie nienaturalny dla próbek dźwiękowych pochodzących z najbardziej pogłosowej spośród lokalizacji- sali wielofunkcyjnej (SKS). Przy dłuższym wybrzmieniu dźwięk staje się zdecydowanie bardziej „soczysty", co szczególnie dało sięusłyszeć dla pary próbek dźwięku saksofonu - wariant V, VI (tab.1).

Krótki czas ataku połączony z krótkim czasem zaniku może powodować tzw.efekt „trzepotania" bramki. W niektórych fragmentach nagrań wokalnych dla czasu ataku 5 ms i czasu zaniku 100 ms można to zjawisko usłyszeć, jako powracające odbicia dźwięku.

Analiza testów eksploatacyjnych dokonanych nagrań wykazała pewną zależność pomiędzy percepcją wybranych atrybutów dźwięku, a czasem pogłosu panującym w danych pomieszczeniach. Inne wartości atrybutów dźwiękuzaobserwowano w testach nagranego materiału, niż podczas odsłuchów dokonanych „na żywo"podczas nagrań w poszczególnych pomieszczeniach. Okazało się, że poszczególne atrybuty dźwięku były lepiej percypowane z nagrania niż w odbiorze na żywo. Jest to uzależnione od charakterystyki kierunkowości mikrofonów wykorzystanych w nagraniu: mikrofon nie rejestruje odbić od tylnych ścian widowni, co skutkuje lepszym odbiorem nagrania, niż odbiorem na żywo w przypadku, gdy

sala ma nierówną charakterystykę czasu pogłosu. Ucho ludzkie ma szerszą charakterystykę kierunkowości, niż mikrofon użyty do rejestracji nagrania, natomiast mikrofon umożliwia bardziej selektywne ustawienie względem preferowanego źródła dźwięku, co redukuje negatywny wpływ niedoskonałości sali.

4. Wnioski i spostrzeżenia

Zastosowanie pogłosu bramkowanego w realizacji nagrań muzycznych może być bardzo szerokie. Przy wykorzystaniu tego efektu możemy wpłynąć na ostateczną formę brzmienia różnych źródeł dźwięku. Należy jednak wziąć pod uwagę, że uzyskanie zadowalającego efektu nie należy do najprostszych zadań. Istotny jest zarówno odpowiedni dobór parametrów bramki szumów, jak i warunki akustyczne pomieszczenia nagraniowego, co potwierdzają spostrzeżenia zawarte w niniejszej pracy. Nie można też zapomnieć o stworzeniu odpowiednich proporcji pomiędzy sygnałem zarejestrowanym mikrofonem w ujęciu bliskim (dźwięk bezpośredni), a ambientem- odpowiedzią akustyczną pomieszczenia (wczesne oraz późne odbicia fali dźwiękowej od powierzchni). W przeciwnym wypadku spójność nagrania zostanie zachwiana (Bregitzer, 2009, Kin, 2013).

Barwa dźwięku bezpośrednio wpływa na wrażenia estetyczne, natomiast czynnikami, które kształtują ją podczas procesu rejestracji są głównie warunki akustyczne panujące w pomieszczeniu, zastosowane mikrofony (różne charakterystyki przenoszenia, kierunkowość) oraz samo ujęcie mikrofonowe. Jeśli ścieżki na przykład gitary klasycznej brzmią nienaturalnie, to być może powodem tego jest niewłaściwe ustawienie mikrofonu względem instrumentu, np. mikrofon został umieszczony za blisko gitary lub za bardzo na wprost otworu rezonansowego. W takiej sytuacji mamy do czynienia ze zniekształceniem barwy dźwięku, który charakteryzuje się uwydatnieniem małych częstotliwości. Warto też zauważyć, że nie istnieją tzw. uniwersalne ujęcia mikrofonowe. Każda sytuacja nagraniowa wymaga, więc indywidualnego podejścia.

Za pomocą pogłosu możemy kształtować barwę (wzbogacić jej brzmienie poprzez nadanie „soczystości") oraz wpływać na przestrzeń dźwiękową (Kadis, 2012). W przypadku efektu pogłosu bramkowanego wartomieć świadomość wystąpienia niepożądanych efektów, związanych właśnie z postrzeganiem przestrzenności (Bregman, 1990). Większy pogłos powoduje, bowiem wrażenie oddalenia źródła od słuchacza, przez co może wystąpić efekt przejścia danego źródła na dalszy plan (zmiana perspektywy), a tym samym jego wyrazistość może być mniejsza. Zabieg pogłosu bramkowanego można, więc stosować bezpiecznie, gdy partia jest zróżnicowana dynamicznie, co umożliwia zastosowanie odpowiedniej edycji

w określonych fragmentach, tak, aby efekt zmian w perspektywie nie był niepożądany z estetycznego punktu odbioru (Huber, Runstein, 2014).

Często też zdarza się, że sygnał z pogłosu bramkowanego wymaga korekcji w dziedzinie częstotliwości w celu uzyskania spójności z brzmieniem końcowym utworu. Doświadczenia autorów sugerują w tym względzie wykorzystanie korektorów widma (equalizerów), gdyż posiadają one możliwości wystarczającego kształtowania brzmienia sygnałów. Trzeba jednak być ostrożnym w ich stosowaniu, ponieważ czasami łatwiej brzmienie „zepsuć", niż je poprawić. Świadomość charakterystycznych pasm częstotliwościowych dla danych instrumentów, (czyli takich, w których skupia się najwięcej energii brzmieniowej dla danego źródła), znacznie pomaga w posługiwaniu się tymi narzędziami. Trzeba być także ostrożnym przy dobieraniu dobroci filtrów.W praktyce znacznie lepiej sprawdza się stosowanie wielu wąskich filtrów niż pojedynczych szerokich. Łatwiej wtedy uzyskać pożądany efekt- pozwala to na stosowanie większych korekcji jedynie w ścisłym obrębie danej częstotliwości, unikając przy tym sytuacji, w której brzmienie instrumentu traci całkowicie swój charakter (Rumsey, 2015).

Należy też zauważyć, że na odbiór materiału dźwiękowego, a tym samym jego ocenę ma właściwe ukształtowanie wrażeń i przeżyć określonych przedmiotów estetycznych poprzez poznanie treści zawartych w tych przedmiotach i ich zapamiętanie (Wallis, 1963), a obcowanie z takimi przedmiotami wywołuje określony stosunek emocjonalny (Ossowski, 1933). Przedmioty estetyczne, a takimi są też próbki dźwiękowe użyte do badań, mogą być nośnikami komunikatów informacyjnych, które dodatkowo wzmagają emocje wywołane u odbiorcy (Morawski, 1985, Scruton, 1999), co może rzutować na wartość i charakter oceny, a tym samym na oryginalność brzmienia rejestrowanego instrumentu.

Podziękowania

Niniejsza praca została wykonana w ramach działalności statutowej Wydziału Elektroniki Politechniki Wrocławskiej - zlecenie nr 0401/0139/17.

5. Literatura

Bazil E., 2008. Sound Mixing: Tips and Tricks,PC Publishing, 46-50.

Bregitzer L., 2009. Secrets of Recording: Professional Tips, Tools & Techniques,Focal Press, 135-140.

Bregman A. S., 1990. Auditory scene analysis, MIT Press, Cambridge, MA, 73-83.

Brixen E. B., 2011. Audio Metering – Measurements, Standards and Practice,Elsevier Inc., Burlington, s. 205–241.

Huber D. M., Runstein R. E., 2014. Modern Recording Techniques, 8th Edition, Focal Press, 492-510.

Kadis J., 2012.The Science of Sound Recording,Focal Press, 176-181.

Kim Y-H., Choi J-W., 2013. Sound Visualization and Manipulation, Wiley, 1st edition,219-220.

Kin M. J., 2013.Controlling a size of virtual sources in musical recordings, w: Signal processingin sound engineering /Jan A. Adamczyk (ed.), Warszawa, IPPT PAN, 19-34.

Kin M.J., Chojnacka J., 2016. Badanie wpływu zmian dynamiki sygnałów muzycznych na ocenę barwy dźwięku kodowanego percepcyjnie, Przegląd Telekomunikacyjny – Wiadomości Telekomunikacyjne, nr 6, (2016), 344–347.

Łętowski T., 1976. Słuchowa ocena urządzeń elektroakustycznych, Centralny Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Radia i Telewizji, Warszawa, 139-143.

Morawski S., 1985. Na zakręcie: od sztuki do po-sztuki, w: Wybór pism estetycznych, Kraków,Universitas, 2007, 169-181.

Ossowski S., 1933. U podstaw estetyki, w: Wybór pism estetycznych, Kraków, Universitas, 2004, 61–69.

Prygoń S., Kin M. J., 2017. Badanie zauważalności zmian sceny dźwiękowej sygnałów poddanych różnym rodzajom kompresji, Mat. XVII Międzynarodowego Sympozjum Inżynierii i Reżyserii Dźwięku ISSET 2017, Warszawa.

Rumsey F., 2015. Recording In The Light Of New Technology, Journal of Audio Engineering Society, vol. 63, no.12, (2015), 1053-1057.

Rumsey F., 2017. Recording and reproduction. Studio myths and new technology, Journal of Audio Engineering Society, vol. 65, no.9, (2017), 776-780.

Scruton R., 1999. The Aesthetics of Music, Oxford University Press, Oxford, 78-79.

Wallis M., 1963. Świat sztuk i świat znaków, w: Wybór pism estetycznych, Kraków, Universitas, 2004, 247-248.

Wendl M., Lee H., 2014. The Effect of Dynamic Range Compression on Loudness and Quality Perception in Relation to Crest Factor, 136th AES Convention, Berlin, preprint 9021.

Zmiana atrybutów sceny dźwiękowej sygnałów poddanych różnym rodzajom kompresji

Maurycy Kin [(1)]

[1] Katedra Akustyki i Multimediów, Wydział Elektroniki, Politechnika Wrocławska
Maurycy Kin: maurycy.kin@pwr.edu.pl

Streszczenie
W pracy zbadano wpływ różnych algorytmów kompresji na postrzeganie zmian sceny dźwiękowej sygnałów audio. Przeprowadzono testy subiektywne, podczas których ocenie podlegały cztery atrybuty wrażenia słuchowego: panorama, perspektywa, barwa i głośnośćsygnałów dźwiękowych kodowanych percepcyjnie. Przeprowadzono badania subiektywne dla sześciu gatunków muzycznych. Okazało się, że wraz ze zmniejszeniem wartości przepływności subiektywnie odczuwana głośność maleje. Przeprowadzone badania wykazały ponadto, że złożoność sygnału ma wpływ na percypowaną jakość dźwięku poddanego kodowaniu percepcyjnemu.

Słowa kluczowe: atrybuty dźwięku, kodowanie, ocena subiektywna

Research of the detection of auditory scenechanges under different conditions of coding

Summary
Results of experiment on the influence of various kinds of signal compression on the detection of auditory scene changes has been presented in the paper. The research was based on the subjective tests in which three attributes of sound image have been examined. These were: loudness. panoramic impression, sound colour as well as the depth of sound image. Results indicated that the complexity of the tested sounds influenced the sound quality of perceptual coded sound and it was confirmed statistically.

Keywords: perception, perceptual coding, subjective assessment

1. Wprowadzenie

Z dźwiękiem cyfrowym kodowanym percepcyjnie styka się, na co dzień ogromna liczba użytkowników wszelkiego rodzaju mediów cyfrowych - czasem nawet nie zdając sobie z tego sprawy. Dźwięk w postaci cyfrowej znalazł powszechnie zastosowania w takich dziedzinach, jak: systemy transmisji dźwięku (cyfrowa radiofonia i telewizja), systemy rejestracji dźwięku, kinematografia, multimedia, urządzenia przenośne, czy dźwięk w Internecie. W związku z coraz większą objętością danych, wskazanejest, aby sygnały audio były kodowane jak najwydajniej. Realizacja tego zadania jest domeną procesu redukcji bitów. Najprostszym rozwiązaniem jest zastosowanie niższej częstotliwości próbkowania oraz mniejszej rozdzielczości bitowej, lecz ten zabieg skutkuje znaczną degradacją, jakości sygnału. Konieczne stało się, zatem wynalezienie innych metod pozwalających na zmniejszenie ilości informacji. W telekomunikacji dość powszechnie stosuje się kwantyzację nieliniową. Nie pozwala ona niestety uzyskać wystarczającej, jakości dla bardziej złożonych sygnałów fonicznych (np. muzyki). Najbardziej popularną metodą, znajdującą zastosowanie dla wszystkich rodzajów sygnałów jest tzw. kompresja danych.

Stopień kompresji, określający stosunek ilości danych przed kompresją do ilości danych po kompresji, zależy od konkretnego algorytmu. Dla metod kompresji bezstratnej uzyskujemy około 40-60 % redukcji zawartości, natomiast kompresja stratna może powodować redukcję nawet do kilku procent objętości danych pierwotnych (Pohlman 2010, Sayood 2012). Obecnie dostępna jest ogromna liczba algorytmów redukcji bitów, zarówno tych wykorzystujących kompresję stratną, jak i bezstratną (Lee, Horner 2010) aposzczególne kodeki są zoptymalizowane pod kątem różnych zastosowań. Kodowanie percepcyjne znalazło szerokie zastosowanie w transmisji i rejestracji sygnału fonicznego. Powstały m.in. standardy: Sony ATRAC opracowany na potrzeby rejestratora magnetooptycznego MD, czy Dolby Digital AC-3 stworzony do zastosowań w systemie wielokanałowego nagłośnienia kina cyfrowego, wybrany później, jako system kodowania dźwięku dla potrzeb telewizji wysokiej rozdzielczości HDTV (ang. *High Definition Televison*) oraz płyt DVD. Opracowano również standard kodowania danych audio/video o nazwie MPEG, który można uznać za najpowszechniej wykorzystywany w zastosowaniach multimedialnych.

W pracy przedstawiono wyniki badań subiektywnych zauważalności zmian poszczególnych atrybutów sceny dźwiękowej sygnałów fonicznych pod wpływem zastosowania różnego rodzaju kompresji danych: panoramy, perspektywy, głośności oraz barwy dźwięku.

2. Metoda i zakres badań

Eksperyment podzielony został na dwa etapy. W pierwszym przeprowadzono badania zauważalności głośności sygnałów dźwiękowych poddanych kompresji stratnej w zależności od przepływności bitowej, w drugim zbadano atrybuty przestrzenne nagrania oraz wrażenie barwy dźwięku poddanego różnym, najczęściej spotykanym algorytmom kompresji danych.

W badaniach zastosowano metodę porównawczą oceny, jakości sygnałów CCR (ComparisonCategory Rating) ze skalą siedmiostopniową: próbki w ciągu prezentowane są w parach, a słuchacz zawsze ocenia drugą próbkę względem pierwszej (ITU 1996). Na potrzeby opisywanych badań skalę tę przystosowano do oceny atrybutów przestrzennych oraz głośności i barwy, wg zasady: wąsko [-3] – szeroko [+3] (ocena panoramy), płasko [-3] – głęboko [+3] (ocena perspektywy), znacznie cichszy [-3] – znacznie głośniejszy [+3] (ocena głośności) oraz nieprzyjemna [-3] – doskonała [+3] (barwa dźwięku). Sygnałami referencyjnymi były nagrania z płyt CD.

W badaniach wzięło udział 11 osób, studentów specjalności Akustyka oraz Inżynieria Akustyczna, a wśród nich osoby wykształcone muzycznie i pracujące, jako realizatorzy dźwięku. Wszyscy słuchacze w przeszłości uczestniczyli w testach odsłuchowych oraz mieli

prawidłowy słuch. Każda z badanych osób powtórzyła test, co najmniej dwukrotnie, w odpowiednich odstępach czasu, co miało na celu weryfikację wiarygodności. W każdej z serii odsłuchowej wykorzystano inną wersję testu. W trakcie badań słuchacze zapisywali ocenę badanego atrybutu drugiej próbki dźwiękowej względem pierwszej na przygotowanym uprzednio kwestionariuszu.

Badaniom poddano sygnały audio różnego typu- wśród materiału testowego znalazły się zarówno próbki muzyczne różnych gatunków muzycznych oraz próbki, w których wiodącą rolę pełnią mowa (fragment słuchowiska) i efekty dźwiękowe (ścieżka dźwiękowa filmu). Badania głośności przeprowadzono z pięcioma różnymi przepływnościami: 256 kbit/s, 192 kbit/s, 128 kbit/s, 96 kbit/s oraz 64 kbit/s za pomocą kodeka MP3 i oprogramowania FFmpeg (FFmpeg Project, 2014). Sygnały muzyczne zakodowano z wykorzystaniem biblioteki libmp3lame, która bazuje na wysokiej, jakości enkoderze LAME, pracującym w warstwie III standardu MPEG (MP3), natomiast atrybuty złożone (barwa oraz wrażenia przestrzenne) badano przy użyciu próbek zakodowanych zgodnie ze standardem kompresji bezstratnej FLAC oraz algorytmami kompresji stratnej, tj. MPEG-1, warstwa III, MPEG-2 AAC (Advanced Audio Coding) oraz AC-3 (Dolby Digital) (Sayood 2012). Przepływność dla kompresji stratnej ustalono na poziomie 96 kbit/s, co jest zgodne z wynikami badań nad rozróżnialnością kodeków (Lee, Horner 2010, Rogowska 2015). Badanie zostało przeprowadzone w studio odsłuchowym Politechniki Wrocławskiej.

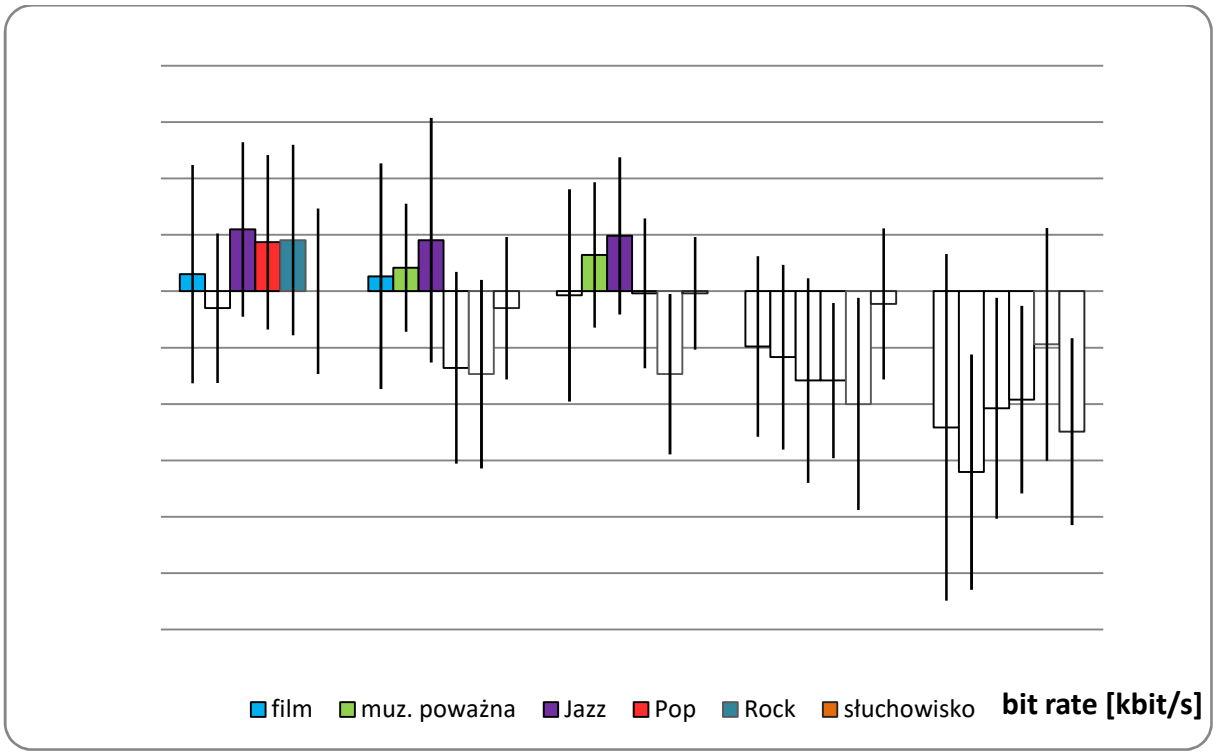
Testy składały się z ciągu uczącego oraz czterech ciągów testowych, a każdy z nich zawierał dziesięć par sygnałów. Pomiędzy próbkami w parze występowała przerwa 1-sekundowa, pomiędzy parami sygnałów - 4-sekundowa, natomiast po każdym z ciągów następowało około 15 sekund ciszy. Badanie trwało około 26 minut (panorama, perspektywa oraz barwa), a badanie głośności sygnałów kodowanych percepcyjnie trwało 18 minut. Ponieważ oba testy wykonywano w oddzielnych dniach, nie zdecydowano się na wprowadzenie dłuższych przerw, które są jak najbardziej zalecane w trakcie testów trwających więcej niż 30-40 minut (Łętowski 1976). Poziom ekspozycji dźwięku wynosił około 85 dB A, co jest wartością optymalną dla tego typu badań (Kleczkowski 2013).

3. Wyniki badań

- Głośność sygnałów skomprymowanych stratnie

Wyniki testów odsłuchowych, przedstawiające zależność głośności sygnałów muzycznych kodowanych percepcyjnie od przepływności bitowych dla badanych gatunków muzyki zamieszczono na rys.1.Analiza wyników pozwoliła stwierdzić, że najmniejsze odchylenia standardowe wyników wystąpiły dla muzyki poważnej, słuchowiska oraz muzyki

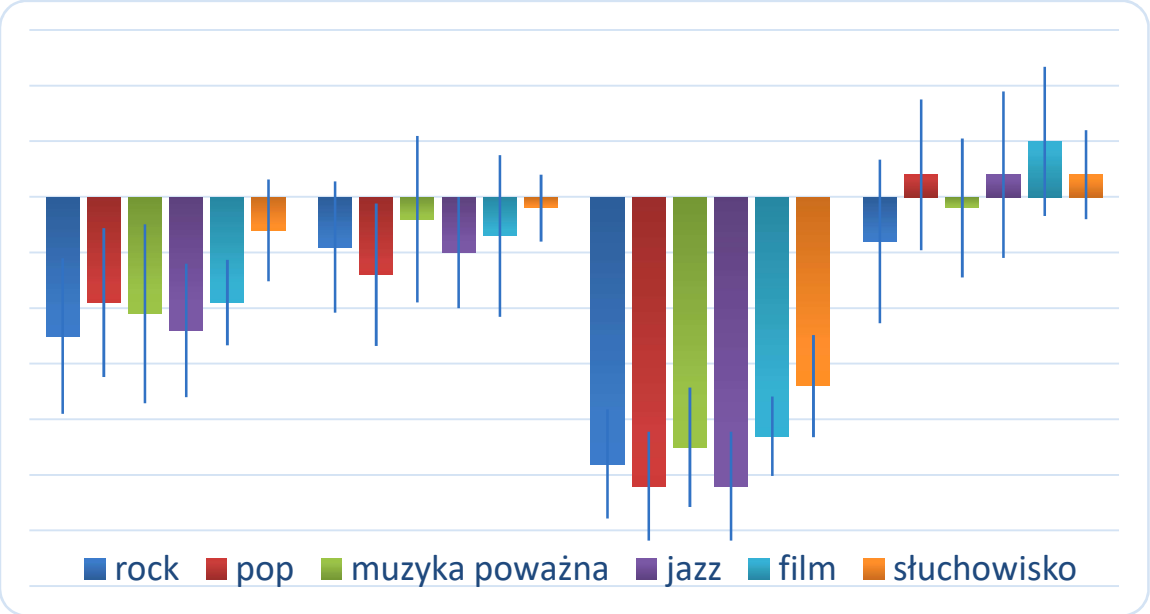
pop, a największe – dla ścieżki dźwiękowej filmu oraz jazzu. Istotnym czynnikiem mógł być zakres dynamiki poszczególnych próbek dźwiękowych, mogący wpływać na dokładność przyznawanych ocen. Próbki muzyki poważnej oraz jazzu zawierały fragmenty różniące się chwilowymi poziomami głośności, a w przypadku próbki jazzu wspomniane fragmenty delikatnie różniły się również barwą, wskutek odpowiedniej aranżacji utworu, co wpłynęło na jednoznaczność oceny. Największe odchylenia standardowe zaobserwowano dla najniższych przepływności bitowych, co nie było raczej zaskoczeniem. W celu zweryfikowania hipotezy, że kodowanie percepcyjne sygnałów muzycznych nie ma wpływu na ich głośność, zastosowano test analizy wariancji dla wielu średnich. Dla wszystkich gatunków muzycznych przy zastosowaniu testu*F*-Snedecora na poziomie istotności $\alpha = 0{,}05$ potwierdzono istotny wpływ wartości przepływności bitowej na głośność próbek ($F > F_{kr} = 2{,}43$) (Greń 1974). Warto dodać, że dokładna interpretacja poszczególnych ocen z siedmiostopniowej skali zamieszczona została w kwestionariuszu ocen dla słuchaczy. W przypadku dwóch najniższych przepływności bitowych różnice w głośności były zauważalne w różnym stopniu, w zależności od gatunku dźwiękowego (różnica głośności fragmentu słuchowiska była minimalna). Dla najwyższej przepływności bitowej słuchacze nie dostrzegali różnicy w głośności sygnałów, bądź – w przypadku kilku gatunków dźwiękowych – oceniali sygnały kodowane stratnie, jako nieco głośniejsze. Dla pozostałych przepływności bitowych nie zaobserwowano jednoznacznych zależności.



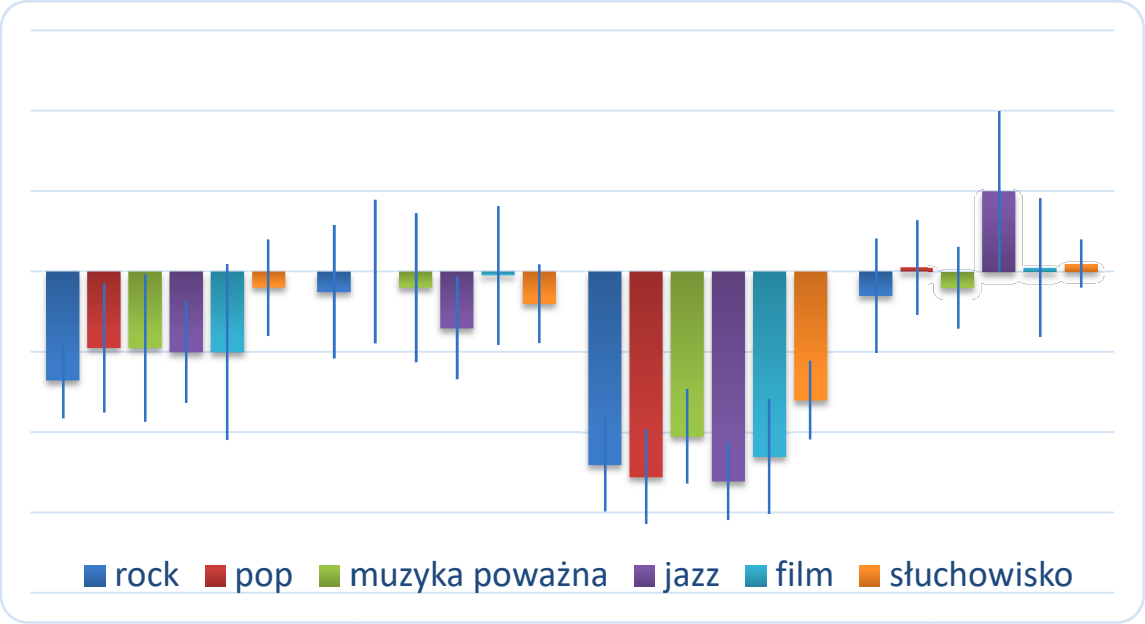
Rys. 1. Wartości średnie oraz odchylenia standardowe dla oceny głośności w zależności od przepływności.

- Atrybuty przestrzenne sygnałów dźwiękowych kodowanych różnymi metodami

Rysunki 2 i 3 prezentują uśrednione wyniki uzyskane dla atrybutów przestrzennych dźwięku (panorama oraz perspektywa) oraz wszystkich kodeków, uzyskane podczas eksperymentu, z podziałem na oceniane gatunki. Można zauważyć, jak duże różnice, w jakości dźwięku występują pomiędzy badanymi algorytmami kompresji stratnej przy przepływności 96 kbit/s. Wyraźnie widać, że przy kodowaniu AC-3 zaobserwowano największe pogorszenie, jakości badanych atrybutów. AAC wypadło w opinii słuchaczy najlepiej. Uzyskiwane wyniki wahały się od 0 do -1 i ostatecznie poszczególne średnie nie przekroczyły -0,4. Warto zauważyć, że najmniejsze odchylenia standardowe przypadają dla ocen próbki AC-3, czyli tej, która została oceniona, jako najbardziej zdegradowana. Dziwić może stosunkowo duże wartościodchyleń standardowych dla próbek FLAC, które zgodnie z teorią nie różnią się od próbek referencyjnych. Można to tłumaczyć efektem psychologicznym - porównując próbki w parze czasami „na siłę" staramy się rozróżnić próbki i wybrać tę minimalnie lepszą/gorszą. Dla każdego z algorytmów najmniejszą zauważalność zmian atrybutów przestrzennych zaobserwowano dla słuchowiska radiowego oraz filmowych ścieżek dźwiękowych, które zostały ocenione, jako bliskie oryginału. Może to sugerować, że dla sygnałów o mniejszej złożoności algorytm kodowania odgrywa mniejszą rolę. Dla zmian w perspektywie sygnału obserwujemy tę samą zależność, co dla panoramy - kodek wpływa znacząco na zmiany w sygnałach muzycznych, natomiast wpływ na próbki, gdzie dominuje mowa czy efekty dźwiękowe, jest znacznie mniejszy.



Rys. 2. Wartości średnie oraz odchylenia standardowe wg rodzaju sygnału uzyskane dla atrybutu „panorama".



Rys. 3. Wartości średnie oraz odchylenia standardowe wg rodzaju sygnału uzyskane dla atrybutu „perspektywa”.

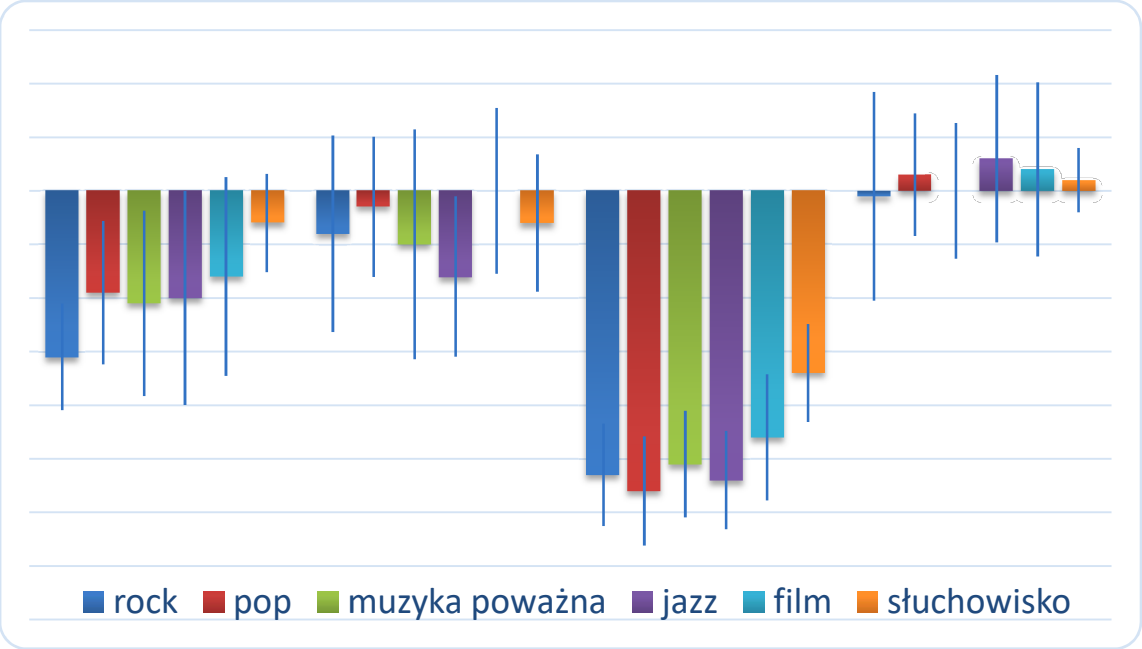
- Ocena barwy dźwięku kodowanych sygnałów

Na rys. 4. przedstawiono wyniki oceny porównawczej barwy dźwięku uzyskane podczas eksperymentu. Największe zmiany barwy odnotowano dla próbek rockowych, a także dla jazzu i muzyki klasycznej. Próbki gatunku rock charakteryzują się szerokim widmem, dzięki czemu łatwiej jest zauważyć zmiany, które zachodzą w dziedzinie częstotliwości. Jako najczęstszy powód wystawiania niskich ocen dla gatunku rock, uczestnicy testu podawali uwydatnienie małych częstotliwości. Muzyka klasyczna oraz jazz są przykładami sygnałów o szerokim zakresie dynamiki, co zwiększa prawdopodobieństwo zauważenia różnicy w brzmieniu. Porównując otrzymane wyniki z ocena atrybutów przestrzennych można zauważyć także inną tendencję - pogorszenie oceny barwy postępuje wraz ze zmniejszeniem się objętości planu dźwiękowego (zawężenie panoramy oraz „obcięcie” głębi).

Dla potwierdzenia opisanych spostrzeżeń przeprowadzono test jednorodności wielu wariancji (test Bartletta) z hipotezami zerowymi o braku wpływu algorytmu kodowania na zauważalność zmian poszczególnych atrybutów. Dla poziomu istotności $\alpha = 0{,}05$ dla każdego z przypadków uzyskano nierówność $\chi^2 > \chi^2_{\alpha}$, a więc wszystkie hipotezy zerowe zostały odrzucone, co dowodzi, że algorytm kodowania wpływa zarówno na zmiany panoramy, perspektywy, jak i barwy dźwięku sygnału fonicznego.

Kolejnym przeprowadzonym testem statystycznym był test sumy rang (Greń 1974), pozwalający uszeregować algorytmy od „najlepszego” do „najgorszego”, zgodnie z preferencjami słuchaczy. Dla poziomu istotności $\alpha = 0{,}05$ uzyskano wartości statystyki $\chi^2 >$

χ^2_{α}, co pozwala uszeregować badane algorytmy pod względem jakości w następującej kolejności: 1. FLAC, 2. AAC, 3.MP3, 4.AC-3, gdzie niższy numer oznacza sygnał mniej zdegradowany.



Rys. 4. Wartości średnie oraz odchylenia standardowe wg rodzaju sygnału uzyskane dla atrybutu „barwa dźwięku".

4. Podsumowanie

Badania przeprowadzone w ramach niniejszej pracy wykazały wpływ algorytmu oraz parametrów kodowania dźwięku na postrzeganie zmian sceny dźwiękowej sygnału. Odnotowane zostały różnice w głośności, panoramie, perspektywie oraz barwie badanych sygnałów. Wyniki badań subiektywnych wskazują na pewną zależność wrażenia głośności sygnałów muzycznych od wartości przepływności bitowej. Zastosowana metoda z paradygmatem porównawczym pozwoliła na zminimalizowanie niepewności w dokonywanych ocenach, ponieważ kryterium, którym kierowali się słuchacze, odnosiło się do następujących po sobie bodźców i jedyne wartościowanie opinii tyczyło się bezpośrednio danej cechy oceny (Morawski 1985).W przypadku muzyki symfonicznej można było przyjąć, że kodowanie percepcyjne z przepływnościami bitowymi z przedziału od 256 do 128 kbit/s nie miało wpływu na głośność sygnałów (różnice oscylowały w granicach zera i były nie większe niż 0,32). Sygnały zakodowane z dwiema najniższymi przepływnościami percypowano, jako nieznacznie, bądź zauważalnie cichsze. Największy wpływ kodowania na głośność zaobserwowano dla muzyki symfonicznej i przepływności bitowej wynoszącej 64 kbit/s, gdzie średnia ocena wyniosła -1,60. Można było uznać, że kodowanie sygnału o dużej

dynamice oraz szerokim paśmie częstotliwościowym z zastosowaniem niskiej przepływności bitowej miało wyraźny wpływ na percypowaną głośność.Nie dziwi, więc fakt, że w Internecie najczęściej spotykanymi zasobami są MP3 o przepływnościach 96 kbit/s oraz 128 kbit/s (Pohlman 2010, Sayood 2012). Ciekawe wyniki uzyskano w przypadku słuchowiska. Dla przepływności bitowych z przedziału 256 ÷ 96 kbit/s oceny osiągnęły wartości niemalże równe zeru, zatem można jednoznacznie stwierdzić, że kodowanie percepcyjne nie miało tu wpływu na głośność sygnałów. Dla przepływności 64 kbit/s słuchacze zaobserwowali zauważalny spadek głośności (-1,25). Jazz okazał się jedynym gatunkiem muzyki, gdzie sygnały zakodowane z trzema najwyższymi przepływności bitowymi były percypowane, jako minimalnie głośniejsze. Dla przepływności 96 oraz 64 kbit/s zaobserwowano nieznaczny spadek głośności sygnałów kodowanych względem próbki referencyjnej.

Barwa dźwięku w utworach muzycznych zależy przede wszystkim od obsady i złożoności warstwy muzycznej. Z kolorystyką ściśle związana jest także dynamika – obydwa te elementy stanowią integralną całość – tworzą paletę nastrojów, która jest istotna w kreowaniu muzyki. Sposób rozwijania materiału melodycznego jest wyznacznikiem rozwoju dynamicznego. Rola dynamiki ma wpływ na formowanie napięć i nastrojów poszczególnych części utworu (Micker, 2010). Można zauważyć, że jeśli dźwiękowy materiał muzyczny charakteryzował się obecnością partii wokalnych, wyraźnym rytmem perkusyjnym oraz intensywnym brzmieniem w zakresie małych częstotliwości, to oceny są niższe, niż w przypadku materiału o mniejszej złożoności. Jeśli pasmo częstotliwościowe sygnału skoncentrowane było w rejonie niskich oraz średnich częstotliwości, a udział wysokich częstotliwości nie był zbyt znaczący, to wspomniane cechy sygnału mogły mieć wpływ na otrzymane wyniki pomiaru. Dostrzegalny, więc wydaje się być związek pomiędzy rodzajem sygnału, a zarejestrowaniem zmian - sygnały o mniejszej złożoności (mowa, efekty dźwiękowe) były zawsze ocenianie wyżej niż próbki muzyczne. Duże znaczenie na percepcję zmian mają tu tzw. indywidualne preferencje słuchaczy. Osoby, które, na co dzień słuchają przede wszystkim muzyki rockowej, najszybciej „wyłapią” zmiany, w obrębie tego gatunku. Podobne preferencje były już notowane w literaturze w odniesieniu do percepcji sygnałów poddanych kompresji amplitudy(Ronan i in. 2017, Wendl, Lee 2014).Nie bez znaczenia jest też fakt, że nagrania oryginalne, albo zbyt sterylne, mogą być ocenione, jako nienaturalne, więc po zakodowaniu, przy zwiększeniu poziomu zniekształceń, część z nich jest oceniana, jako bardziej naturalne (Fastl, Zwicker 2007).

Kompresja utworów muzyki poważnej objawia się zmianą wyobrażenia o pomieszczeniu, w którym nagranie zostało dokonane, ponieważ zmiana poszczególnych

składników warstwy pogłosowej nagrania (wczesne odbicia, charakter zaniku czy przejrzystość zdarzeń dźwiękowych) wpływa na wrażenia estetyczne (Vorländer 2008). Wraz z ciągłością przestrzenną tworzy się kontinuum w przestrzeni dźwiękowej, gdzie zacierają się różnice między poszczególnymi źródłami. Można, więc ów fakt zgeneralizować na całość konstrukcji dźwiękowej: jeżeli z pojedynczych form-części utworzona jest spoista całość, to dodanie lub usunięcie elementów tworzących tę spoistość jest zawsze wyraźnie spostrzegane, podobnie jak to ma miejsce w przypadku przestrzeni wizualnej (Żórawski 1962). Aby taką zmianę usłyszeć osoba musi jednak być osłuchana z tego rodzaju sygnałami.

Oceny próbek po kompresji bezstratnej wydają się potwierdzać teorię, która mówi, iż w procesie takiego kodowania nie są usuwane żadne informacje, a tym samym, jakość dźwięku nie ulega znaczącej degradacji. Natomiast rezultaty uzyskane dla sygnałów kodowanych percepcyjnie z przepływnością bitową 96 kbit/s dowodzą utraty pewnych informacji podczas kodowania (Brachmański, Dobrucki 2016). Wykrycie zmian dla przepływności większych bądź równych 128 kbit/s nie jest już tak oczywiste, i wraz z ich wzrostem staje się coraz trudniejsze (Hoegh, Lauterbach 2003, Kin 2013, Rogowska 2015). Porównując uzyskane wyniki z wcześniejszymi pracami (Kin, Chojnacka 2016, Prygoń, Kin 2017) należy zaznaczyć, że niezwykle istotny zdaje się być wpływ warunków odsłuchowych pomieszczenia oraz sprzętu odsłuchowego: nie wszystko to, co wyraźnie dało się usłyszeć na profesjonalnych monitorach, byłoby w równym stopniu percypowane w warunkach odsłuchu domowego, co tłumaczy popularność kodowania stratnego w systemach mniej profesjonalnych.

Zgodnie z przeprowadzonymi badaniami można wnioskować, że zmiany słyszalne po kompresji, raczej nigdy nie zachodzą w obrębie jakiegoś jednego parametru sceny dźwiękowej. Jeśli zostało wykryte pogorszenie barwy, to według słuchaczy również zmieniły się atrybuty przestrzenne lub głośność, w myśl reguł percepcji i interpretacji bodźców złożonych (Ossowski 1933, Morawski 1985). Pogorszeniu barwy w około 90 % towarzyszyło zawężenie panoramy oraz zmniejszenie wrażenia głębi sygnału.

Podziękowania

Niniejsza praca została wykonana w ramach działalności statutowej Wydziału Elektroniki Politechniki Wrocławskiej - zlecenie nr 0401/0139/17.

5. Literatura

Brachmański S, Dobrucki A., 2016. Subiektywna ocena wpływu techniki kodowania na jakość sygnału muzycznego, Przegląd Telekomunikacyjny – Wiadomości Telekomunikacyjne, nr 6, (2016), 487-490.

Fastl H., Zwicker E., 2007. Psychoacoustics – Facts and Models, 3rd Edition, Springer, Berlin, 359-366.

Greń J., 1974. Statystyka matematyczna – modele i zadania, PWN, Warszawa, 92-160.

Hoeg W., Lauterbach T., 2003. Digital Audio Broadcasting, Principles and Applications of Digital Audio, Wiley, 2nd Edition, 76-120.

ITU-T Recommendation P. 800, Methods for subjective determination of transmission quality, International Telecommunication Union, 1996.

Kin M., 2013. Subjective evaluation of sound quality of musical recordings transmitted via DAB+ system, 134th AES Convention, Roma, preprint 8874,.

Kin M., Chojnacka J., 2016. Badanie wpływu zmian dynamiki sygnałów muzycznych na ocenę barwy dźwięku kodowanego percepcyjnie, Przegląd Telekomunikacyjny – Wiadomości Telekomunikacyjne, nr 6, (2016), 344–347.

Kleczkowski P., 2013. Percepcja dźwięku, Wydawnictwo AGH, Kraków,124-131.

Lee C., Horner A., 2010. Discrimination of MP3-Compressed musical instrument tones, Journal of Audio Engineering Society, vol. 58, no.6, (2010), 487-497.

Łętowski T., 1976. Słuchowa ocena urządzeń elektroakustycznych, Centralny Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Radia i Telewizji, 139-143.

Micker M., 2010. Sonata na altówkę i fortepian w twórczości kompozytorów polskich XX wieku, Wyd. Akademii Muzycznej im. K. Lipińskiego, Wrocław, 111-116.

Morawski S., 1985. Na zakręcie: od sztuki do po-sztuki, w: Wybór pism estetycznych, Kraków, Universitas, 2007, 169-181.

Ossowski S., 1933. U podstaw estetyki, w: Wybór pism estetycznych, Kraków, Universitas, 2004, 61–69.

Pohlmann K. C., 2010. Principles of Digital Audio,McGraw-Hill Education TAB,426-455.

Prygoń S., Kin M. J., 2017. Badanie zauważalności zmian sceny dźwiękowej sygnałów poddanych różnym rodzajom kompresji, Mat. XVII Międzynarodowego Sympozjum Inżynierii i Reżyserii Dźwięku ISSET 2017, Warszawa.

Rogowska A., 2015. Czy słyszymy kompresję?, Mat. XVI Międzynarodowego Sympozjum Inżynierii i Reżyserii Dźwięku ISSET 2015, Warszawa, 140-145.

Ronan M., Ward N., Sazdov R., Lee H., 2017. The Perception of Hyper-compression by Mastering Engineers, Journal of Audio Engineering Society, vol.65, No.7/8, (2017), 613 – 621.

Sayood K., 2012. Introduction to Data Compression, (4th Edition), Elsevier, Waltham, MA., 569-590.

Vorländer M., 2008. Auralization, Springer, RWTH edition, Berlin, 92-99.

Wendl M., Lee H., 2014. The Effect of Dynamic Range Compression on Loudness and Quality Perception in Relation to Crest Factor, 136th AES Convention, preprint 9021.

Żórawski J., 1962. O budowie formy architektonicznej, w: Wybór pism estetycznych, Kraków Universitas,2008, 146-147.

Analiza lokalizacji elektronicznych tablic rozkładowych na przystankach MPK we Wrocławiu z wykorzystaniem GIS i metody AHP

Jakub Łuczak [(1)], Monika Chojwa [(2)]

[1] Zakład Geodezji i Geoinformatyki, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Politechnika Wrocławska
[2] Koło Naukowo-Badawcze GIS, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Politechnika Wrocławska
Jakub Łuczak: jakub.luczak@pwr.edu.pl

Streszczenie
W niniejszym artykule przedstawiono ocenę możliwości wielokryterialnej metody hierarchicznej analizy problemu decyzyjnego (ang. *Analytic Hierarchy Process*, AHP) w rozwiązywaniu problemów przestrzennych z wykorzystaniem systemów informacji geograficznej (GIS). Jako przykład posłużyła analizy lokalizacji elektronicznych tablic przystankowych we Wrocławiu.
We współczesnym transporcie publicznym ważną jego cechą jest dążenie do coraz to większej funkcjonalności. Istotnym elementem tego procesu są elektroniczne tablice przystankowe, niewątpliwie wpływające na podniesienie komfortu użytkowania z komunikacji miejskiej i usprawnienie jej organizacji.
Rezultatem przeprowadzonej analizy jest rozkład prezentujący wartości wskaźnika, który może zostać uznany za determinujący wyposażenie przystanków w elektroniczną tablicę rozkładową. Wyniki przeprowadzonej analizy wskazują, że zestawienie metody AHP z możliwościami systemów informacji geograficznej stanowi doskonałe narzędzie do wykonania tego typu analiz.

Słowa kluczowe: Systemy Informacji Geograficznej, analiza wielokryterialna, metoda AHP, komunikacja miejska, elektroniczna tablica rozkładowa

Analysis of electronic timetables location on bus and tram stops in Wroclaw using GIS and AHP method

Summary
This paper presents the assessment of the possibility of Analytic Hierarchy Process (AHP) method in solving spatial problems using geographical information systems (GIS). The example used in analysis was location of electronic timetables on bus and tram stops in Wroclaw.
The one of the most important features in modern public transport is striving for more and more functionality. An important component of this process is installing electronic timetables on tram and bus stops, which undoubtedly improve the comfort of public transport users.
The result of analysis is factor for each stop in study area, which value can be considered as determining the validity of installing electronic timetable on every bus and tram stop. The results of the conducted analysis show that the combination AHP method with GIS tools is an excellent way to that kind of analysis.

Keywords: Geographic Information Systems, multicriteria analysis, Analytic Hierarchy Process, public transport, electronic timetables

1. Wstęp

Każdy człowiek podejmuje w codziennym życiu mnóstwo decyzji, bardziej lub mniej świadomych. Wiążą się one z dokonywaniem wyborów, rozwiązywaniem pojawiających się problemów, określaniem celów i kierunków działania, jak również określaniem sposobów i metod służących ich realizacji. Rozważane problemy mogą mieć rożny charakter i dotyczyć najróżniejszych sfer ludzkiego życia.

W przypadku rozwiązywania problemów o charakterze przestrzennym, a więc dotyczących np. optymalnej lokalizacji nowej inwestycji czy modyfikacji istniejącej sieci obiektów, narzędziami służącymi do wspomagania procesów decyzyjnych są systemy

informacji geograficznej (ang. *Geographic Information Systems*). Odbywa się to poprzez zbieranie, przetwarzanie, przechowywanie, aktualizowanie oraz wizualizację danych, które mają charakter przestrzenny (Feltynowski, 2012). Ponieważ analizy przestrzenne związane z przeprowadzeniem procesu decyzyjnego mają złożony charakter, zwykle dochodzenie do optymalnego rozwiązania wiąże się z wielokryterialnymi metodami podejmowania decyzji.

W przedstawionym artykule skupiono się na możliwości praktycznego zastosowania wielokryterialnej metody hierarchicznej analizy problemów decyzyjnych (ang. *Analytic Hierarchy Process*, AHP) w procesie podejmowania decyzji z wykorzystaniem systemów informacji geograficznej na przykładzie analizy lokalizacji elektronicznych tablic rozkładowych (por. Rys. 1) na przystankach komunikacji miejskiej we Wrocławiu. Ważną cechą współczesnego transportu publicznego jest dążenie do coraz to większej funkcjonalności, stąd istotnym elementem infrastruktury miejskiej, niewątpliwie wpływającym na podniesienie komfortu użytkowania komunikacji miejskiej i usprawnienie jej organizacji, są elektroniczne tablice rozkładowe. Ze względów ekonomicznych i logistycznych ich montaż nie jest możliwy na każdym przystanku komunikacji miejskiej, stąd próba stworzenia modelu decyzyjnego docelowo wspierającego decyzję dotyczącą lokalizacji obiektówtego typu.

Wspólne wykorzystanie narzędzi GIS i metody AHP jest dość powszechnym sposobem rozwiązywania problemów natury przestrzennej, przede wszystkim powierzchniowych jak np. lokalizacja elektrowni (Rosnisa i in., 2012) czy zagospodarowania terenu (Şener i in., 2010). Analizy liniowe czy punktowe wykonywane są sporadycznie, w studium literatury nie odnaleziono analizy wielokryterialnej dotyczącej lokalizacji związanej z miejską infrastrukturą transportową.

Rys. 1. Przykład elektronicznej tablicy rozkładowej zainstalowanej na jednym z przystanków komunikacji miejskiej we Wrocławiu

2. Materiały i metody

W rozdziale przedstawiono założenia metody AHP, wykorzystane dane, obszar opracowania oraz metodologię przeprowadzonej analizy.

- **Charakterystyka Analytic Hierarchy Process (AHP)**

Wielokryterialna metoda hierarchicznej analizy problemów decyzyjnych (AHP) została stworzona przez Thomasa L. Saaty'ego w latach 70. XX wieku (Saaty, 1977). Jest powszechnie zaakceptowanym i wykorzystywanym narzędziem do podejmowania złożonych decyzji w oparciu o znaczną liczbę kryteriów. Modelowanie procesów decyzyjnych przy użyciu tej metody jest przydatne szczególnie wtedy, gdy nieznana jest zależność funkcyjna między elementami procesu decyzyjnego, opisanego w postaci hierarchii czynników, natomiast możliwy do oszacowania jest efekt występowania danych własności i ich efektu praktycznego (Tułecki i in., 2007).

Podstawą metody AHP jest hierarchiczna dekompozycja kryteriów oceny poprzez realizację następujących kroków:

1. Hierarchizacja problemu – realizowana poprzez strukturalizację problemu wielokryterialnego, gdzie elementy struktury stanowią zidentyfikowane, wydzielone istotne czynniki mające wpływ na rozwiązanie problemu (Wota i in., 2008). Struktura hierarchiczna możne obejmować kilka poziomów.
2. Ocena kryteriów przez porównania parami – na podstawie oceny decydenta, podpartej wiedzą specjalistyczną lub analizą np. badania ankietowego, decydent dokonuje porównania parami wszystkich kryteriów ujętych w analizie na danym poziomie. Relacje między poszczególnymi elementami określa się na podstawie 9-stopniowej skali, którą przedstawiono w Tabela. 3. Oceny o relacjach odwrotnych oznacza się odwrotnościami przyjętych liczb całkowitych ($a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}$).

Tabela. 3. Skala ocen w porównaniach parami w metodzie AHP (na podstawie: Saaty, 2008)

Wartość liczbowa	Skala ważności
1	Kryteria o równej ważności
2	Słaba przewaga kryterium A nad kryterium B
3	Umiarkowana przewaga kryterium A nad kryterium B
4	Znacząca przewaga kryterium A nad kryterium B
5	Duża przewaga kryterium A nad kryterium B
6	Bardzo duża przewaga kryterium A nad kryterium B
7	Silna przewaga kryterium A nad kryterium B
8	Bardzo silna przewaga kryterium A nad kryterium B
9	Absolutna przewaga kryterium A nad kryterium B

W dalszej kolejności zestawia się macierz porównań A o wymiarach $n \times n$ (gdzie n to liczba kryteriów), w której dokonuje się $\frac{n(n-1)}{2}$ porównań (Tułecki i in., 2007). Macierz ta przyjmuje postać (2.1):

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \tag{2.1}$$

3. Obliczenie wektora priorytetów (wag) – wagi poszczególnych kryteriów ustala się w drodze normalizacji macierzy ocen (2.2):

$$A_n = \begin{bmatrix} \frac{A_{11}}{\sum A_{k_1}} & \frac{A_{12}}{\sum A_{k_2}} & \cdots & \frac{A_{1j}}{\sum A_{k_j}} \\ \frac{A_{21}}{\sum A_{k_1}} & \frac{A_{22}}{\sum A_{k_2}} & \cdots & \frac{A_{2j}}{\sum A_{k_j}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{A_{i1}}{\sum A_{k_1}} & \frac{A_{i2}}{\sum A_{k_2}} & \cdots & \frac{A_{ij}}{\sum A_{k_j}} \end{bmatrix} \tag{2.2}$$

gdzie A_{ij} odpowiada poszczególnym komórkom macierzy A, zaś $\sum A_{k_j}$ to suma wartości j-tej kolumny macierzy A.

Nieznormalizowany wektor priorytetów (2.3) powstaje ze zsumowania wierszy macierzy A_n.

$$w = \begin{bmatrix} \sum A_{n_{w_1}} \\ \sum A_{n_{w_2}} \\ \vdots \\ \sum A_{n_{w_i}} \end{bmatrix} \tag{2.3}$$

gdzie $\sum A_{n_{w_i}}$ to suma wartości i-tego wiersza macierzy A_n.

Ostateczny wektor wag (2.4) powstaje w wyniku normalizacji macierzy w poprzez podzielenie każdej z jej komórek przez sumę ich wartości ($\sum w$). Wartości w macierzy w_n sumują się do 1.

$$w_n = \begin{bmatrix} \frac{w_i}{\sum w} \\ \frac{w_i}{\sum w} \\ \vdots \\ \frac{w_i}{\sum \square} \end{bmatrix} \tag{2.4}$$

W przypadku rozbudowanej struktury hierarchicznej przyjętych kryteriów (występowaniu subkryteriów w ramach wyszczególnionych kryteriów głównych), dla każdego czynnika oblicza się wagi lokalne i globalne. Waga lokalna związana jest z danym poziomem, natomiast globalna jest wynikiem pomnożenia wagi lokalnej danego poziomu z wagą globalną elementu wyższego (Wota i in., 2008).

4. Badanie spójności macierzy – do oceny spójności wykonanych porównań kryteriów wykorzystuje się maksymalną wartość własną macierzy ocen λ_{max}, która to jest iloczynem macierzy będącej sumą kolumn w macierzy A oraz macierzy wag (2.5):

$$\lambda_{max} = \left[\sum A_{k_j}\right]_{1\times n} \times [w_n]_{n\times 1} \tag{2.5}$$

Oceny spójności macierzy można dokonać na podstawie analizy wartości współczynnika spójności (CI), który oblicza się ze wzoru (Tułecki i in.2007) (2.6):

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \tag{2.6}$$

W przypadku, gdy wskaźnik $CI > 0{,}1$ należy powtórzyć ocenę kryteriów z kroku 2 (Wota i in., 2008).

5. Analiza wybranych wyników – wynikiem końcowym zastosowania metody AHP jest lista rankingowa. Wielkości wag stanowią podstawę do uporządkowanego zbioru (rankingu) wariantów i wskazanie najlepszego (tego, który uzyskał najwyższą wagę).

- **Dane**

W toku opracowania wykorzystano następujące dane:

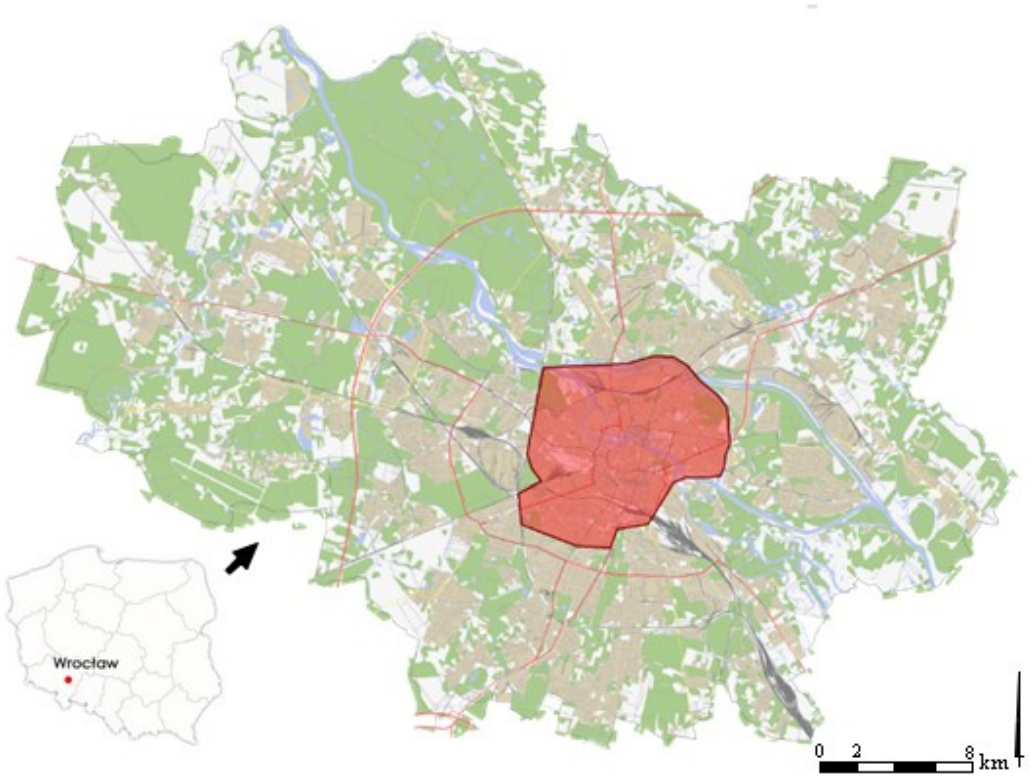
- dane dotyczące lokalizacji tabliczek przystankowych we Wrocławiu udostępniane przez System Informacji Przestrzennej Wrocławia w formie pliku zmiennoprzecinkowego zawierające współrzędne, numer tabliczki oraz typ przystanku,
- dane demograficzne Wrocławia według zameldowań w roku 2016, zagregowane według rejonów statystycznych udostępniane przez System Informacji Przestrzennej Wrocławia w formacie shapefile,
- rozkłady jazdy Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego we Wrocławiu publikowane w formie tabelarycznej w oficjalnym portalu internetowym Wrocławia,
- zestaw danych sieciowych dla dróg, utworzony w oparciu o zasoby społecznościowego serwisu mapowego OpenStreetMap,

- listę przystanków wyposażonych w elektroniczne tablice rozkładowe.

Dodatkowo poprawność wykorzystanych danych weryfikowano na podstawie wywiadów terenowych.

- **Obszar opracowania**

Obszar opracowania stanowiła centralna część Miasta Wrocław, obejmująca obszar osiedli: Stare Miasto, Nadodrze, Kleczków, Ołbin, Plac Grunwaldzki, Przedmieście Świdnickie, Szczepin, Gajowice oraz Powstańców Śląskich (por. Rys. 2). Powierzchnia objęta analizą wyniosła w przybliżeniu 19 km², znalazły się w niej 374 przystanki (tramwajowe i autobusowe, w tym obsługujące wyłącznie linie nocne, które ostatecznie wyłączono z analizy).



Rys. 2. Obszar opracowania w odniesieniu do mapy Wrocławia (wykorzystano Podkładową mapę Wrocławia udostępnianą przez System Informacji Przestrzennej Wrocławia).

- **Metodologia**

W oparciu o dostępne dane przestrzenne wytypowano cztery kryteria, które postanowiono wykorzystać w toku analizy:

- liczbę linii autobusowych i/lub tramwajowych obsługiwanych przez dany przystanek regularnie (tj. nie mniej niż jeden kurs na godzinę w ciągu dnia) – oznaczono jako [C1],

- liczbę linii autobusowych i/lub tramwajowych obsługiwanych przez dany przystanek nieregularnie (tj. mniej niż jeden kurs na godzinę w ciągu dnia, wynikający np. z wyjazdu lub powrotu pojazdu do zajezdni lub przedłużenia kursu) – oznaczono jako [C2],
- teoretyczną liczbę osób korzystających z poszczególnych przystanków (wyznaczoną w sposób opisany poniżej) – oznaczono jako [C3],
- liczbę możliwych zmian kierunku jazdy przez pasażera dokonującego przesiadki na określonym przystanku – oznaczono jako [C4].

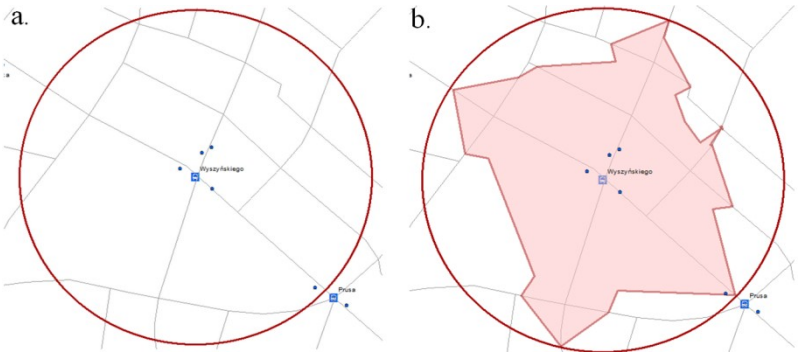
Każde z kryteriów było możliwe do określenia poprzez liczbę całkowitą, co pozwalało na jednoznaczną ich klasyfikację nad podstawie obliczanych wartości.

Wartości kryteriów [C1] oraz [C2] wyznaczono w oparciu o analizę rozkładów jazdy Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego we Wrocławiu, publikowanych w formie tabelarycznej. Minimalna wartość kryterium [C1] wyniosła 0, maksymalna – 8. Dla kryterium [C2] było to odpowiednio 0 i 12 linii.

Określając wartość kryterium [C3] skorzystano z uprzednio przygotowanego i zweryfikowanego zestawu danych sieciowych obejmującego sieć dróg publicznych zlokalizowanych w obszarze opracowania. Jako źródło danych wykorzystano zasoby społecznościowego serwisu mapowego OpenStreetMap.

Wyznaczając obszar obsługi przystanku, a więc teren, dla którego dany przystanek jest teoretycznie pierwszym wyborem użytkowników komunikacji publicznej, przyjęto, że przystanek powinien znajdować się w odległości odpowiadającej 5 minutom marszu pasażera z niego korzystającego (Jinjoo i in., 2016). Przyjmując średnią prędkość na poziomie 5 km/h, wartość ta powinna wynosić około 417 metrów. Ostatecznie zdecydowano się na przyjęcie do opracowania wartości 400 metrów. W tym elemencie analizy zgrupowano przystanki znajdujące się w obrębie jednego węzła komunikacyjnego (stanowiącego naturalny węzeł przesiadkowy) i każdemu przypisano wartość wyznaczoną dla punktu agregacji (por. Rys. 3).

Wykorzystanie wspomnianego uprzednio zestawu sieciowego pozwoliło uzyskać lepsze rezultaty niż miałoby to miejsce w przypadku zastosowania 400-metrowego bufora kołowego – wykluczone zostały obszary o ograniczonej dostępności czy obszary pod rzekami (por. Rys. 3). Dla obszaru opracowania obszar obsługi wyznaczony na podstawie zestawu sieciowego stanowił średnio 51% powierzchni bufora kołowego o długości promienia równej 400 metrów (minimalnie 23%, maksymalnie – 78%).



Rys. 3. Porównanie wyznaczonych obszarów obsługi: a - bufor kołowy o promieniu 400 metrów, b - poligon wyznaczony na podstawie zestawu sieciowego

Dysponując poligonami reprezentującymi obszar obsługi dla każdego z przystanków znajdujących się w obszarze analizy, a także danymi demograficznymi Wrocławia według zameldowań w roku 2016 zagregowanymi według rejonów statystycznych, korzystając z podstawowych narzędzi edycyjnych GIS (intersekcja obszarów – ang. *Intersect*, łączenie – ang. *Merge*, agregowanie – ang. *Dissolve*) obliczono teoretyczną liczbę osób mieszkających w obszarze obsługi każdego z przystanków, a więc [C3]. Wartości kryterium [C3] przyjęły wartości od 206 do 8914 osób.

Wartości kryterium [C4] wyznaczono na podstawie rozkładów jazdy oraz wywiadów terenowych. Za liczbę możliwych zmian kierunku jazdy przez pasażera dokonującego przesiadki na określonym przystanku przyjęto liczbę przystanków, na które można dostać się z analizowanego przystanku pomniejszoną o 2 (przyjmując mobilność pasażera wyłączono kierunek, z którego nadjechał oraz przystanek, na który dojechałby nie przesiadając się). Z liczby możliwych opcji przesiadki wyłączono przesiadki do linii obsługujących przystanek w sposób nieregularny (por. kryterium [C2]). Wartości dla [C4] przyjęły wartości z przedziału od 0 do 5.

Ze względu na stosunkowo niewielką liczbę kryteriów oraz ich charakter, porównanie ich istotności odbyło się na jednym poziomie (nie wyznaczano wag lokalnych, gdyż docelowo uzyskany wektor priorytetów określał wagi globalne kryteriów).

Wartości użyte w macierzy porównań zestawiono w oparciu o badanie ankietowe przeprowadzone na próbie 25 dorosłych użytkowników wrocławskiego transportu publicznego, którzy określali zależności pomiędzy kryteriami w ankiecie internetowej. Do porównania kryteriów posłużono się deskrypcjami zaproponowanymi w Tabela 4., zaś otrzymane średnie wartości liczbowe zaokrąglano do najbliższej liczby całkowitej (w przypadku kryteriów cechujących się przewagą, kryteria o relacjach odwrotnych oznaczano odwrotnością przyjętej zaokrąglonej wartości kryterium przeważającego). Macierz porównań przyjęła postać:

Tabela 4. Macierz porównań kryteriów przyjętych do analizy lokalizacji elektronicznych tablic przystankowych

	[C1]	[C2]	[C3]	[C4]
[C1]	1	8	3	2
[C2]	$\frac{1}{8}$	1	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{6}$
[C3]	$\frac{1}{3}$	7	1	2
[C4]	$\frac{1}{2}$	6	$\frac{1}{2}$	1

3. Wyniki

Wynikowy wektor wag po normalizacji osiągnął wartości, które zestawiono w Tabeli 3.

Tab. 5. Wektor wag uzyskany w toku analizy

waga	wartość
w_{C1}	0,477
w_{C2}	0,043
w_{C3}	0,273
w_{C4}	0,207

Współczynnik spójności CI osiągnął wartość 8%, zatem zmieścił się w zakresie tolerancji.

Uzyskana lista rankingowa nie stanowiła podstawy do określenia jednego czynnika determinującego podjęcie decyzji, ale posłużyła do nadania wag wszystkim czynnikom uwzględnionym w toku analizy, co jest powszechnym zabiegiem wykorzystywanym na drodze łączenia metody AHP z narzędziami GIS (Şener i in., 2010).

Przyjęto, że wyznacznikiem zasadności lokalizacji elektronicznych tablic rozkładowych na przystankach w obszarze analizy będzie wskaźnik obliczony na podstawie wartości czynników [C1]-[C4] oraz ustalonych wag. Jednakże ze względu na różnorodność danych oraz zgoła odmienne przedziały wartości, dokonano ich reklasyfikacji. Wartości zgrupowano w pięciu klasach, którym przyporządkowano wartości z przedziału 0-1, ze skokiem 0,25 między poszczególnymi klasami. Klasyfikacja każdego z kryteriów odbyła się w oparciu o metodę równych przedziałów. Wyniki procesu zestawiono w Tabela6.

Tabela6. Zestawienie reklasyfikacji kryteriów

[C1]	[C2]	[C3]	[C4]	Wartość przypisana danej klasie (v)
0	0	0	*nie dotyczy*	0,00
1-2	1-3	1	206-2383	0,25
3-4	4-6	2	2384-4560	0,50
5-6	7-9	3	4561-6737	0,75
7-8	10-12	4-5	6738-8914	1,00

Wskaźnik dotyczący zasadności montażu elektronicznych tablic rozkładowych na poszczególnych przystankach (oznaczony jako TF) na obszarze objętym analizą obliczono ze wzoru:

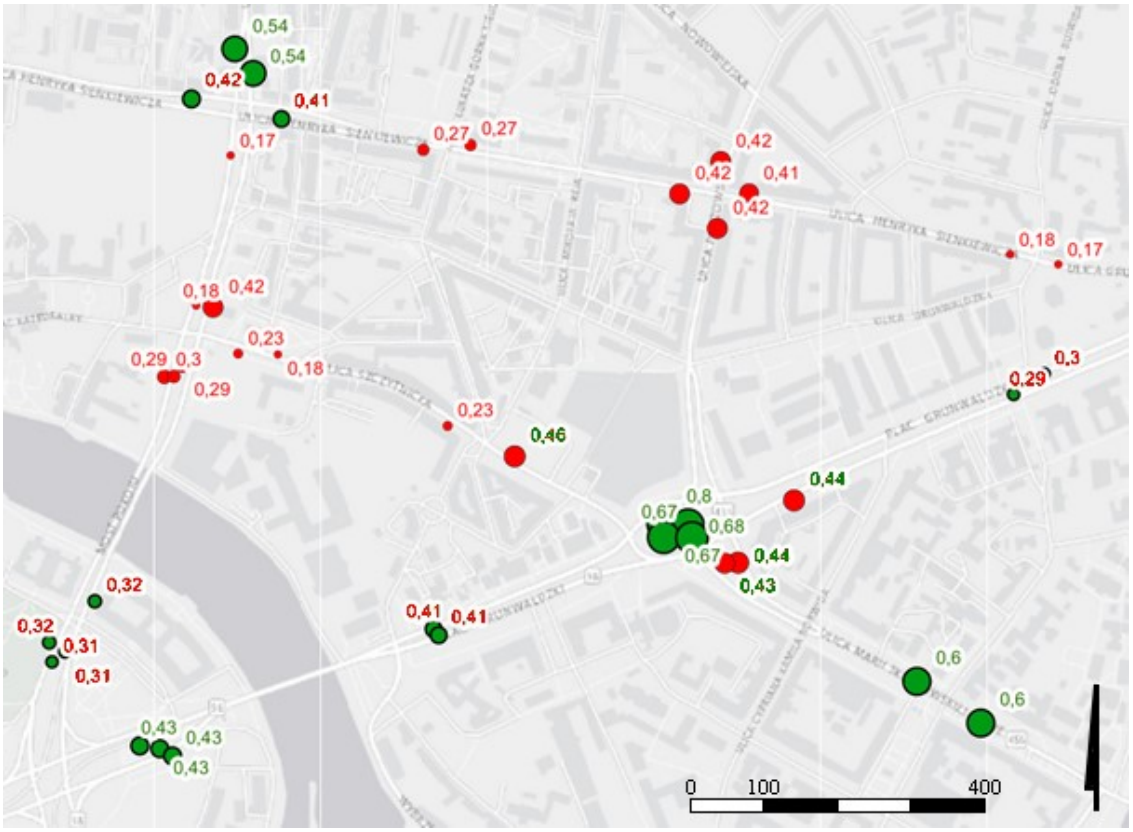
$$TF = \sum w_{Ci} v_{Ci} \tag{3.1}$$

gdzie w_{Ci} to waga i-tego kryterium (na podstawie wektora wag), a v_{Ci} to wartość kryterium dla danego przystanku po reklasyfikacji.

Wskaźniki obliczono dla 282 przystanków autobusowych i tramwajowych uwzględnionych w analizie. Maksymalna wartości wskaźnika mogła wynieść 1. Przyjęto, że im wartość bliższa jedności, tym większa zasadność montażu elektronicznej tablicy rozkładowej na danym przystanku. Wartości uzyskane w toku analizy przyjęły wartości z przedziału od 0,062 do 0,796.

Za przystanki komunikacji miejskiej, dla których montaż elektronicznych tablic rozkładowych uznano za zasadny w oparciu o wytypowane kryteria, przyjęto te, dla których obliczony wskaźnik przekroczył wartość odpowiadającą połowie przedziału uzyskanych wartości, a więc 0,429. Ogółem 147 przystanków spełniło wspomniane założenie (w tym 32 niewyposażonych w tablicę), zaś zbieżność wykonanej analizy ze stanem faktycznym (a więc odpowiadającym liście przystanków wyposażonych w elektroniczną tablicę rozkładową w czasie wykonywania analizy) wyniosła 69%.

Podjęto również próbę wizualizacji otrzymanych wyników (por. Rys. 4.), jednakże nie było to celem analizy, stąd jej rezultat należy traktować w sposób wyłącznie poglądowy



Rys. 4. Wizualizacja wyników analizy dla fragmentu obszaru opracowania; rozmiar sygnatury informuje o wartości wskaźnika, kolor sygnatury – stan faktyczny (zielony – przystanek wyposażony w elektroniczną tablicę rozkładową, czerwony – niewyposażony), kolor opisu (wartości obliczonego współczynnika) –zasadność lokalizacji tablicy (zielony – podstawy do instalacji, czerwony – brak podstaw)

4. Dyskusja

Uzyskana zbieżność pozwala ocenić jakość przeprowadzonej analizy jako zadowalającą, ale jednocześnie wymagającą dalszych modyfikacji. Już na etapie wstępnej analizy wytypowano kolejne czynniki, które mogłyby zostać wykorzystane w dalszych pracach. Ich potencjalne użycie uwarunkowane jest przede wszystkim dostępnością danych, niemniej odpowiednie ich przetworzenie i przygotowanie pozwoli na rozszerzenie analizy. Wśród potencjalnych nowych kryteriów wskazać można:

- oddziaływanie punktów użyteczności publicznej (szpitale, szkoły, uczelnie wyższe, urzędy itp.) oraz innych punktów zainteresowania (ang. *Point of interest*) takich jak zabytki, galerie handlowe, obiekty sportowe itp., które w znaczący sposób wpływają na przepływ użytkowników transportu publicznego,
- umiejscowienie przystanku w regionalnym węźle transportowym, tj. w pobliżu stacji kolejowych, parkingów typu Park&Ride itp.,
- liczbę zapytań dotyczących poszczególnych przystanków w serwisach przeznaczonych do wyszukiwania połączeń komunikacyjnych typu jakdojade.pl,
- średnie natężenie ruchu w pobliżu przystanków generujące opóźnienia pojazdów komunikacji miejskiej, co potencjalnie wpływa na zmianę pierwotnie obranej przez pasażera linii.

Przyjęcie do analizy większej liczby kryteriów pozwoliłoby zhierarchizować je, na co najmniej dwóch poziomach (grupując i wagując lokalnie np. [C1] i [C2] itp.), co również mogłoby przełożyć się na wyniki opracowania.

Ze względu na wykorzystaniu metody ankietowej do wyznaczenia macierzy porównań, wagi mogą ulegać zmianom wraz ze wzrostem decydentów. Właśnie subiektywność rankingów końcowych, związaną z subiektywnością poszczególnych ocen oraz wykorzystaniem umownej skali ocen jest jednym z większych zarzutów przeciwników metody AHP (de Steiguer i in. 2003). W celu zredukowania wpływu tego czynnika możliwe jest zwiększenie próby ankietowanych, modyfikacja treści ankiety lub przyjęcie do obliczeń wektora wag wartości niezaokrąglanych.

Wśród problemów, jakie pojawiły się w toku opracowania wskazać należy przede wszystkim ocenę zasadności reklasyfikacji pierwotnych danych liczbowych do czterech klas. Dla kryterium [C4], a więc liczby osób w obszarze obsługi, jako korzystniejsza niż podział na grupy mogłoby okazać się, bowiem reklasyfikacja proporcjonalna (przeskalowanie wartości $C4_{min}$-$C4_{max}$ do przedziału 0-1). Również sam sposób wyznaczenia liczby osób w obszarze

opracowania w oparciu o dane demograficzne zagregowane według rejonów statystycznych, a więc wymuszający znaczne przetworzenie danych wyjściowych, może być czynnikiem obciążającym ostateczną decyzję (Hejmanowska, 2006).

Innym problemem jest również nakładanie się wyznaczonych obszarów obsługi. Rozwiązaniem tego problemu może być zastosowanie zasad logiki rozmytej, co zostanie uwzględnione w dalszych pracach.

5. Wnioski

Dla przedstawionego zagadnienia najważniejszym krokiem jest bez wątpienia dobór kryteriów, które odzwierciedlać będą ogół zjawisk społecznych oraz czynników natury ekonomicznej i logistycznej wpływających na zasadność lokalizacji elektronicznych tablic rozkładowych na przystankach komunikacji miejskiej. W przeprowadzonej analizie użyto podstawowych czynników, opracowanych na podstawie dostępnych danych przestrzennych, co na tym etapie i tak pozwoliło osiągnąć zadowalające rezultaty. Zastosowanie kolejnych kryteriów pozwoli na dalszą kalibrację modelu, dzięki czemu ma szanse stać się on uniwersalnym narzędziem do wyznaczania lokalizacji elementów infrastruktury transportu miejskiego takich jak elektroniczna tablica rozkładowa (dla istniejących jak i planowanych przystanków), nie typu dla Wrocławia, ale i innych ośrodków miejskich.

Uzyskane rezultaty oraz opisana możliwość modyfikacji i kalibracji modelu potwierdzają przydatność wielokryterialnej metody hierarchicznej analizy problemu decyzyjnego AHP w rozwiązywaniu problemów natury przestrzennej.

6. Literatura

Jinjoo B., Youngsang K., *Comparable Measures of Accessibility to Public Transport Using the General Transit Feed Specification*, Sustainability, 8/2016.

Feltynowski M., *System informacji przestrzennej jako narzędzie podejmowania decyzji w gminach – badania wśród pracowników urzędów miast Łódzkiego Obszaru Metropolitarnego*, Acta ScientiarumPolonorum, Geodesia et DescriptioTerrarum, 1/2012, s. 29-38.

Hejmanowska B., *Wspomaganie decyzji z wykorzystaniem narzędzi GIS – ryzyko związane z dokładnością danych źródłowych*, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, 16/2006, s. 197-206.

Rosniza I., Zulkiflee A. L., *GIS multi-criteria for power plant site selection*, Control and System Graduate Research Colloquium (ICSGRC), 2012.

Saaty T., *Decision making with analytic hierarchy process*, International Journal of Services Sciences 1/2008, s. 83-98.

Saaty T., *A scaling method for priorities in hierarchical structures*, Journal of Mathematical Psychology 3/1977, s. 234-281.

Şener Ş., Şener E., Nas B., Karagüzel R., *Combining AHP with GIS for landfill site selection: A case study in the Lake Bayşehir catchment area (Konya, Turkey)*, Waste Management 30/2010, s. 2037-2046.

de Steiguer J.E., Duberstein J., Lopes V., *The Analytic Hierarchy Process as a Means for Integrated Watershed Management*, U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 10/2003, s. 736-740

Tułecki A., Król S., *Modele decyzyjne z wykorzystaniem metody Analytic Hierarchy Process (AHP) w obszarze transportu*. Problemy eksploatacji 2/2007, s. 171-179.

Wota A., Woźniak A., *Metodyka wyboru lokalizacji składowisk odpadów komunalnych*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 8/2008, s. 143-156.

Wytrzymałość jako jeden z głównych determinantów wyboru produktów przez konsumenta

Klaudia Młoda-Brylewska [(1)]

[1] Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu
Klaudia Młoda-Brylewska: klaudia.mloda-brylewska@ue.poznan.pl

Streszczenie
Wytrzymałość to jeden z głównych determinantów wyboru toreb zakupowych, jakimi kieruje się konsument. W zależności od rodzaju i ilości pakowanych zakupów można wybrać bardziej lub mniej wytrzymałą torbę zakupową. Bywa również tak, że torby będące wykonane z tego samego materiału charakteryzują się różną wytrzymałością. Celem badań była ocena najpopularniejszych toreb zakupowych, dostępnych na polskim rynku, pod względem wytrzymałości i jakości ich wykonania. Wyniki badań mogą być przydatne w określeniu charakterystyki poszczególnych toreb oraz w ramach grupy toreb wykonanych z danego materiału.

Słowa kluczowe: wytrzymałość, torby zakupowe, konsument

Endurance as one of the main determinants of the consumer's choice of products

Summary
Endurance is one of the main determinants of the choice of shopping bags that the consumer is guided by. Depending on the type and amount of packed purchases, you can choose a more or less robust shopping bag. It also happens that bags made of the same material are characterized by different strength. The aim of the research was to evaluate the most popular shopping bags available on the Polish market in terms of strength and quality of performance. The test results can be useful in determining the characteristics of individual bags and within a group of bags made of a given material.

Keywords: endurance, shopping bags, consumer

1. Wstęp

Wytrzymałość materiałów definiuje się, jako dziedzinę wiedzy inżynierskiej lub część inżynierii mechanicznej, która zajmuje się analitycznym oraz eksperymentalnym badaniem zjawisk zachodzących w materiałach i konstrukcjach poddanych zewnętrznym obciążeniom. Odpowiednie obciążenia mogą wywoływać powstawanie w materiale sił wewnętrznych, w postaci naprężeń oraz odkształceń (http://eia.pg.edu.pl).

Do jednych z ważniejszych wykorzystywanych tworzyw opakowaniowych zalicza się folie wykonane z tworzyw sztucznych, ze względu na ich różnorodność, szerokie zastosowanie i możliwość modyfikacji. Torba handlowa jest to wyrób z materiału jednorodnego lub kilku materiałów przeznaczony do pakowania zakupionych towarów.

Do najbardziej powszechnych toreb zakupowych zalicza się torby foliowe, wykonane najczęściej z różnego rodzaju polietylenu. Wśród nich wyróżnia się torby foliowe wykonane z polietylenu wysokiej gęstości (HDPE), które charakteryzują się niewielką grubością, niską masą i są przeznaczone do jednorazowego użycia. Drugim typem są reklamówki foliowe wykonane z polietylenu niskiej gęstości, odznaczające się grubością od 30 mm do 100 mm

i stosunkowo dużą wytrzymałością, co pozwala je zakwalifikować do toreb wielorazowego użycia. Tego typu torby zakupowe bardzo często wykorzystywane są przez producentów oraz sieci handlowe do umieszczania na nich napisów i haseł reklamowych.

Kolejnym rodzajem są torby wielokrotnego użytku, wykonywane najczęściej z polipropylenu, stanowiące alternatywę dla jednorazowych toreb polietylenowych. Torby wielokrotnego użytku są wytrzymałe i pojemne. Polipropylen nadaje się do ponownego przetworzenia w granulat, lecz nie można go składować, spalać ani deponować na składowiskach odpadów, gdyż jest materiałem niedegradowanym i niewrażliwym na oddziaływanie środowiska.

Innym rodzajem toreb zakupowych są torby wykonane z bawełny lub lnu, występujące w różnych wersjach kolorystycznych oraz w różnych rozmiarach. Torby te charakteryzują się dużą wytrzymałością i niewielką masą.

2. Metoda badawcza

W laboratorium badawczym przeprowadzono próby wytrzymałościowe najpopularniejszych rodzajów toreb zakupowych, w celu porównania ich, jakości na maszynie wytrzymałościowej marki Instron, typ 5565. Pomiar polegał na poddaniu wszystkichprzygotowanych próbek jednoosiowemu rozciąganiu statycznemu w maszynie wytrzymałościowej. Sposób i warunki przeprowadzenia próby rozciągania tworzyw sztucznych są opisane w normie *PN-EN ISO 527-1:2012* Tworzywa sztuczne. Oznaczanie właściwości mechanicznych przy rozciąganiu statycznym oraz PN-EN ISO 1924-2:2010. Papier i tektura. Oznaczanie właściwości przy działaniu sił rozciągających. Część 2: Badanie przy stałej prędkości rozciągania (20 mm/min). Próba rozciągania polega na osiowym rozciąganiu znormalizowanej próbki ze stałą szybkością w temperaturze pokojowej.

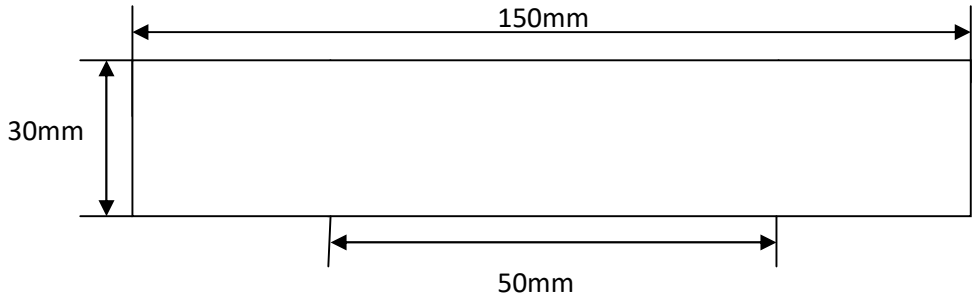
Na przebieg procesu rozciągania może wpływać wiele czynników zewnętrznych, takich jak:

- temperatura otoczenia,
- wilgotność otoczenia,
- sposób przygotowania próbek,
- wymiary i wielkość próbek,
- czas trwania próby,
- rodzaj i typ aparatury.

W celu zagwarantowania porównywalności wyników, należy zadbać o to, żeby wszystkie badane próbki były zgodne pod względem wyżej wymienionych czynników. Za pomocą statycznej próby rozciągania folii, można określić wpływ oddziaływania różnych

czynników na właściwości fizykochemiczne materiału. Ponadto metoda ta służy do oceny prawidłowości przebiegu procesów produkcyjnych oraz oceny jakości materiałów.

Pomiar polega na poddaniu przygotowanych próbek toreb zakupowych, statycznemu rozciąganiu, w maszynie wytrzymałościowej i pomiarze zmian długości odcinków pomiarowych oraz zmian obciążenia. Przedmiotem badania są próbki toreb zakupowych o określonych wymiarach, zgodnymi z zaleceniami normy *PN-EN ISO 527-1:2012 oraz PN-EN ISO 527-1:2012.* Należy wycinać próbkę za pomocą ostrego narzędzia (nożyka, nożyczek), po to by jej krawędzie były równomierne, gładkie i wolne od uszkodzeń. W celu przeprowadzenia prawidłowego pomiaru, próbka powinni powinny mieć 150 mm długości oraz 30 mm szerokości. Ponadto w środkowej części próbki, w równej odległości od krawędzi, należy zaznaczyć za pomocą dwóch kresek kreślonych ołówkiem, tak zwany "odcinek roboczy" o długości 50mm±1mm. Do badań wytrzymałościowych należy przygotować, co najmniej 5 próbek każdego rodzaju (Korzeniowski 1999).



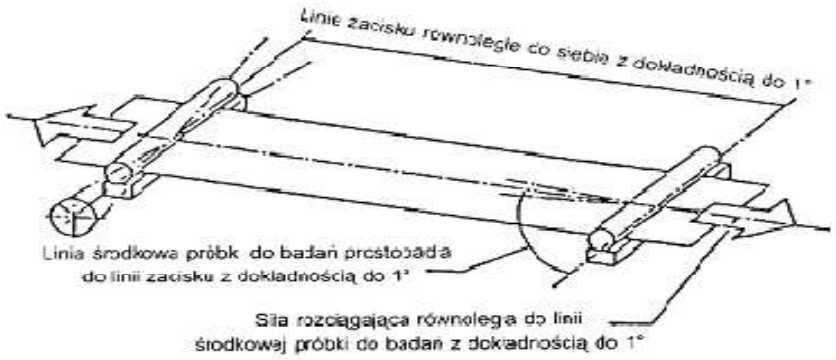
Grafika 1. Próbka do badania wytrzymałościowego. Źródło: Opracowanie własne na podstawie: PN-EN ISO 527-1:2012 Tworzywa sztuczne. Oznaczanie właściwości mechanicznych przy rozciąganiu statycznym

Grubość materiału jest jedną z cech określających jakość folii, a także pracę urządzeń przetwórczych. Przed rozpoczęciem badania wytrzymałościowego należy zbadać jej grubość (za pomocą urządzeń mechanicznych bądź elektronicznych). W tym celu należy przygotować próbki o określonych w normie wymiarach (10mm x 10mm) i zmierzyć grubość 8-krotnie, a następie policzyć średnią dla każdego materiału.

Statyczną próbę rozciągania toreb zakupowych można zrealizować na maszynie wytrzymałościowej, firmy Instron, która jest zaawansowaną technologicznie urządzeniemgwarantującym precyzyjne pomiary. Instron 5565 pozwala na wykonie dynamicznych i statycznych badań różnych materiałów (metali, drewna, tworzyw sztucznych, ceramiki, żywności), zgodnie z międzynarodowymi normami. Wykonanie prawidłowej próby wytrzymałościowej jest możliwe dzięki zastosowaniu specjalistycznych uchwytów oraz oprogramowania komputerowego, za pomocą, którego przedstawia się uzyskane wyniki.

Badanie należy przeprowadzić w temperaturze pokojowej (20°C±2°C) i wilgotności 65%±5%. Oprócz tego należy wykonać 3-ktorny pomiar szerokości i grubości odcinka pomiarowego oraz obliczyć pole przekroju poprzecznego próbki.

Prędkość posuwu maszyny wytrzymałościowej wynosi 200mm±5mm/min. Próbkę należy umieścić w uchwycie zrywarki w taki sposób, by oś podłużna próbki pokrywała się osią posuwu maszyny, a odległość między uchwytami nie była większa niż 60mm. Próbka powinna być ciasno zaciśnięta, by ześlizgiwanie się było niemożliwe (Foltynowicz 2005).



Grafika 2. Sposób mocowania próbki na zrywarce Źródło: Foltynowicz Z., 2005, Towaroznawstwo artykułów przemysłowych

Po zerwaniu próbki i odczytaniu wyników należy ułożyć próbki na gładkiej powierzchni i po upływie godziny dokładnie ją zmierzyć za pomocą suwmiarki bądź innych urządzeń pomiarowych.

Następnym etapem jest obliczenie naprężenia zrywającego.

$$\boldsymbol{\sigma_r = \frac{P_r}{A_0}\left[\frac{N}{mm^2}\right]},$$

gdzie:

P_r to siła zrywająca [N],

A_0 to pole pierwotnego przekroju poprzecznego próbki [mm^2].

Naprężenie zrywające to naprężenie odpowiadające największej sile, uzyskanej w czasie próby rozciągania statycznego, odniesionej do przekroju początkowego próbki. Wytrzymałość na rozciąganie to jedna z najważniejszych właściwości wytrzymałościowych dla folii z tworzyw sztucznych oraz papieru stosowanego do produkcji toreb zakupowych. Próba wytrzymałościowa nie odzwierciedla jednak charakteru tworzywa, ponieważ wyraża wielkość obciążenia zrywające na jednostkę liniową, przypadającą na szerokość badanej próbki.

Wytrzymałość na rozciąganie statyczne zależy w dużej mierze od ilości i mocy wiązań między włóknami tworzywa oraz od długości włókien, (lecz w mniejszym stopniu). Wielkość

wytrzymałości materiałów na rozciąganie jest zależna od wilgotności próbki wraz ze wzrostem wilgotności, zmniejsza się wytrzymałość na rozciąganie). Okazuje się, że wytrzymałość na rozciąganie w większości badanych materiałów jest większa w kierunku podłużnym niż poprzecznym o 50 – 100 %, jednak zdarzają się wyjątki (Cierpiszewski 2006).

Oprócz pomiaru siły zrywającej można obliczyć procentowe wydłużenie względne przy zerwaniu, czyli stosunek wydłużenia bezwzględnego do początkowej długości próbki.

$$\varepsilon=\frac{\Delta l}{l_0}*100\%,$$

gdzie:

ε to wydłużenie względne,

Δl to wydłużenie bezwzględne [mm],

$l_0$to długość początkowa [mm].

Rozciągliwość definiuje się, jako miara odkształcenia materiału pod wpływem naprężenia rozciągającego, do chwili zerwania. Wydłużenie ma również wpływ na inne właściwości mechaniczne, jak chociażby odporność na zginanie. W odróżnieniu do wytrzymałości na rozciąganie, wydłużenie jest prawie zawsze większe w kierunku poprzecznym (gdzie różnica wydłużenia wynosi 1,5 – 2%).

- Badania wstępne próbek

Analizie poddano 14 różnych toreb zakupowych, w tym 6 wykonanych z różnych materiałów:

- torba polipropylenowa (PP),
- torba bawełniana,
- torba z polietylenu dużej gęstości (z pięciu popularnych sieci handlowych: Lidl, Biedronka. Intermarche, Tesco, Kaufland),
- torba z polietylenu małej gęstości (z pięciu popularnych sieci handlowych: Lidl, Biedronka. Intermarche, Tesco, Kaufland),
- torba degradowlna,
- torba papierowa.

Pierwszym etapem wykonania analizy wytrzymałościowej był pomiar długości, szerokości oraz masy toreb zakupowych. Pomiar długości był wykonywany od postawy reklamówki do górnej krawędzi (nie uwzględniał długości uchwytów).

Kolejnym krokiem do wykonania próby wytrzymałościowej był pomiar grubości badanych materiałów. Pomiar grubości dla każdej z próbek wykonano 8-krotnie za pomocą grubościomierza zegarowego, marki Prazison, następnie obliczono średnią grubość.

Tabela 1. Długość, szerokość i masa toreb zakupowych poddanych próbie wytrzymałościowej. Źródło: Opracowanie własne na podstawie wyników badań

Rodzaj torby		Długość [mm]	Szerokość [mm]	Masa [g]
Torba polipropylenowa		512	450	96
Torba bawełniana		420	380	185
Torba HDPE	Lidl	480	360	25
	Biedronka	430	330	24
	Intermarche	407	300	22
	Kaufland	412	300	22
	Tesco	405	295	23
Torba LDPE	Lidl	460	355	27
	Biedronka	444	375	25
	Intermarche	425	350	26
	Kaufland	412	346	27
	Tesco	455	350	28
Torba degradowalna		450	360	18
Torba papierowa		410	307	51

Tabela 2. Grubość toreb zakupowych. Źródło: Opracowanie własne na podstawie wyników badań

Rodzaj materiału		Grubość [mm]									
		Próba 1	Próba 2	Próba 3	Próba 4	Próba 5	Próba 6	Próba 7	Próba 8	Średnia	Odchylenie
Torba polipropylenowa		0,550	0,230	0,490	0,500	0,510	0,520	0,500	0,540	1,358	0,103
Torba bawełniania		0,900	0,890	0,880	0,890	0,900	0,910	0,900	0,890	2,909	0,009
Torba HDPE	Lidl	0,018	0,015	0,019	0,019	0,019	0,017	0,018	0,019	0,055	0,001
	Biedronka	0,023	0,025	0,023	0,027	0,029	0,030	0,031	0,029	0,081	0,003
	Intermarche	0,024	0,031	0,027	0,027	0,025	0,030	0,024	0,028	0,089	0,003
	Kaufland	0,031	0,047	0,023	0,031	0,024	0,025	0,024	0,031	0,117	0,008
	Tesco	0,023	0,027	0,024	0,029	0,026	0,024	0,035	0,028	0,083	0,004
Torba LDPE	Lidl	0,013	0,012	0,013	0,024	0,011	0,012	0,013	0,019	0,043	0,005
	Biedronka	0,014	0,013	0,016	0,017	0,017	0,018	0,016	0,020	0,047	0,002
	Intermarche	0,015	0,015	0,014	0,015	0,019	0,018	0,018	0,020	0,051	0,002
	Kaufland	0,013	0,014	0,017	0,016	0,017	0,018	0,024	0,015	0,047	0,003
	Tesco	0,015	0,014	0,014	0,021	0,015	0,016	0,014	0,015	0,048	0,002
Torba degradowalna		0,021	0,021	0,018	0,014	0,025	0,014	0,015	0,024	0,066	0,004
Torba papierowa		0,041	0,040	0,040	0,036	0,050	0,040	0,060	0,040	0,135	0,008

3 Wyniki badań

Badanie wytrzymałościowe dla wybranych toreb zakupowych dokonano na maszynie wytrzymałościowej marki Instron 5565. Dokonano pomiar siły oraz wydłużenia dla próbek rozciąganych wzdłużnie i poprzecznie.

Badanie przeprowadzono w temperaturze pokojowej wynoszącej 23^{o}C oraz wilgotności równej 67%. Prędkość posuwu maszyny wytrzymałościowej dla każdej z próbek wynosił

200mm±5mm/min. Próbkę ciasno umieszczono w uchwycie zrywarki w taki sposób, by oś podłużna próbki pokrywała się osią posuwu maszyny, a odległość między uchwytami nie była większa niż 60mm.

Następnie po zerwaniu próbki, odczytano wyniki na monitorze komputera i ułożono próbki na gładkiej powierzchni, a po upływie godziny dokładnie zmierzono wymiary próbek za pomocą suwmiarki.

Poniżej zamieszczono wyniki dla poszczególnych próbek, dotyczące siły w momencie ich zerwania.

Tabela 3. Wartości siły koniecznej do zerwania badanych próbek. Źródło: Opracowanie własne na podstawie wyników badań

Rodzaj materiału		Wartość siły [N]							
		Rozciąganie wzdłużne				Rozciąganie poprzeczne			
		Próba 1	Próba 2	Próba 3	**Średnia**	Próba 1	Próba 2	Próba 3	Średnia
Torba polipropylenowa		88,59	81,59	84,39	**84,86**	212,15	213,99	214,56	**213,57**
Torba bawełniana		131,91	127,19	125,14	**128,08**	100,29	98,27	96,15	**98,24**
Torba HDPE	Lidl	6,41	6,55	6,97	**6,64**	2,44	4,20	3,59	**3,41**
	Biedronka	6,50	5,99	7,26	**6,58**	3,59	3,29	2,99	**3,29**
	Intermarche	6,59	6,55	7,22	**6,79**	3,39	3,50	4,58	**3,82**
	Kaufland	6,66	7,69	7,49	**7,28**	3,49	4,20	4,59	**4,09**
	Tesco	6,79	7,25	7,20	**7,08**	3,99	4,15	3,99	**4,04**
Torba LDPE	Lidl	8,30	8,29	7,59	**8,06**	9,15	9,48	10,15	**9,59**
	Biedronka	8,59	8,99	6,90	**8,16**	7,00	8,00	9,50	**8,17**
	Intermarche	7,59	7,88	7,69	**7,72**	6,59	6,50	6,59	**6,56**
	Kaufland	7,59	6,66	7,70	**7,32**	5,99	8,39	6,47	**6,95**
	Tesco	7,29	7,35	7,54	**7,39**	6,50	5,50	5,99	**6,00**
Torba degradowalna		36,21	33,45	35,86	**35,17**	34,90	14,59	13,00	**20,83**
Torba papierowa		4,25	4,65	4,45	**4,44**	3,32	3,46	3,35	**3,39**

Dla wszystkich próbek obliczono średnią siłę zrywającą oraz obliczono wartość naprężenia zrywającego (tab 4).

Jak wynika z przeprowadzonych badań największa wartość w przypadku rozciągania wzdłużnego, należało zastosować do torby wykonanej z bawełny 128,08 N. Jednocześnie dla tej torby osiągnięto najwyższy wskaźnik naprężenia zrywającego.

Tabela 4. Wartości średniej siły zrywającej oraz naprężenia zrywającego dla badanych toreb zakupowych. Źródło: Opracowanie własne na podstawie wyników badań.

Rodzaj materiału	**Rozciąganie wzdłużne**		**Rozciąganie poprzeczne**	
	Średnia[N]	**Naprężenie [N/mm^2]**	**Średnia[N]**	**Naprężenie [N/mm^2]**
Torba polipropylenowa	84,86	56,57	213,57	142,38
Torba bawełniania	128,08	85,39	98,24	65,49
Torba HDPE	6,64	4,43	3,41	2,27
	6,58	4,39	3,29	2,19
	6,79	4,52	3,82	2,55
	7,28	4,85	4,09	2,73
	7,08	4,72	4,04	2,70
Torba LDPE	8,06	5,37	9,59	6,40
	8,16	5,44	8,17	5,44
	7,72	5,15	6,56	4,37
	7,32	4,88	6,95	4,63
	7,39	4,93	6,00	4,00
Torba degradowalna	5,76	3,84	6,29	4,19
Torba papierowa	4,44	3,20	3,39	2,10

Bawełna to włókno, które otacza nasiona rośliny określanej *Gossypium*. Włókno bawełniane służy do najpopularniejszej w przemyśle tekstylnym tkaniny. Bawełna należy do bardzo wydajnych roślin uprawnych, ponieważ w czasie jej przetwarzania traci tylko około 10% suchej masy. Następnie po usunięciu z włókna wosku i białek pozostaje tylko celuloza. Każde włókno bawełniane może tworzyć 20-30 warstw celulozy, w kształcie skręconej tasiemki, o szerokości od 10 do 30μm. Długość włókna bawełnianego waha się w granicach 10 do 22 mm (krótkowłóknista), 22 do 33 mm (średniowłóknista), 33 do 55 mm (długowłóknista). Jeżeli w procesie dojrzewania otoczka nasienna otwiera się, włókna zasychają, splatając się w płaskie, wstęgowate skupiska, idealne do przetworzenia na przędzę. Specyficzna budowa włókna bawełnianego, nadaje mu dużą wytrzymałość, trwałość oraz zdolność absorpcji (http://www.bawelna.info/).

Dobre właściwości wytrzymałościowe wykazuje również torba wykonana z polipropylenu, bowiem wykazuje ona wysoką wartość naprężenia wzdłużnego-56,58N/mm^2 oraz poprzecznego-213,71N/mm^2. Ma to za pewne związek ze strukturą włókien polipropylenowych. Ponadto wyroby z tego tworzywa odznaczają się dużą sztywnością

i dobrym połyskiem. Kształtki wykonane z polipropylenu są przezroczyste, a w wyniku rozciągania poza granicę plastyczności, zwiększa się ich przezroczystość. Tworzywo polipropylenowe nadaje się, zatem do formowania wyrobów cienkościennych o skomplikowanych kształtach i dużych, płaskich powierzchniach, od których wymaga się przede wszystkim wytrzymałości.

Inne badane tworzywa wykazują zbliżoną wartość naprężenia zrywającego. W przypadku toreb wykonanych z HDPE, największą wartość naprężenia wykazuje torba z sieci handlowej Kaufland (4,85 N/mm^2). Natomiast w przypadku toreb handlowych wykonanych z polietylenu niskiej gęstości, największa wartością naprężenia charakteryzowała się torba z sieci Biedronka (5,44N/mm^2).

Z kolei najmniejszą wytrzymałość pod względem badania rozciągania wykazała torba wykonana z papieru. W większości z badanych toreb (z wyjątkiem torby polipropylenowej i LDPE z sieci handlowej Lidl), wartość naprężenia poprzecznego była mniejsza niż naprężenia wzdłużnego.

Tabela 5. Procentowa wartość wydłużenia względnego dla toreb zakupowych. Źródło: Opracowanie własne na podstawie wyników badań

Rodzaj materiału		Wydłużenie					
		Rozciąganie wzdłużne			Rozciąganie poprzeczne		
		Δl [mm]	l_0 [mm]	**ε[%]**	Δl [mm]	l_0 [mm]	**ε [%]**
Torba polipropylenowa		4,01	50	8	4,65	50	9
Torba bawełniania		5,98	50	12	5,32	50	11
Torba HDPE	Lidl	37,53	50	75	40,78	50	82
	Biedronka	45,28	50	90	46,67	50	93
	Intermarche	54,09	50	108	55,94	50	112
	Kaufland	47,41	50	94	46,61	50	93
	Tesco	45,34	50	90	44,58	50	89
Torba LDPE	Lidl	103,13	50	206	104,15	50	208
	Biedronka	91,04	50	182	92,18	50	184
	Intermarche	104,58	50	209	104,41	50	209
	Kaufland	110,92	50	222	109,67	50	219
	Tesco	117,88	50	236	115,68	50	231
Torba degradowalna		45,53	50	91	43,39	50	87

Następnie za pomocą suwmiarki zmierzono wartość wydłużenia dla każdej z badanych próbek i obliczono procentowe wydłużenie względne przy zerwaniu, czyli stosunek wydłużenia bezwzględnego do początkowej długości próbki.

$$\varepsilon=\frac{\Delta l}{l_0}*100\%,$$

gdzie:

ε to wydłużenie względne,

Δl to wydłużenie bezwzględne [mm],

$l_0$to długość początkowa [mm].

Wyniki zestawiono w tabeli .

4. Wnioski

Większymi wartościami wydłużenia charakteryzowały się torby zakupowe wykonane z tworzyw sztucznych, Spośród nich największą wartość wydłużenia względnego wykazała torba z polietylenu niskiej gęstości z sieci handlowej Tesco (235,8%). Najmniejszą wartość wydłużenia względnego zaobserwowano w przypadku torby polipropylenowej (8%) oraz torby bawełnianej (12%).

W przypadku większości toreb wartość wydłużenia poprzecznego jest większa, aniżeli wartość wydłużenia wzdłużnego.Największą wartość siły w przypadku rozciągania wzdłużnego, należało zastosować do torby wykonanej z bawełny 128,08 N. Jednocześnie dla tej torby osiągnięto najwyższy wskaźnik naprężenia zrywającego. Można, zatem wysnuć wniosek, że torba wykonana z tego materiału jest najbardziej wytrzymała.

Torby wyprodukowane z tworzyw sztucznych charakteryzowały się największymi bezwzględnymi wartościami wydłużenia. Spośród nich największą wartość wydłużenia względnego wykazała torba z polietylenu niskiej gęstości z sieci handlowej Tesco (235,8%). Najmniejszą wartość wydłużenia względnego zaobserwowano w przypadku torby polipropylenowej (8%) oraz torby bawełnianej (12%). Zaobserwowano niewielkie różnice w wynikach dla toreb wykonanych z tego samego materiału.

Wytrzymałość to jeden z głównych determinantów wyboru toreb zakupowych, jakimi kieruje się konsument. Niekiedy torba nabywana w sklepie, która wydaje się dla konsumenta wytrzymała, ulega uszkodzeniu przy nawet najmniejszym obciążeniu.

5. Literatura

Cierpiszewski R., 2006, Towaroznawstwo artykułów przemysłowych, cześć III, Badanie jakości wyrobów, MD 180, red. A.Korzeniowski, rozdziały 5, 6 i 7,

Foltynowicz Z., 2005, Towaroznawstwo *artykułów przemysłowych. Cz. 1, Badanie jakości wyrobów*, red. nauk. Andrzej Korzeniowski, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, Poznań, s. 55-67,

Korzeniowski A. Kwiatkowski J., 1999, *Towaroznawstwo opakowań,* Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, Poznań, s. 14-37,

PN-EN ISO 1924-2:2010. Papier i tektura. Oznaczanie właściwości przy działaniu sił rozciągających. Część 2: Badanie przy stałej prędkości rozciągania (20 mm/min).
PN-EN ISO 527-1:2012 Tworzywa sztuczne. Oznaczanie właściwości mechanicznych przy rozciąganiu statycznym.
http://www.bawelna.info/ (dostęp 14.05.2017)
http://eia.pg.edu.pl/documents/184160/35666145/Mechanika%20skrypt%20cz.%202 (dostęp 11.02.2017)

Wpływ zmiany kąta natarcia łopat wirnika na parametry pracy turbiny wiatrowej o pionowej osi obrotu

Tomasz Noszczyk [(1)], Arkadiusz Dyjakon [(2)]

[1] Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wydział Przyrodniczo-Technologiczny, Studenckie Koło Naukowe „BioEnergia"
[2] Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Instytut Inżynierii Rolniczej, Zakład Niskoemisyjnych Źródeł Energii i Gospodarki Odpadami
Tomasz Noszczyk: noszczyktomasz@gmail.com

Streszczenie
Ze względu na korzyści wynikające z tworzenia układów hybrydowych małych elektrowni wiatrowych o pionowej osi obrotu z energetyką słoneczną oraz ich pozytywny wpływ, na jakość środowiska naturalnego, mała energetyka wiatrowa stała sięważnym elementem w lokalnym wytwarzaniu energii elektrycznej.Jednym z istotnych aspektów podczas eksploatacji turbin wiatrowych jest optymalizacja pracy elektrowni wiatrowej pod względem ilości produkowanej energii elektrycznej. Przedmiotem badań była turbina wiatrowa H-Darrieusa o pionowej osi obrotu własnej konstrukcji składająca się z pięciu łopat. Jednym z czynników wpływających na parametry pracy turbiny jest zmiana kąta natarcia łopat wirnika. Celem badań była analiza wpływu zmiany kąta ustawienia łopat na moc turbiny wiatrowej oraz jej charakterystykę prądowo-napięciową. Badania przeprowadzono w tunelu aerodynamicznym przy zmiennych parametrach kąta ustawienia łopat turbiny wiatrowej, prędkości strugi powietrza oraz obciążenia turbiny. Przeprowadzone testy wykazały, że odpowiednia zmiana kąta ustawienia łopat wirnika oraz właściwy dobór obciążenia prądnicy zwiększa wartość generowanej mocy przez turbinę H-Darrieusa.

Słowa kluczowe: elektrownia wiatrowa, turbina H-Darrieusa, kąt natarcia, moc turbiny

The influence of the angle of attack of the rotor's blades on operation parameters of the vertical axis wind turbine

Summary
Because of the benefits of creating hybrid systems of small vertical axis wind turbines with a solar energy and their positive influence on the quality of the natural environment, small wind energy became an important part of the local energy production.One of the crucial aspects during wind turbines exploitation is optimization of the wind turbine operation in terms of the amount of electricity production. The subject of research was own designed vertical axis wind turbine with five blades. One of factorsaffecting the parameters of the wind turbine is change of the angle of attack of the rotor's blades. The purpose of the research was the analysis of the influence of theangle of attack of the wind on rotor's blade on generated power of the vertical axis wind turbine as well as its current-voltage characteristics. The research were performed in a wind tunnel with variable parameters, like blade angle, wind velocity and turbine load. The tests have shown that the appropriate change of the angle of the rotor blades and the correct selection of the generator's load increases the value of the generated power by the H-Darrieuswind turbine.

Key words: wind turbine, H-Darrieus rotor, angle of attack, power of turbine

1. Wstęp

Z uwagi na pogorszający się stan środowiska naturalnego, którego przyczyną jest wykorzystywanie niskiej jakości paliw konwencjonalnych do wytwarzania ciepła oraz prądu elektrycznego, lokalne wytwarzanie energii z odnawialnych źródeł energii (OŹE) stało się jednym ze sposobów na obniżenie tzw. niskiej emisji. Dodatkowym argumentem za lokalnym rozwojem źródeł odnawialnych i poprawą jakości powietrza atmosferycznego są dyrektywy unijne obligujące do ograniczenia wykorzystywania paliw kopalnych (Komisja Wspólnot

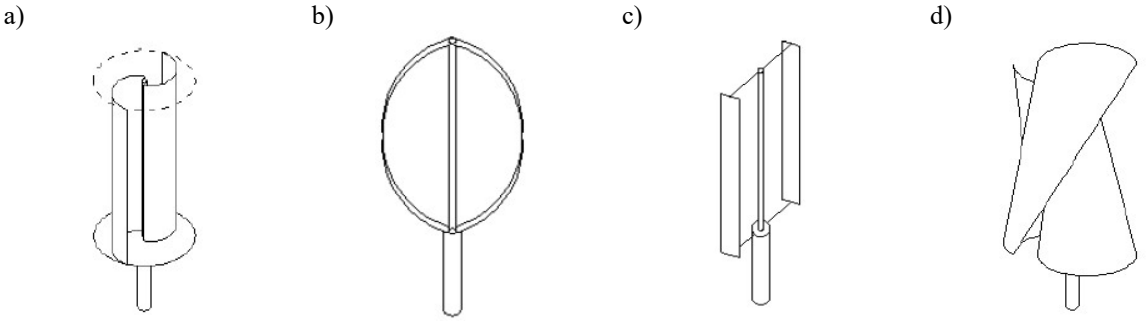
Europejskich 2007). Jednym z najmniej emisyjnych źródeł o znaczącym udziale w produkcji energii elektrycznej z OŹE są elektrownie wiatrowe (Główny Urząd Statystyczny 2016).

Elektrownie wiatrowe charakteryzują się zamianą energii wiatru na energię elektryczną, poprzez ruch obrotowy wirnika, który przekazuje moment obrotowy na wał generatora. Jednym z podstawowych kryteriów ich podziału jest położenie osi obrotu wirnika, stąd wyróżnia się (Baworski A. i in. 2015):

- turbiny wiatrowe o poziomej osi obrotu (ang. HAWT – HorizontalAxis Wind Turbines), których udział w stosowanych rozwiązaniach konstrukcyjnych stanowi ponad 95%,
- turbiny wiatrowe o pionowej osi obrotu (ang. VAWT –VerticalAxis Wind Turbines), które z uwagi na niższą moc nominalną znajdują głównie zastosowanie w gospodarstwach domowych oraz przestrzeniach miejskich.

Turbiny wiatrowe o poziomej osi obrotu (HAWT) znalazły szersze wykorzystanie w zawodowych i przemysłowych jednostkach wytwórczych ze względu na swoją wyższą sprawność oraz moc znamionową, w porównaniu do tradycyjnych turbin typu VAWT (Bukała 2014, Augustyn, Ryś 2007). Jednak, pomimo swojego powszechnego wykorzystania, do ich najważniejszych wad należą: emisja hałasu, potrzeba stosowania mechanizmów naprowadzania wirnika na wiatr, połączenia ślizgowe z generatorem oraz duża i masywna konstrukcja (Nalepa i in. 2011).

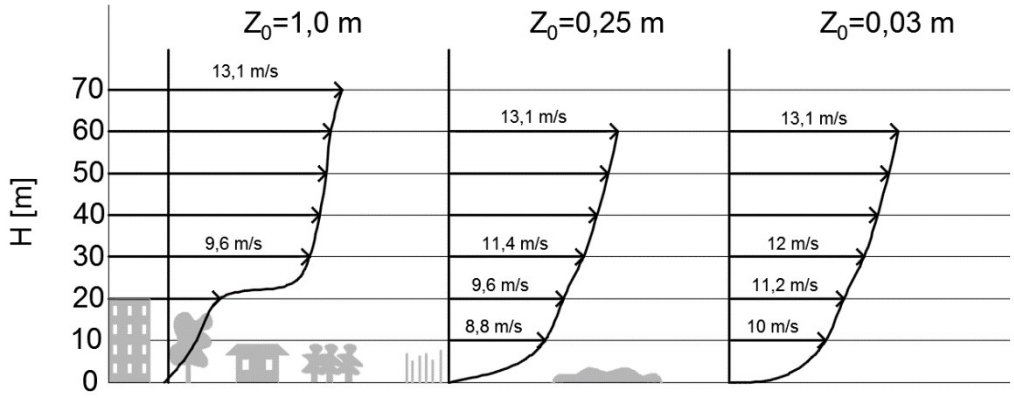
Wśród elektrowni wiatrowych o pionowej osi obrotu (rys. 1) można wyróżnić takie konstrukcje, jak (Bukała 2014): turbina Savoniusa, turbina Darrieusa, turbina H-Darrieusa oraz turbina świderkowa.



Rys.1. Turbiny wiatrowe o pionowej osi obrotu (Polak, Barański 2006): a) turbina Savoniusa, b) turbina Darrieusa, c) turbina H-Darriuesa, d) turbina świderkowa

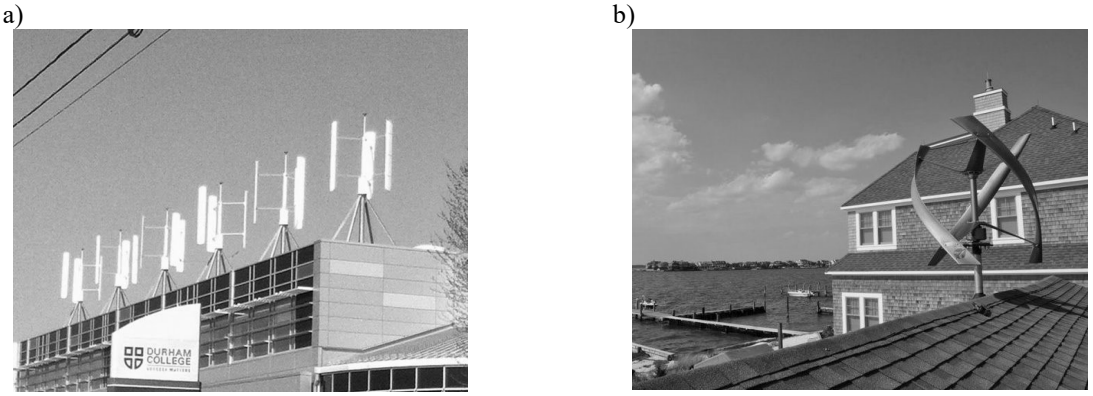
Turbiny wiatrowe o pionowej osi obrotu,z powodu niezależnej pracy od kierunku wiatru, znalazły zastosowanie na terenach zurbanizowanych. Na tych obszarach bardzo często występuje dużazmienność kierunków wiatru oraz oderwania przepływu strugi powietrza na linii dachów budynków (rys. 2). Ze względu na relatywnie niewielkie wymiary i możliwość

zamontowania na dachu, VAWT występują często jako turbiny zintegrowane z budynkami (rys. 3) (Strzelczyk, Szczerba 2011).



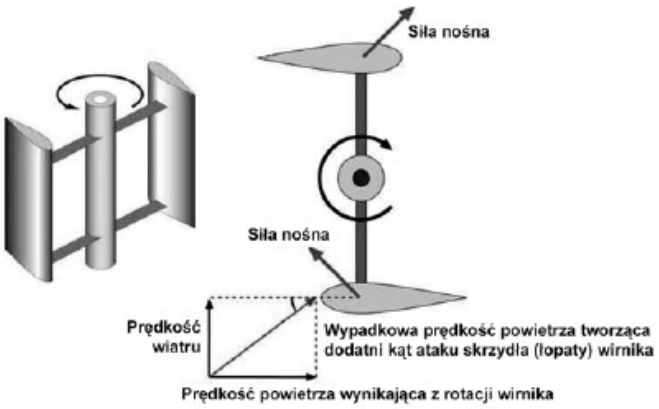
Rys. 2. Profile prędkości wiatru w terenie o różnej wysokości przeszkód(opracowanie własne na podstawie Strzelczyk, Szczerba 2011)

a) b)



Rys. 3. Turbiny wiatrowe o pionowej osi obrotu zintegrowane z dachem budynku(www1, www2):
a) budownictwo przemysłowe, b) budownictwo indywidualne

Model turbiny H-Darrieusa powstał poprzez zastosowanie w turbinie Darrieusa prostych łopat, położonych równolegle do osi wirnika oraz układających się w kształt litery H, przez co zwiększona została jej sprawność (Manwell i in. 2009). Zasada działania turbiny H-Darrieusa opiera się na wykorzystaniu siły nośnej (rys. 4), dlatego dobór odpowiedniego kształtu łopaty pozwala zwiększyć sprawność konwersji energii wiatru na energię elektryczną (Nalepa i in. 2011, Islam i in. 2006). Łopaty wirnika turbiny H-Darrieusa coraz częściej charakteryzują się aerodynamicznymi kształtami, stosowanymi także w dużych turbinach typu HAWT. Swoją pracę rozpoczynają już przy prędkości wiatru równej 2 $m \cdot s^{-1}$ oraz nie muszą być zatrzymywane podczas bardzo silnych wiatrów (Nalepa i in. 2011). Charakteryzują się cichą pracą, prostą i zwartą konstrukcją oraz brakiem połączeń ślizgowych (Polak, Barański 2006).



Rys. 4. Zasada powstawania siły nośnej na rotorze H-Darrieusa(Nalepa i in. 2011)

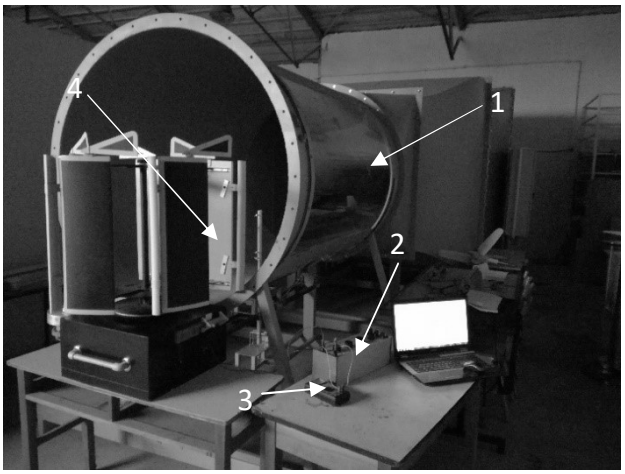
Do najważniejszych wad tego typu rozwiązania należą: zerowy moment startowy oraz znaczne obciążenia dynamiczne działające na łopatę. Wynika to głównie ze zmiennego kąta natarcia wiatru na łopatę powstałego podczas pojedynczego obrotu wirnika. Zmienny kąt natarcia wiatru na łopatę wywoływany jest zmianą azymutu łopaty względem kierunku wiatru (Baworski i in. 2015, Strzelczyk, Szczerba 2011). Dodatkową wadą jest fakt, że jedna z łopat zawsze wytwarza opór rzeczywisty (praca pod wiatr), który bezpośrednio wpływa na końcową moc oraz sprawność elektrowni wiatrowej (Baworski i in. 2015).

2. Materiały i Metody

Celem pracy była analiza wpływu zmiany kąta natarcia łopat wirnika na parametry pracy turbiny wiatrowej o pionowej osi obrotu (H-Darrieus) w zależności od zmiennego obciążenia elektrowni wiatrowej. Ocenę wpływu zastosowanego rozwiązania opracowano na podstawie badań przeprowadzonych w tunelu aerodynamicznym z wykorzystaniem prototypu elektrowni wiatrowej o pionowej osi obrotu.

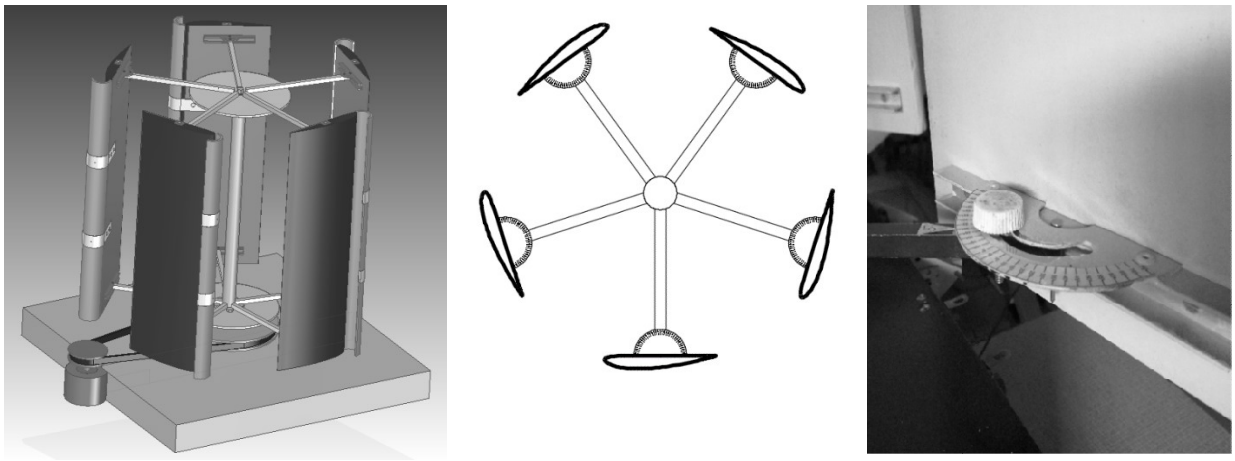
Badania przeprowadzono w Centrum Odnawialnych Źródeł Energii na Uniwersytecie Przyrodniczym we Wrocławiu wykorzystując tunel aerodynamiczny wytwarzający strumień powietrza o zadanej prędkości. Stanowisko badawcze (rys. 5) składało się z tunelu aerodynamicznego, opornicy dekadowej, multimetru wielofunkcyjnego oraz prototypu turbiny H-Darrieusa.

W celu przeprowadzenia badań nad wpływem zmiany kąta natarcia łopat na parametry pracy elektrowni wiatrowej skonstruowano prototyp turbiny wiatrowej o pionowej osi obrotu. Wirnik turbiny składał się z 5 łopat o profilu Clark Y, które posiadały możliwość zmiany swojego kąta położenia w zakresie ok. 180˚ (rys. 6).



Rys. 5. Stanowisko badawcze (opracowanie własne):1) tunel aerodynamiczny, 2) opornica dekadowa, 3) multimetr cyfrowy, 4) prototyp turbiny H-Darrieusa

a) b) c)



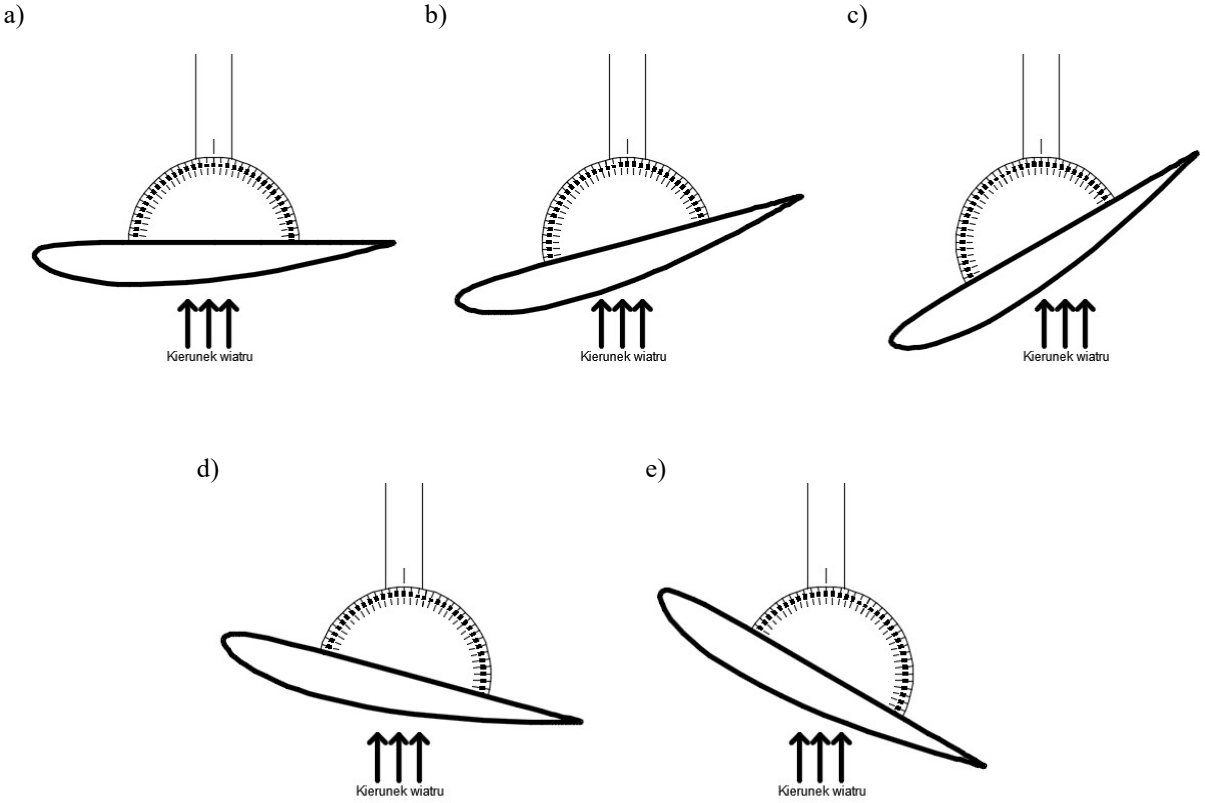
Rys. 6. Model turbiny wiatrowej o pionowej osi obrotu (opracowanie własne):a) rzut izometryczny wykonany w środowisku Solid Edge, b) widok z góry, c) nastawazmiany kąta położenia łopat

Jednostką wytwórczą prądu elektrycznego była prądnica Shimano DH-3N20 o mocy 3 W oraz napięciu znamionowym wynoszącym 6 V. Moment obrotowy wału wirnika turbiny wiatrowej został przeniesiony na wał prądnicy za pomocą przekładni pasowej o przełożeniu równym 3.

Badania wpływu zmiany kąta natarcia łopat na parametry pracy elektrowni wiatrowej przeprowadzono w tunelu aerodynamicznym, który wytwarzał strugę powietrza o prędkości: 7,24 $m \cdot s^{-1}$,9,3 $m \cdot s^{-1}$ oraz 11,21 $m \cdot s^{-1}$. Dla każdej prędkości wiatru wykorzystano pięć różnych kątów ustawienia łopat wirnika turbiny wiatrowej (rys. 7): 0 stopni, 15 stopni do wewnątrz oraz zewnątrz i 30 stopni do wewnątrz oraz zewnątrz wirnika.

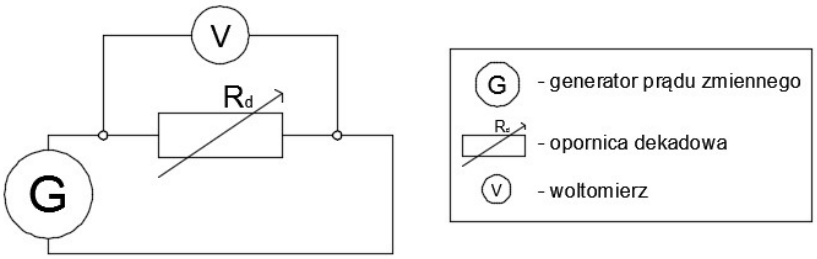
Dla symulacji rzeczywistej pracy elektrowni wiatrowej, do układu podłączono opornicę dekadową (rys. 8), która pozwalała na obciążenie układu w zakresie od 10 kΩ do 1 Ω (z uwzględnieniem zagęszczenia pomiarów w zakresie od 30 Ω do 1 Ω). Do układu

podłączono także multimetr cyfrowy UNI-T M890G, który w warunkach testowych pełnił funkcję woltomierza do pomiaru wartości generowanego napięcia.



Rys. 7. Regulacja kąta odchylenia łopat wirnika (opracowanie własne):a) 0 stopni, b) 15 stopni do wewnątrz, c) 30 stopni do wewnątrz, d) 15 stopni na zewnątrz, e) 30 stopni na zewnątrz

Badania prowadzono w ten sposób, że dla określonego kąta natarcia łopat i zadanej prędkości wiatru, prądnica była odpowiednio obciążana za pomocą opornicy dekadowej, co skutkowało generowaniem napięcia elektrycznego. W efekcie, uzyskane wyniki pozwoliły na wykreślenie charakterystyki prądowo-napięciowej dla różnych kątów natarcia łopat i rozpatrywanych prędkości wiatru.



Rys. 8. Schemat podłączenia układu pomiarowego (opracowanie własne)

Bazując na wartości obciążenia układu oraz generowanego napięcia prądu elektrycznego odczytanej z urządzeń pomiarowych obliczono moc elektrowni wiatrowej wg równania:

$$N_{el} = \frac{U^2}{R} \quad (1)$$

gdzie:

N_{el} – moc turbiny wiatrowej, W,

U – napięcie prądu elektrycznego w układzie, V,

R – rezystancja (obciążenie układu pomiarowego), Ω.

Moc teoretyczną strugi powietrza, która wytwarzana była w tunelu aerodynamicznym przy danej prędkości obliczono na podstawie zależności:

$$N_w = \frac{\rho \cdot S \cdot V^3}{2} \quad (2)$$

gdzie:

N_w – teoretyczna moc strugi wiatru, W,

ρ – gęstość powietrza w danej temperaturze (dla T = 5°C przyjęto ρ = 1,253 kg·m^{-3}), kg·m^{-3},

S – pole powierzchni zajmowanej przez wirnik turbiny w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku napływu wiatru, m^2,

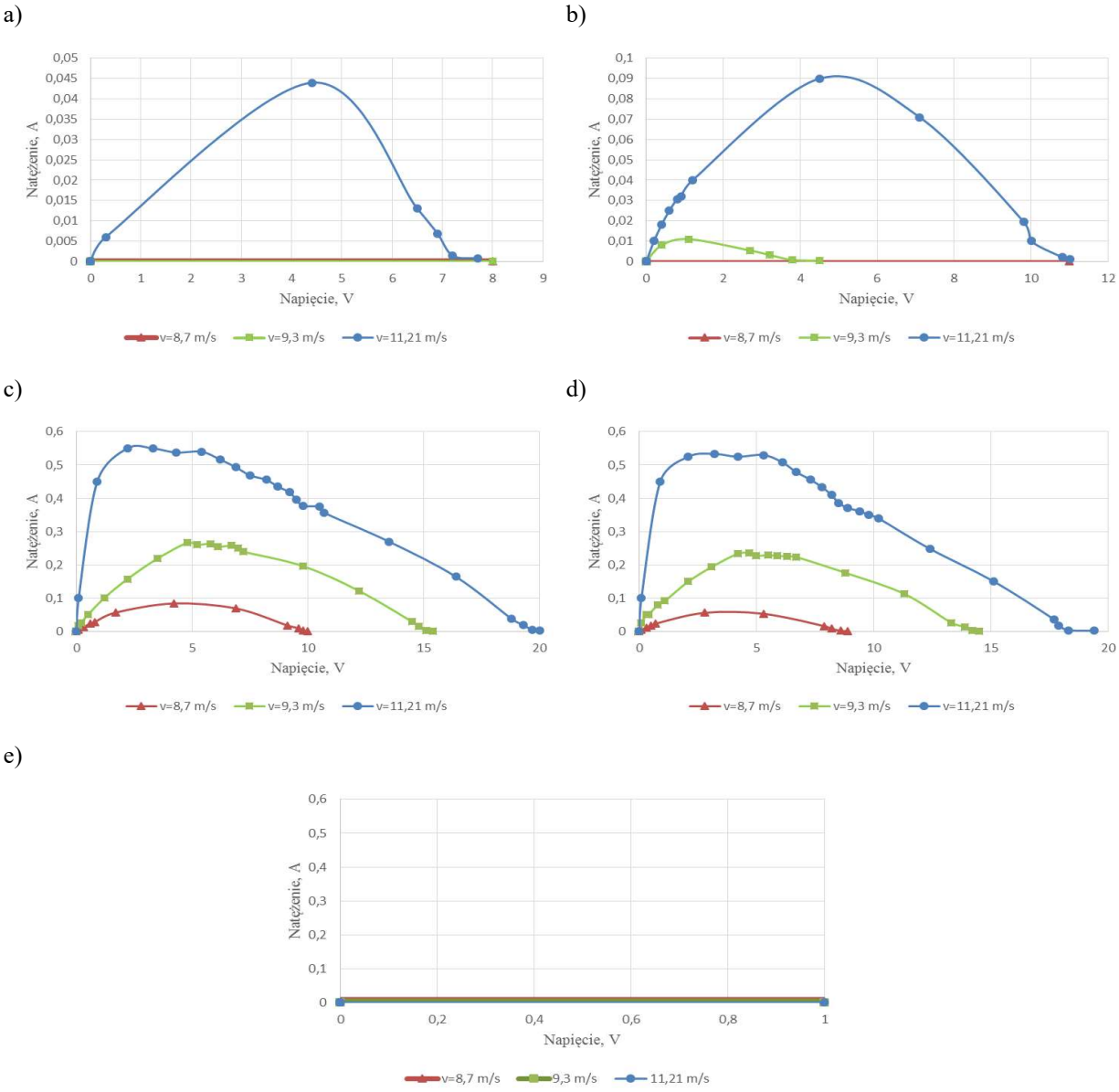
V_p – prędkość wiatru, m·s^{-1}.

3. Wyniki

Ocenę wpływu zmiany kąta natarcia łopat wirnika na parametry pracy elektrowni wiatrowej opracowano na podstawie charakterystyk prądowo-napięciowych oraz zależności mocy uzyskanej w funkcji wartości obciążenia układu dla wybranych prędkości strugi powietrza.

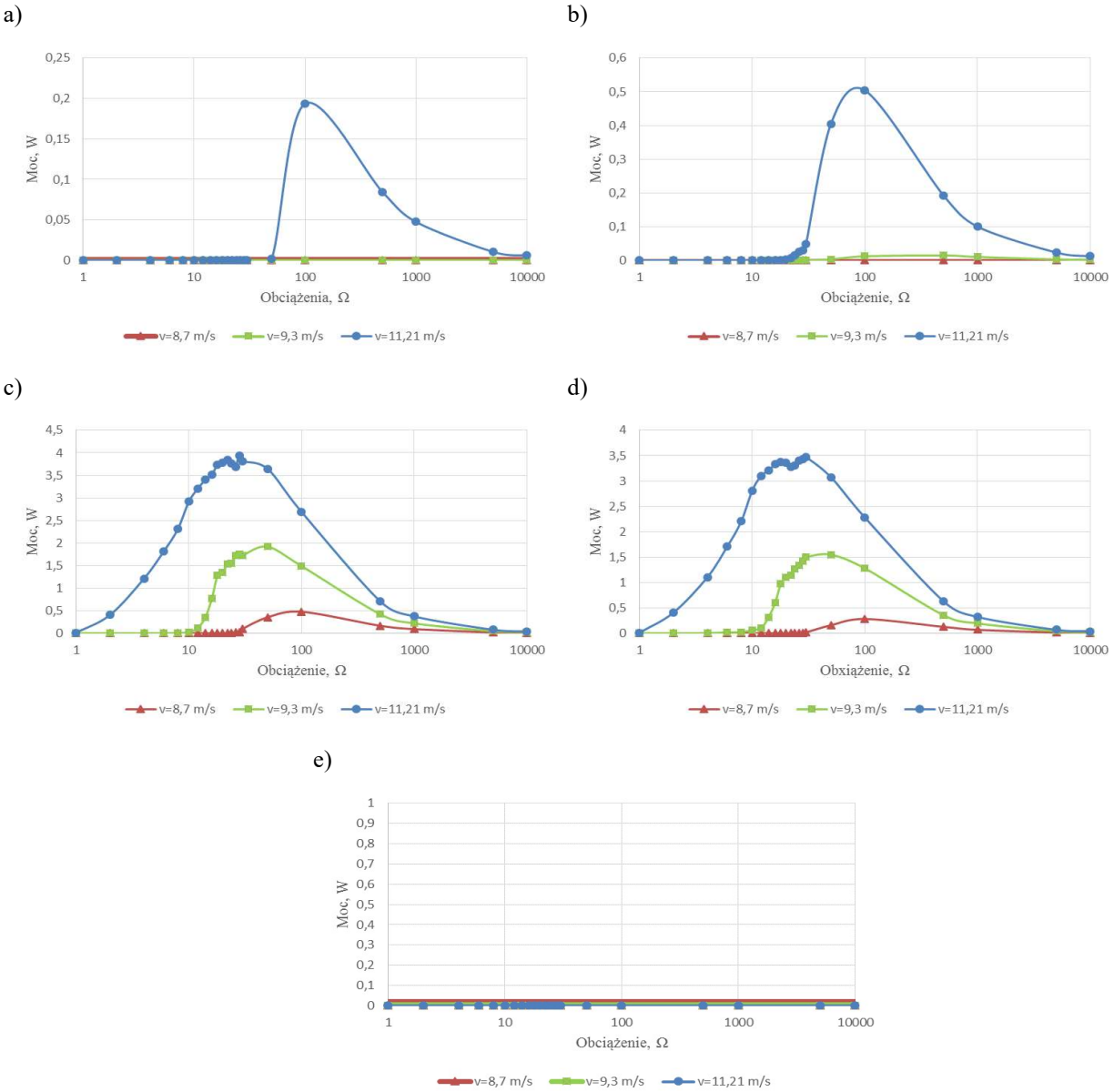
Wartości parametrów pracy elektrowni wiatrowej o pionowej osi obrotu (napięcie elektryczne oraz natężenie prądu elektrycznego) były zależne od dwóch zmiennych parametrów: prędkości strugi powietrza oraz kąta odchylenia łopat wirnika (rys. 9). Najwyższe wartości parametrów pracy elektrowni wiatrowej o osi pionowej osiągnięto przy prędkości wiatru V_p=11,21 m·s^{-1}. Jest to związane z przekazywaniem energii kinetycznej wiatru na koło wirnika turbiny wiatrowej, która zależy od prędkości strugi powietrza podniesionej do trzeciej potęgi. Przy odchyleniu łopat o kąt 0 stopni łopaty znajdowały się w położeniu prostopadłym do ramienia wirnika(rys. 9e). W efekcie, turbina wiatrowa nie była w stanie podjąćsamoczynnej pracy przez wirnik turbiny. W przypadku odchylenia łopat o kąt 15 stopni do wewnątrz oraz na zewnątrz osi wirnika (rys. 9a-b) turbina wiatrowa po samoczynnym rozruchu uzyskała maksymalną wartość napięcia elektrycznego wynoszącą odpowiednio do 8V oraz 11V. W przypadku odchylenia łopat o kąt 30 stopni do wewnątrz oraz na zewnątrz osi wirnika (rys. 9c-d) uzyskano największe wartości uzyskanego napięcia

elektrycznego. Wartości te wynosiły około 20V w obu przypadkach. Dodatkowym zjawiskiem, jakie zaobserwowano podczas badań, był obrót wirnika turbiny wiatrowej w przeciwnym kierunku do ruchu wskazówek zegara przy zewnętrznych kątach ustawienia łopat wirnika turbiny o pionowej osi obrotu. Było to przyczyną powstawania odwrotnej różnicy ciśnień po obu stronach łopaty, co skutkowało wystąpieniem kierunku siły nośnej po drugiej stronie i w przeciwnym kierunku. W przypadku odchylenia łopat o kąt 30 stopni, zjawisko to nie miało większego wpływu na uzyskiwane maksymalne parametry pracy turbiny wiatrowej. Zarówno przy kącie ustawienia łopat o 30 stopni do wewnątrz, jak i na zewnątrz, przebieg charakterystyki prądowo-napięciowej w obu przypadkach wyglądał podobnie.



Rys. 9. Charakterystyki prądowo-napięciowe pracy turbiny wiatrowej dla kąta ustawienia łopat (opracowanie własne):a) 15 stopni do wewnątrz, b) 15 stopni nazewnątrz, c) 30 stopni do wewnątrz, d) 30 stopni na zewnątrz, e) 0 stopni

Należy jednak zaznaczyć, że w przypadku niższej prędkości wiatru (V_p=9,3 m·s^{-1}),odchylenie łopat w danym kierunku omniejszy kąt (15 stopni) miało wpływ na pracę turbiny H-Darrieusa. Z kolei przy najmniejszejzadanej prędkości wiatru (V_p=8,7 m·s^{-1}) odchylenie łopat o kąt 15 stopni nie miało wpływu na pracę turbiny wiatrowej.



Rys. 10. Moc turbiny wiatrowej w funkcji zmiennego obciążenia dla kąta ustawienia łopat (opracowanie własne):a) 15 stopni do wewnątrz, b) 15 stopni nazewnątrz, c) 30 stopni do wewnątrz, d) 30 stopni na zewnątrz, e) 0 stopni

Dla tradycyjnego ustawienia łopat (0 stopni) przy wszystkich trzech zadanych prędkościach strugi powietrza wirnik turbiny nie obracał się. Dopiero przy kącie odchylenia łopat równym 30 stopni w danym kierunku, zaobserwowano znaczący wzrost wartości parametrów pracy elektrowni wiatrowej.Na podstawie charakterystyk prądowo-napięciowych można stwierdzić,

że zmiana kąta położenia łopat wirnika w odpowiednim zakresie wpływa pozytywnie na wartość uzyskiwanego napięcia elektrycznego.

Rozpatrując zależność mocy elektrowni wiatrowej od prędkości strugi powietrza oraz kąta odchylenia łopat wirnika (rys. 10), można zauważyć podobieństwo do przebiegu charakterystyk prądowo-napięciowych. Jest to wynikiem bezpośredniej zależności mocy elektrowni wiatrowej od uzyskiwanej wartości napięcia elektrycznego powstałego na zaciskach generatora prądu elektrycznego.

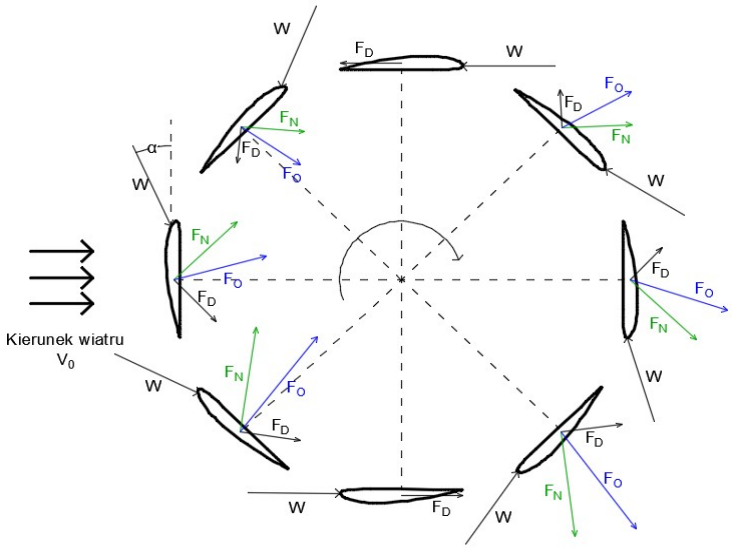
Maksymalna moc prototypu elektrowni wiatrowej o pionowej osi obrotu dla prędkości wiatru V_p=11,21 m·s^{-1} wynosiła odpowiednio od 3,5 W do 4,0 W dla kąta ustawienia łopat 30 stopni na zewnątrz oraz do wewnątrz (rys. 10c-d). Przy ustawieniu łopat pod kątem 15 stopni dowewnątrz oraz na zewnątrz(rys. 10a-b) maksymalne osiągnięte moce wynosiły 0,2 W oraz 0,5 W. W przypadku standardowego ustawienia łopat wirnika (0 stopni, rys. 10e) wartość mocy elektrowni wiatrowej wynosiła 0 z powodu nie podjęcia samoczynnej pracy wirnika.Maksymalne wartości uzyskanych mocy elektrowni wiatrowej w różnych wariantach odchylenia łopat względem osi obrotu zostały osiągnięte dla obciążenia układuwynoszącego 30 Ω. Jest to związane z wyrównaniem się wewnętrznego obciążenia generatora prądu elektrycznego z zewnętrznych obciążeniem zespołu turbiny wiatrowej symulowanym za pomocą opornicy dekadowej. Należy jednak zwrócić uwagę, że w przypadku niższych prędkości wiatru (V_p=9,3 m·s^{-1} oraz V_p=8,7 m·s^{-1}) maksymalna wartość mocy uzyskiwana była dla wyższych obciążeń prądnicy turbiny wiatrowej (odpowiednio dla 50 Ω oraz 100 Ω).

Na podstawie uzyskanych wynikówmożna stwierdzić, że wartość kąta odchylenia łopat wirnika wpływa na parametry pracy elektrowni wiatrowej (napięcie elektryczne oraz moc). Spośród wszystkich uwzględnionych wartości kąta odchylenia łopat, przebadanych w różnych warunkach wietrzności, najbardziej optymalnym ustawieniem łopat wirnika był kąt 30 stopni do wewnątrz. Przy takim ustawieniu łopat została wygenerowana największa moc oraz wartość napięcia elektrycznego.

4. Dyskusja wyników

Wpływ zmiany kata natarcia łopatwirnika (α) można wytłumaczyć rozkładem sił podczas oddziaływania wiatru na turbiną wiatrową (rys. 11). Siła obwodowa F_O powodująca obrót wirnika składa się z dwóch sił składowych: siły nośnej F_N oraz siły oporu F_D.Zmiana kąta ustawienia łopat wirnika, spowodowała zmianę wartości siły nośnej oraz siły oporu. Przy badanym kącie ustawienia łopat równym 30 stopni do wewnątrz siła nośna została zwiększona przy jednoczesnym zmniejszeniu wartości siły oporu. W efekcie, zwiększona

została siła obwodowa, która zmieniając swoje położenie zwiększała moment obrotowy wirnika, przez co elektrownia wiatrowa osiągnęła lepsze parametry pracy.



Rys. 11. Rozkład sił na kole wirnika turbiny H-Darrieusa (opracowanie własne)

Powstawanie siły nośnej jest związane z różnicą ciśnień występujących pod obu stronach łopaty przy kącie natarcia łopat różnym od zera. W pozycji, kiedy łopaty znajdują się równolegle do napływającej strugi powietrza (W) występuje tylko siła oporu, która przyczynia się do zmniejszania wartości powstającej siły obwodowej. Siła nośna zaczyna powstawać w momencie, kiedy łopaty wirnika opuszczą pozycje równoległe do strugi wiatru (Beri, Yao 2011).

5. Wnioski

W pracy przeprowadzono badania nad wpływem zmiany kąta natarcia łopat na parametry pracy skonstruowanego prototypu turbiny wiatrowej H-Darrieusa dla różnych prędkości przepływu powietrza. Wyniki badań w tunelu aerodynamicznym wykazały, że zmiana kąta natarcia łopat wirnika w odpowiednim zakresie pozytywnie wpływa na poprawę wartości osiąganych parametrów pracy elektrowni wiatrowej. Przy kącie ustawienia łopat 30 stopni do wewnątrz wirnika osiągnięto znacznie większą moc (N_{el} = 4,0 W), niż w przypadku odchylenia łopat o kąt 15 stopni nazewnątrz wirnika (N_{el}=0,5 W). Analogiczna zależność wystąpiła w przypadku wartości uzyskanego napięcia elektrycznego. Maksymalne napięcie elektryczne, uzyskane dla kąta odchylenia łopat o 30 stopni do wewnątrz (U_{max}=20 V) było wyższe, niż w przypadku odchylenia łopat o kąt 15 stopni na zewnątrz (U_{max}=11 V). Najbardziej optymalnym obciążeniem układu, dla którego turbina wiatrowa osiągnęła maksymalne wartości parametrów była wartość 30 Ω dla prędkościV_p=11,21 m·s^{-1}, 50 Ω dla prędkościV_p=9,3 m·s^{-1}oraz 100 Ω dla prędkościV_p=8,7 m·s^{-1}, którew danych warunkach byłe równe wewnętrznemu oporowi generatora prądu elektrycznego.

Zmiany kąta natarcia łopat wirnika turbiny typu VAWT mogą przyczynić się do szerszego wykorzystywania tego rodzaju konstrukcji w lokalnych jednostkach wytwarzających energię elektryczną ze względu na potencjał do zwiększenia wydajności produkcji energii elektrycznej.

6. Literatura

Augustyn M., Ryś J. 2007. *Kinematyka i moment napędowy turbiny wiatrowej o pionowej osi obrotu.* Czasopismo Techniczne, 104 (1-M), 3-17

Baworski A., Garbala K., Czech P., Witaszek K. 2015. *Estimation of the ability to use a mass of air from a moving vehicle in wind turbine propulsion. Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport.,* 88, 5-17

Beri H., Yao Y. 2011. Effect of Camber Airfoil on Self Starting of Vertical Axis Wind Turbine., INT. J. ENVIRON. SCI. TE., 4, 302-312

Bukała J., Damaziak K., Krzeszowiec M., Małachowski J. 2014. *Rozwiązania konstrukcyjne małych turbin wiatrowych.*, Modelowanie Inżynierskie, 22 (53), 21-29.

Główny Urząd Statystyczny. 2016. *Energia*. Departament Produkcji GUS. Wydział Bilansów Paliw, Surowców i Materiałów

Islam M., Ting David S. K., Fartaj A. 2006. Aerodynamic models for Darrieus- type straight-bladed vertical axis wind turbines., RENEW. S. UST. ENERG. REV., 12 (2008), 1087-1109

Jagodziński W. 1959. *Silniki wiatrowe.* Warszawa, PWT

Komisja Wspólnot Europejskich. 2007. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów dot. średniookresowego przeglądu szóstego wspólnotowego programu działań w zakresie środowiska naturlanego. Bruksela, KOM(2007) 225

Manwell J. F., McGowan J. G., Rogers A. L. 2009. *Wind Energy Explained. Theory, Design and Application.*, WILEY, Chichester, ISBN 978-0-470-01500-1

Nalepa K., Miąskowski W., Pietkiewicz P., Piechocki J., Bogacz P. 2011. Poradnik małej energetyki wiatrowej., Olsztyn

Polak A., Barański M. 2006. Porównanie turbin wiatrowych., Zeszyty Problemowe-Maszyny Elektryczne, 74/2006, 147-151

Strzelczyk P., Szczerba Z. 2011. Turbiny wiatrowe z pionową osią obrotu. Pneumatyka, 1 (78), 30-34.

www1: http://tiny.pl/gls3n (dostęp 09.12.2017)

www2: http://tiny.pl/gls31 (dostęp 09.12.2017)

Inwentaryzacja obiektu metodą gęstego matchingu

Karolina Pargieła [(1)], Antoni Rzonca [(2)]

[1] Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Akademia Górniczo – Hutnicza w Krakowie
[2] Katedra Geoinformatyki, Fotogrametrii i Teledetekcji, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Akademia Górniczo – Hutnicza w Krakowie
Karolina Pargieła: pargielakarolina@gmail.com

Streszczenie
Celem pracy było przedstawienie automatycznego procesu generowania modelu 3D ze zdjęć cyfrowych, wykonanych kamerą niemetryczną, wraz z analizą przydatności tego typu opracowania w procesie inwentaryzacji. Posłużono się oprogramowaniem *AgisoftPhotoScan Pro 1.3.3*. Przedstawiono charakterystykę procesu inwentaryzacji oraz opis dokumentacji trójwymiarowej. Opisano sposób pozyskiwania danych, a w szczególności parametry konieczne do ustawienia w aparacie cyfrowym, w celu wygenerowania jak najbardziej realistycznego produktu. Scharakteryzowano również użyty sprzęt oraz obiekt i warunki pracy terenowej. Dokonano analizy poszczególnych etapów przeprowadzanych przez oprogramowanie, składających się na całość procesu generacji od momentu wczytania zdjęć, aż po ostateczny produkt, czyli model 3D zawierający tekstury. Dokonano analizy otrzymanego modelu pod kątem przydatności danych w celach inwentaryzacyjnych. Ocenie poddano również wykorzystane zdjęcia oraz oprogramowanie. Przeprowadzono także rozważania na temat dokładności prezentowanej metody inwentaryzacji, wraz z analizą poprawności uzyskanych danych.

Słowa kluczowe: inwentaryzacja, model, aparat, gęsty matching, chmura puntków

Inventory of the object by dense matching method

Summary
The main purpose of thesis is both to present an automatic process of generation 3D models from digital pictures taken with a non-metric camera and a commentary how useful such a coverage can be in the process of the inventory. AgisoftPhotoScan Pro 1.3.3. has been used.The first part consists of characteristics of the process of inventory as well as a description of the 3D specifications. The system of data acquisition has been characterized, especially all parameters needed to be set in a digital camera for the generation of the most realistic effect. The equipment used has been also characterized as well as the object and conditions of fieldwork. The further part analyses respective phases of the generation executed by the software, from loading pictures to final effects. The last part analyses both the correctness of the final product as well as software parameters.

Keywords: inventory, model, camera, dense matching, point cloud

1. Wstęp

- Inwentaryzacja

Obecnie w pracach inwentaryzacyjnych wykorzystuje się nowoczesne metody bazujące na fotogrametrii i skaningu laserowym.Dokumentacja cyfrowa stała się koniecznością i standardem w przeprowadzaniu prac związanych z inwentaryzacją zabytków (Boroń i in. 2007). Szczególną rolę w procesie inwentaryzacji odgrywa chmura punktów, na podstawie której można przeprowadzać dokładne operacje pomiarowe, dokonać wizualizacji obiektu przeniesionego do przestrzeni wirtualnej czy też wykonać precyzyjny model 3D, prezentujący badany obiekt(Bednarz i in. 2016).Zastosowana w pracy metoda jest rozwiązaniem umożliwiającym bezpośrednie generowaniemodelu 3D na podstawie chmury punktów.

Typowa dokumentacja trójwymiarowa charakteryzuje się przedstawieniem geometrii, w jak najwierniejszym odwzorowaniu, z zachowaniem wszelkich wymogów technicznych.

W przypadku produktów inwentaryzacji niespełniających wymaganych kryteriów, można je wykorzystać, jako elementy przydatne w celach wizualizacyjnych bądź prezentacyjnych (Bunsch i in. 2014).

- Cele stosowania dokumentacji 3D

Dzięki zastosowaniu dokumentacji w formie 3D można osiągnąć konkretne (Bunsch i in. 2014):

  - Cyfrowa kopia wzorcowa – najbardziej wierna i szczegółowa prezentacja kształtu obiektu.
  - Dokumentacja stanu zachowania w celach konserwatorskich –ma umożliwić dokumentację aktualnego stanu obiektu.
  - Cyfrowa reprezentacja stosowana do prezentacji w czasie rzeczywistym – do celów prezentacjiw Internecie.

- Algorytmy matchingu

Rekonstrukcja 3D przeprowadzana na podstawie zdjęć cyfrowych przebiega w kilku procesach. Pierwszym z nich jest *matching* cech zgodnych (*correspondencematching*) pomiędzy zdjęciami. Punkty zgodne na zdjęciach to takie punkty, które podczas projekcji 3D obrazują ten sam punkt na prezentowanym obiekcie. Zbiór cech wspólnych wykrytych na każdym ze zdjęć zawartym w zbiorze, stanowi bazę *matchingu*dopasowań. Wykrywanie cech na obrazach redukuje liczbę punktów homologicznych w procesie dopasowań. Matching przeprowadzany dla wszystkich pikseli jednego zdjęcia z innym zdjęciem jest bardzo wymagający. Wykorzystanie cech na obrazach znacznie zmniejsza czas obliczania dopasowania. Proces ten może być przeprowadzany za pośrednictwem techniki *Structure from Motion* (Maiti i in. 2016).

„*Structure from Motion* jest to technika obrazowania w zakresie fotogrametrycznym do szacowania struktur trójwymiarowych z dwuwymiarowych sekwencji obrazów, które mogą być sprzężone z lokalnymi sygnałami ruchu” (wikipedia.org 2017). Podejście to wyznacza równocześnie parametry geometryczneoraz orientację aparatu względem obiektu dla każdego zdjęcia. Proces działa iteracyjnie, dzięki czemu pozycja zostaje określona z największą możliwą precyzją. Każdy punkt posiada własne lokalne deskryptory bazujące na najbliższym sąsiedztwie, co umożliwia detekcję korespondencji między zestawem zdjęć (Verhoeven i in. 2012). Kiedy kalibracja i pozycja kamery osiągną poziom akceptowalny, proces ulega zakończeniu.

Otrzymana w pierwszym etapie*SfM* rzadka chmura punktów nie jest przydatna do przeprowadzenia dalszej rekonstrukcji. Ostateczny obiekt charakteryzowałby się brakiem

szczegółowości. Gęsta chmura punktów może być pozyskana dzięki procesom gęstego *stereo matchingu* (Maiti i in. 2016).

Na podstawie uzyskanych za pośrednictwem metody *SfM* informacji w formie wyrównanych zdjęć istnieje możliwość wykonania rekonstrukcji poprzez algorytmy gęstego, *multiviewpoint stereo –matchingu* (De Reu 2013). Ma to na celu pozyskanie geometrycznych szczegółów sceny. Proces bazuje na dwóch głównych krokach. Pierwszym z nich jest wyznaczenie położenia 3D punktów w postaci map głębokości, drugim natomiast generowaniemodelu przy pomocy chmury punktów (Campbell 2008). Kalibracja oraz orientacja przestrzenna fotografii umożliwia zorientowanie sensora, który udokumentował każde ze zdjęć w wirtualnej przestrzeni. Dzięki temu zabiegowi umożliwione jest wyświetlenie przez wirtualny model obiektywu informacji o pikselu, w formie linii skierowanej bezpośrednio w kierunku powierzchni obiektu wirtualnego (określenie głębokości dla każdego piksela). Kolejne prezentacje rzutowe tworzą stopniowo rozszerzające się pole, obrazujące ślad wyświetlanego piksela na powierzchni obiektu. W momencie, kiedy ślady zrzutowane z kilku zdjęć przecinają się wzajemnie w płaszczyźnie obiektu, tworzą wspólną objętość (mapę głębokości). Następuje proces prowadzący do zmniejszenia objętości reprezentowanej przez projekcje. Kiedy objętość osiąga najmniejszą możliwą wartość, precyzja pozycji punktu w przestrzeni rośnie.

Efektem wyjściowym drugiego z etapów jest *mesh* w postaci poligonów, Oprogramowanie przy pomocy znanej pozycji oraz kąta widzenia punktów w gęstej chmurze dla każdego zdjęcia, wykorzystuje algorytm, budujący geometryczną siatkę (culturalheritageimaging.org 2017). Proces wylicza również wartość koloru dla każdego z wektorów. Podczas renderowania dany kolor (wyznaczony na podstawie dopasowanych pikseli kolejnych zdjęć) zostaje interpolowany dla każdego poligonu. Dzięki znacznej ilości poligonów kolor ten umożliwia przedstawienie realistycznej prezentacji obiektu (De Reu 2013).

2. Materiał i metody

- Charakterystyka obiektu

Na obiekt badań wybrano niewielkiej wielkości figurkę (Rys. 1). Wybór ten był motywowany zaleceniami producentów oprogramowania. Zgodnie z założeniami obiekty powinny charakteryzować się niejednolitością i jak najmniejszą refleksyjnością. Wybrana figurka posiada partie zarówno zgodne z zaleceniami (detaliczny przód) oraz całkowicie im przeczące (jednolity tył, refleksyjna głowa). Umożliwiło to skonfrontowanie możliwości programu.

Rys. 1. Obiekt badań – figurka

- Charakterystyka parametrów aparatu

Zdjęcia wykorzystane w metodzie mogą być wykonywane zarówno za pośrednictwem kamer metrycznych, jak również niemetrycznych. Kamery metryczne charakteryzują się posiadaniem wyznaczonych w procesie kalibracji elementów orientacji wewnętrznej oraz parametrów dystorsji (Butowtt 2003).

Wykorzystany aparat cyfrowy powinien posiadać rozdzielczość, co najmniej 5 MPix. Przy matrycy pełno klatkowej najoptymalniejsza wartość ogniskowej obiektywu wynosi 50 mm. Należy dostosować parametry naświetlania w taki sposób, aby otrzymane zdjęcie było odpowiednio kontrastowe, ostre i poprawnie naświetlone. Czułość matrycy kamery powinna być jak najniższa, aby zminimalizować szumy na zdjęciach (agisoft.com.pl 2017).

Do wykonania zdjęć wykorzystano lustrzankę cyfrową *Sony Alpha 350* z obiektywem *Sony DT 18-70mm F3.5-5.6*. Ze względu na posiadaną przez wykorzystany aparat cyfrowy matrycę o sensorze rozmiaru APS-C, koniecznym było wyznaczenie odpowiedniej wartości ogniskowej, zgodnej z zaleceniami, gdyż elementem decydującym o odwzorowaniu obrazu na matrycę jest kąt widzenia obiektywu, który ulegnie zmianie ze względu na mniejsze rozmiary (Wójcik 2002). Przelicznik dla aparatów marki SONY wynosi 1,5x. Otrzymana wartość ogniskowej wyniosła około 33 mm.

- Charakterystyka warunków wykonywania zdjęć

Ze względu na konieczność unikania nadmiernej refleksyjności, a zarazem zachowania odpowiedniego oświetlenia, zdjęcia wykonywano w ciągu dnia, przy znacznym zachmurzeniu nieba. Taka pogoda ma wpływ na rodzaj występującego światła, które można podzielić na dwa typy: twarde i miękkie. Pierwszy z nich charakteryzuje się równoległym przebiegiem promieni świetlnych, natomiast w drugim przypadku promienie przecinają się w różnych

kierunkach. Zachmurzenie bądź zacienione miejsce wpływa na rozproszenie twardego światła słonecznego (Wójcik 2002).

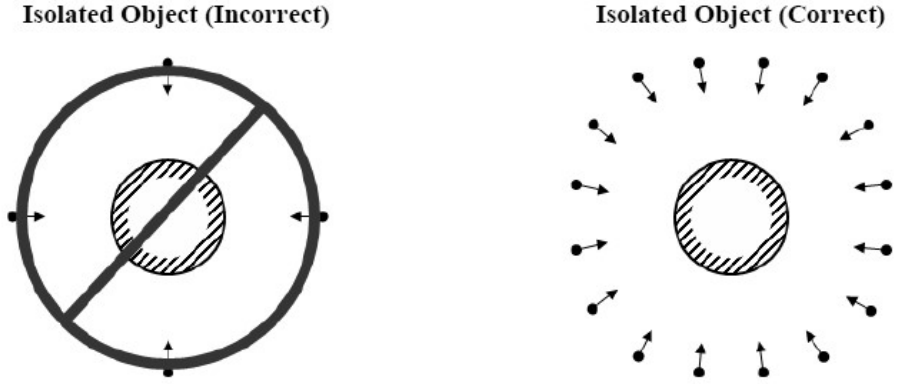
- Aligningphotos

Pierwszym etapem jest wyrównanie wzajemne zdjęć. Program wyznacza wstępnie elementy orientacji zdjęć oraz definiuje parametry kalibracji kamery. Na podstawie wyznaczonych wartości usuwana jest dystorsja, czyli nieprawidłowość polegająca na różnicy między wiązką wychodzącą z obrazowego punktu węzłowego obiektywu od wiązki skupionej w przedmiotowym punkcie węzłowym obiektywu (Bernasik 2003).

Na tym etapie istnieje możliwość zdefiniowania konkretnych parametrów:

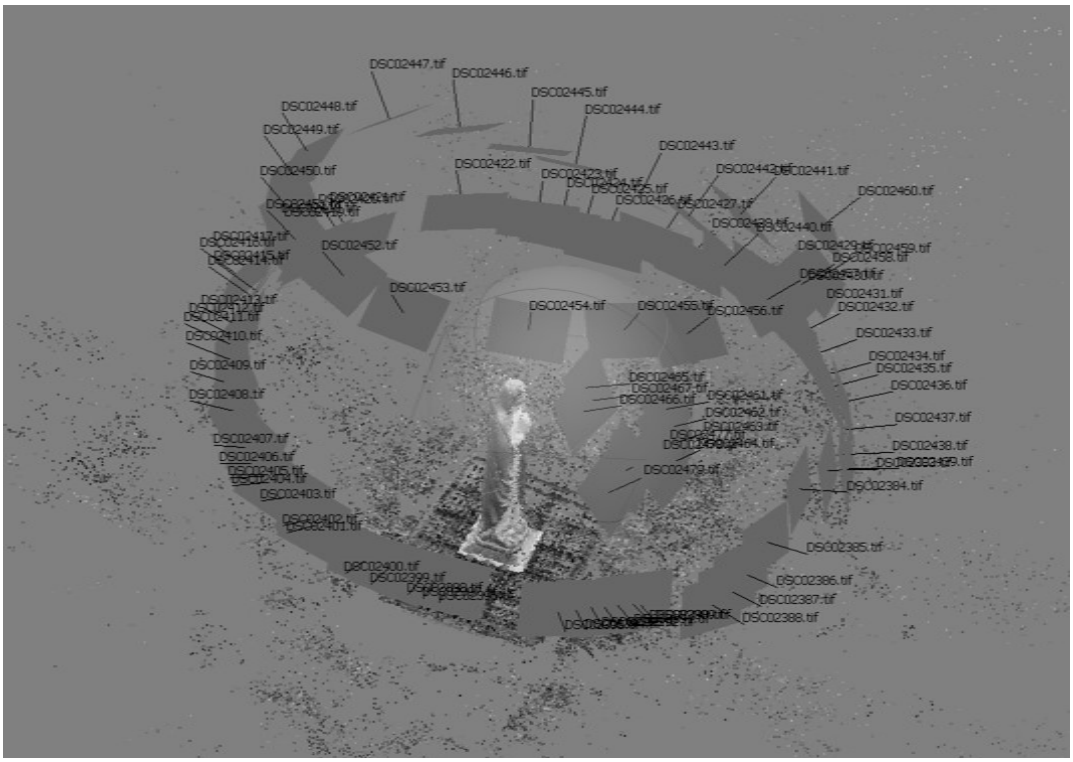
- *Accuracy* – parametr mający wpływ na dokładność wyznaczenia pozycji kamery, względem czasu przeprowadzania procesu. Konkretne opcje wiążą się z wyborem czy praca ma być przeprowadzana na zdjęciach powiększonych, pomniejszonych czy o oryginalnych rozmiarach.
- *Pairpreselection* – opcja ta pozwala na wybór sposobu dobierania kolejnych par zdjęć pokrywających się ze sobą.
- *Key/Tie point limit* – górna granica ilości cech punktów wspólnych branych pod uwagę przy przeprowadzaniu procesu oraz punktów matchingu do dalszych obliczeń.

Aby obiekt został zobrazowany jak najbardziej poprawnie, zdjęcia nie powinny być wykonywane z jednego stanowiska oraz należy zadbać o równomierne zmiany pozycji wykonywania fotografii(Rys.2). W przypadku zbyt małej ilości danych uzyskiwano zjawisko martwych pól, czyli obszary, które nie zawierały odpowiedniej ilości punktów wspólnych koniecznych do przeprowadzenia prawidłowego procesu (Preuss 2014). Ostatecznie do programu wczytano 88 zdjęć uznanych za najodpowiedniejsze.



Rys. 2. Prawidłowe ulokowanie stanowisk wykonywania zdjęć (agisoft.com.pl)

Dla analizowanych danych nie wystąpiły błędy związane z niewłaściwym obliczeniem pozycji kamery (Rys.3).



Rys. 3. Wizualizacja efektu procesu wyrównania

- Buildingdense point cloud

Program przeprowadza proces tworzący gęstą chmurę punktów. Działa on na zasadzie wyznaczeniagłębokości dla każdego ze zdjęć. Aby zapewnić generowanie jak najbardziej zgodnego z wymaganiami produktu, koniecznym jest dostosowanie parametrów do konkretnych potrzeb.

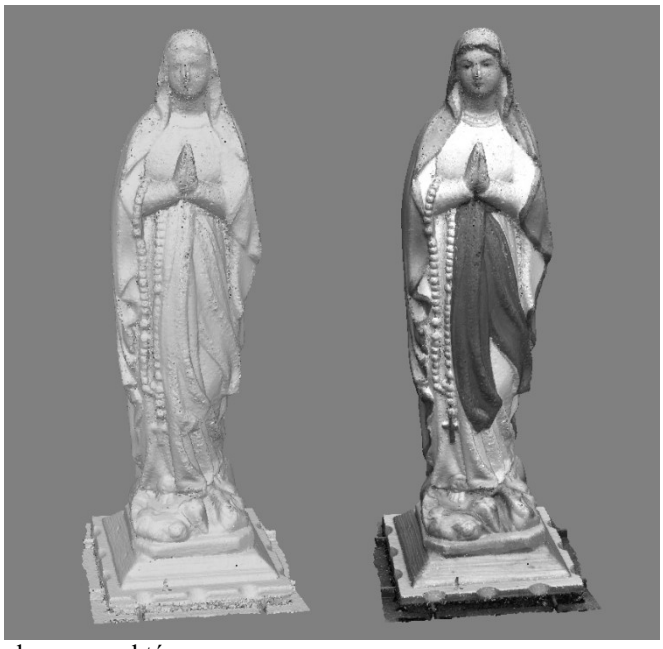
- *Quality* – parametr określający ostateczną jakość wygenerowanej chmury. W zależności od wyboru, program pracuje na zdjęciach o oryginalnych rozmiarach bądź przeskalowanych.
- *Depth Filteringmodes* – w związku z obliczanymi przez program mapami głębokości, mogą pojawiać się artefakty wywołane szumami na zdjęciach czy niedostateczną ostrością, które można poddać filtracji.

Wynikiem procesu jest gęsta chmura, składająca się z ponad 4,2 mln punktów (Rys. 4).

- Buildingmesh

Na podstawie wygenerowanej w poprzednim procesie chmury punktów generowana jest siatka *mesh*. Maksymalna ilość poligonów może być redukowana. Od użytkownika zależy również dobór pierwotnych danych, gdyż można pracować zarówno na rzadkiej jak i gęstej

chmurze punktów. W przypadku, kiedy odnotowane zostaną braki w danych, istnieje możliwość dokonania interpolacji modelu, polegającej na sztucznym zapełnieniu luk.



Rys. 4. Wygenerowana gęsta chmura punktów

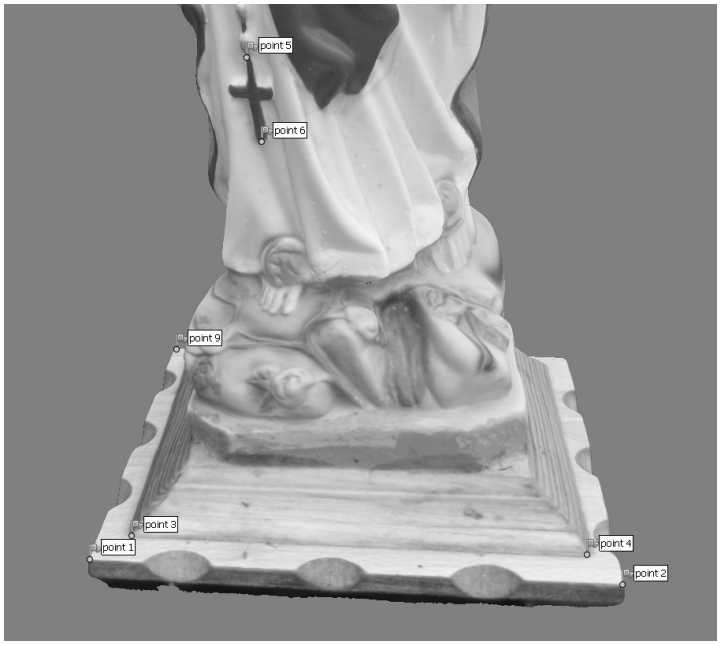
- Building model texture

Ostatecznie wygenerowany model 3D można poddać teksturowaniu (Rys. 5). Tekstury można podzielić na dwa typy: naturalne – uzyskane za pośrednictwem zdjęć rzeczywistego obiektu –oraz sztuczne – przypisane na podstawie dostępnych bibliotek, zawierających przykładowe materiały (Tokarczyk 2012). W analizowanym przypadku zachodzi konieczność wygenerowania jak najbardziej realistycznego modelu, dlatego też do dalszych prac związanych z teksturowaniem wykorzystano zdjęcia wykorzystane w poprzednich procesach.

Rys. 5. Otrzymany model ostateczny

3. Wyniki

Wygenerowany za pośrednictwem oprogramowania *AgisoftPhotoscan* model nie posiada prawidłowych wymiarów, a jedynie zachowuje proporcje pomiędzy elementami, dlatego też konieczne jest przeprowadzenie skalowania. W tym celu wykonano pomiar bezpośredni na obiekcie, a wyznaczone wartości przypisano do odpowiednich odcinków na modelu, ustalając markery, pomiędzy którymi tworzy się odcinki o nadanej długości.



Rys. 6. Przykładowe umiejscowienie markerów

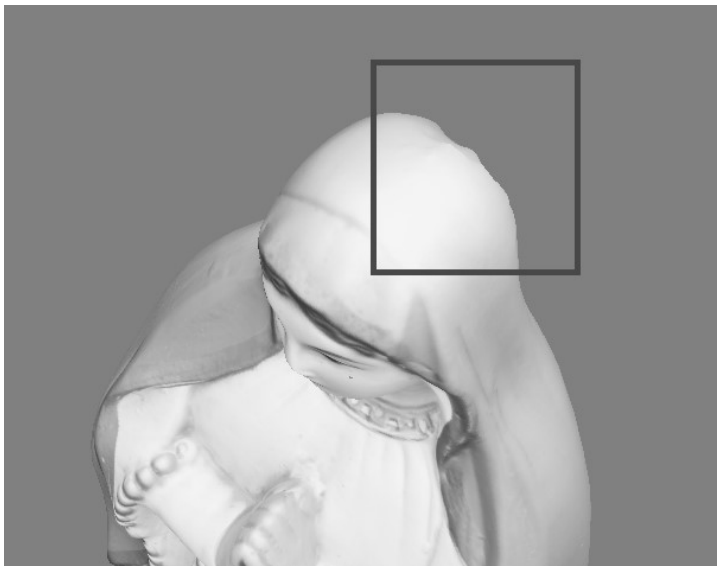
Dokonano kontroli przeprowadzonego procesu skalowania poprzez wykonanie pomiaru kontrolnego. Różnice pomiędzy pomiarem bezpośrednim a pomiarem wykonanym na modelu nie przekraczają 0,3 cm. Wynik ten jest zadowalający dla tego typu obiektu.

Ocenie poddano również realizm wygenerowanego modelu. W tym celu porównano go z fotografowanym obiektem. Zauważono, że odwzorowanie zostało wykonane w sposób bardzo precyzyjny. Świadczy o tym prezentacja nawet drobnych ubytków na powierzchni obiektu, odpryśnięć czy zacieków.

Pomimo jednolitości i lekkich refleksów tył figurki prezentuje się poprawnie. Znacznie gorszy efekt uzyskano dla najbardziej refleksyjnej części obiektu, czyli głowy. Obszar ten nie został poprawnie odwzorowany geometrycznie, co uwidocznione zostało poprzez nieakceptowalne zniekształcenia (Rys.7).

Stosując takie same parametry (medium), wykonano dwa modele: przy użyciu zdjęć pierwotnych i edytowanych w programie Adobe Lightroom, gdzie manipulując krzywą tonalną doprowadzono do zwiększenia kontrastu między obiektem a tłem. Zauważono znaczną różnicę jakości wyszukanych punktów. Model ze zdjęć oryginalnych w okolicach

głowy posiada niechciane artefakty, które program powinien odczytać, jako tło, a nie część obiektu (Rys. 8).



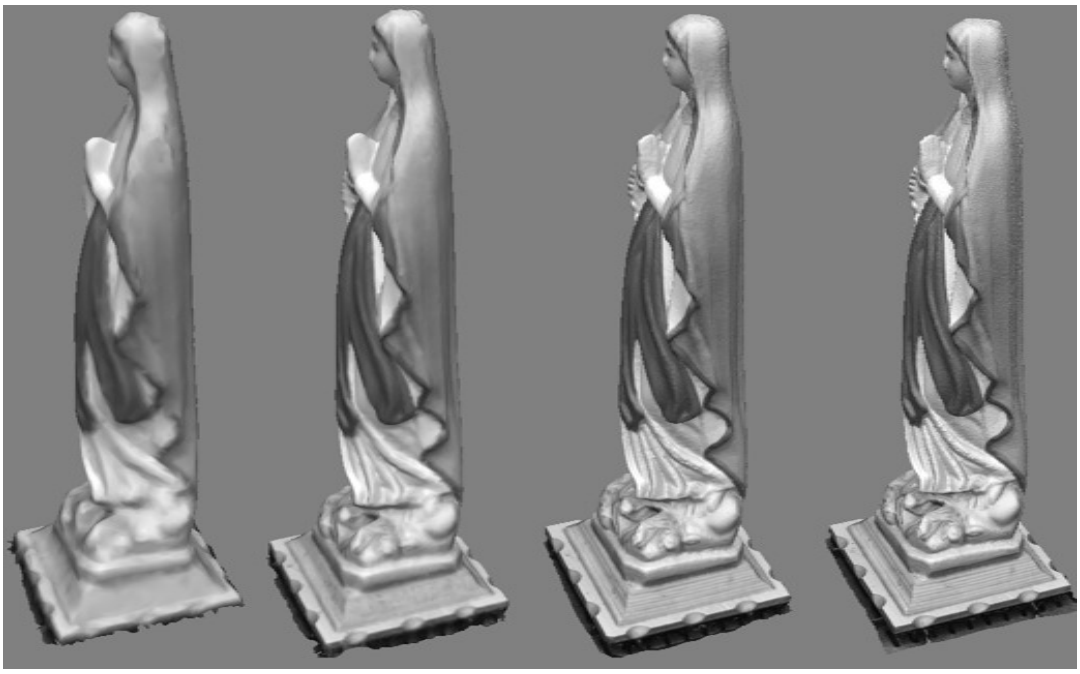
Rys. 7. Błąd modelu wynikający z odbicia zwierciadlanego

Rys. 8. Model wykonany ze zdjęć pierwotnych i edytowanych

Analizie poddano również parametry oferowane przez oprogramowanie w poszczególnych procesach. Różnica zauważalna jest już w momencie porównania ilości utworzonych punktów. Wraz z dokładnością parametrów zwiększa się zdecydowanie ich ilość począwszy od etapu wyrównania, poprzez gęstą chmurę, aż po poligony. Dla wartości *Low* ilość punktów gęstej chmury osiąga wartość około 400 000, natomiast dla parametru *Ultra High* ilość ta wynosi około 14 mln. Zauważono również znaczne różnice pomiędzy wyglądem modelu dla poszczególnych opcji (Rys. 9).

Najbardziej zaskakującym okazał się fakt, że model wygenerowany na najwyższych możliwych ustawieniach dokładnościowych zawiera błędy związane z odwzorowaniem geometrii w tylnej partii figurki. Przyczyną tego zjawiska może być to, że program, pracując

na najwyższych możliwych parametrach, wykorzystuje zdjęcia powiększone czterokrotnie. Z tego względu analizowane obrazy powinny charakteryzować się idealną ostrością.



Rys. 9. Modele wykonane na zmiennych parametrach

Najlepsze i najbardziej odpowiednie dla modelowanej figurki okazują się parametry *High*. Pozostałe opcje zostały dopasowane do kształtu i specyfiki obiektu badań. Otrzymano model składający się z wystarczającej ilości punktów, najlepiej odzwierciedlających geometrię oraz wygląd. Na powierzchni poza obszarem głowy nie odnotowano nienaturalnych odkształceń.

4. Dyskusja

Metody cyfrowej dokumentacji obiektów są w fazie ciągłego rozwoju. Wiele z dostępnych algorytmów wciąż podlega udoskonalaniu i poprawie, jakości otrzymanych danych. Odnotowuje się ciągły postęp związany z automatyzacją procesów, a zarazem znacznym obniżeniem kosztów (Bunsch 2014).

W związku z zapotrzebowaniem na różne celedokumentacji obiektów zabytkowych bardzo wysokiego priorytetu nabiera możliwość pozyskiwania i przetwarzania danych umożliwiających bezinwazyjne, a zarazem łatwo dostępne gromadzenie materiałów (Bunsch 2012).

Zastosowana w pracy metoda stanowi dobrą alternatywę dla drogiego i długotrwałego skaningu laserowego. Pełna automatyzacja i prostota pozyskania i przetwarzania danych ma znaczny wpływ na przydatność w procesie inwentaryzacji i konieczność dalszego rozwoju algorytmów.

Analizując otrzymane różnice pomiędzy poszczególnymi parametrami oferowanymi przez oprogramowanie można wyciągnąć wniosek, że dzięki różnorodności opcji program oferuje możliwość pracy na wielu poziomach szczegółowości. Biorąc pod uwagę błędy wynikające z niskiej rozdzielczości i naturalnego oświetlenia, należy zaznaczyć, że istnieje możliwość użycia lepszego sprzętu – aparatu i lamp studyjnych. To pomogłoby uniknąć największej wady modelu – zaburzeń geometrii wynikających z refleksyjności. Wynik pracy należy traktować, jako reprezentatywny, z uwagi na charakter obiektu oraz sprzęt użyty do pozyskania danych.

5. Wnioski

Zalety metody:

- Niski koszt pozyskania danych.
- Brak konieczności posiadania profesjonalnego i drogiego sprzętu.
- Automatyka procesów.
- Obiekt pomiaru może być dowolnych rozmiarów.
- Powstają realistyczne modele.

Wady metody:

- Błędy związane z geometrią obiektu (szczególnie w przypadku obiektów o nawet niewielkiej refleksyjności).
- Konieczność kontroli wyniku.
- Konieczność przeskalowania modelu.

Zastosowana w niniejszej pracy metoda digitalizacji uniemożliwia przeprowadzenie profesjonalnej i całkowicie oddającej rzeczywistość prezentacji geometrii obiektów. Jednak ze względu na prostotę wykonania oraz możliwość analizy różnorodnych obiektów, może w przyszłości znacznie ułatwić i usprawnić procesy dokumentacyjne. Odtwarzanie modeli na podstawie zdjęć jest zdecydowanie prostsze i szybsze niż skaning laserowy. Ponadto niewielkie wymiary używanego sprzętu pozwalają na większy dostęp do szczegółów.

6. Literatura

Bednarz Ł., Jasieńko J., Kogut T., Dominiak Ł., 2016. Przydatność chmury punktów do inwentaryzacji zabytku na podstawie kościoła pw. Wniebowzięcia Najświętszej Marii Panny w Nysie. Wiadomości Konserwatorskie, nr 45, strony 117 – 128.

Bernasik J., Mikrut S., 2003. Fotogrametria inżynieryjna. Skrypt akademicki udostępniony na stronach internetowych OEN AGH, Kraków.

Boroń A., Rzonca A., Wróbel A., 2007. Metody fotogrametrii cyfrowej i skanowania laserowego w inwentaryzacji zabytków. Roczniki Geomatyki, Tom V, Zeszyt 8, str. 129-140.

Bunsch E., Ceraficki P., Pyzik W., Sitnik R., Staszkiewicz W., Szala M., 2012. Cyfrowe odwzorowania muzealiów – parametry techniczne, modelowe rozwiązania. Narodowy Instytut Muzealnictwa i Ochrony Zbiorów, ISBN 978-83-933790-3-3, Warszawa.

Bunsch E., Sitnik R., 2014. Kryteria doboru techniki 3D do dokumentacji obiektów dziedzictwa kulturowego. Digitalizacja w muzeach, nr 2, ISBN 978-83-64889-03-5, Warszawa.

Butowtt J., 2003. Fotogrametria. Wojskowa Akademia Techniczna. Warszawa.

Campbell N., Vogiatzis G., Hernandez C., Cipolla R., 2008.Using multiple hypotheses to improve Depth – Maps for Multi-View Stereo. Computer Vision – ECCV 2008, pp. 766-779.

De Reu J., Plets G., Verhoeven G., De Smedt P., Bats M., Cherrette B., De Maeyer W., Deconynck J., Herremans D., Laloo P., Van Meirvenne M., De Clercq W., 2013. Towards a three-dimensional cost-effective registration of the archeological heritage. Journal of Archeological Science, 40, pp. 1108-1121.

Internet: http://agisoft.com.pl/wp-content/uploads/2016/06/photoscan-pro_1_2_en.pdf

Internet: http://culturalheritageimaging.org/Technologies/Photogrammetry/index.html

Internet: https://en.wikipedia.org/wiki/Structure_from_motion

Maiti A., Chakravarty D.,2016. Performance analysis of different Surface reconstruction algorithms for 3D reconstruction of outdoor objects from their digital images. Springerplus, 5(1): 932.

Preuss R., 2014. Automatyzacja procesu przetwarzania danych obrazowych. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, vol. 26, s. 119-127.

Tokarczyk R., Kohut P., Mikrut S., Kolecki J., 2012. Przegląd metod teksturowania modeli 3D obiektów uzyskanych na drodze laserowego skanowania naziemnego i technik fotogrametrycznych. Archiwum fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, vol. 24, s. 367-381.

Verhoeven, G., Taelman, D., Vermeulen, F., 2012.Computer vision based orthophoto mapping of complex archaeological sites: the ancient quarry of Pitaranha. Archaeometry, 54.6, pp. 1114-1129.

Wójcik T., 2002. ABC Fotografowania. ISBN 83-914269-0-4, Warszawa.

Transport drogowy obecnie- szanse, trudności, rozwój

Anna Pezała [(1)]

[1] Akademia Morska w Gdyni, Wydział Nawigacyjny
Anna Pezała: anna.pezała@gmail.com

Streszczenie
Celem pracy jest wskazanie obecnego stanu transportu drogowego w porównaniu do pozostałych gałęzi transportu. Widząc wysokie zainteresowanie transportem drogowym zbadane zostały obecnie stawiane transportowi drogowemu wymagania, szanse oraz powstające trudności. Podjęta została próba jak najbardziej kompleksowego przedstawienia problematyki rozwoju transportu drogowego w odniesieniu do obowiązujących oraz planowanych regulacji prawnych w Polsce oraz Europie, możliwości technologicznych oraz planowanych inwestycji. Na podstawie badania dostępnych raportów, publikacji oraz planów poszczególnych podmiotów mających wpływ na transport drogowy stwierdzono, że silna pozycja transportu drogowego w Polsce oraz Europie ma szansę rozwoju w oparciu o stawiane mu wymagania głównie pod względem rozwoju technologicznego, co umożliwia zarówno optymalizację eksploatacji pojazdów samochodowych a także zmniejszenia negatywnego wpływu na środowisko naturalne.

Słowa kluczowe: transport drogowy, innowacje, rozwój, platooning, pojazdy autonomiczne

Road transportation nowadays- opportunities, difficulties, progress

Summary
The aim of this paper is to point current condition of road transportation comparing to different transport modes. Due to great interest in road transportation, current requirements, chances and difficulties was investigated. There was made an attempt to present the most comprehensive issues of road transportation development in reference to current law regulations in Poland and Europe, technological possibilities and planned investments. Basing on avaible reports, publications and plans of particulat entities that has influence on road transportation it was found that strong position of road transportation in Poland and Europe has a chance for development accordingly to given requirements.

Keywords: road transportation, innowations, progres, platooning, autonomous vehicless

1. Wstęp

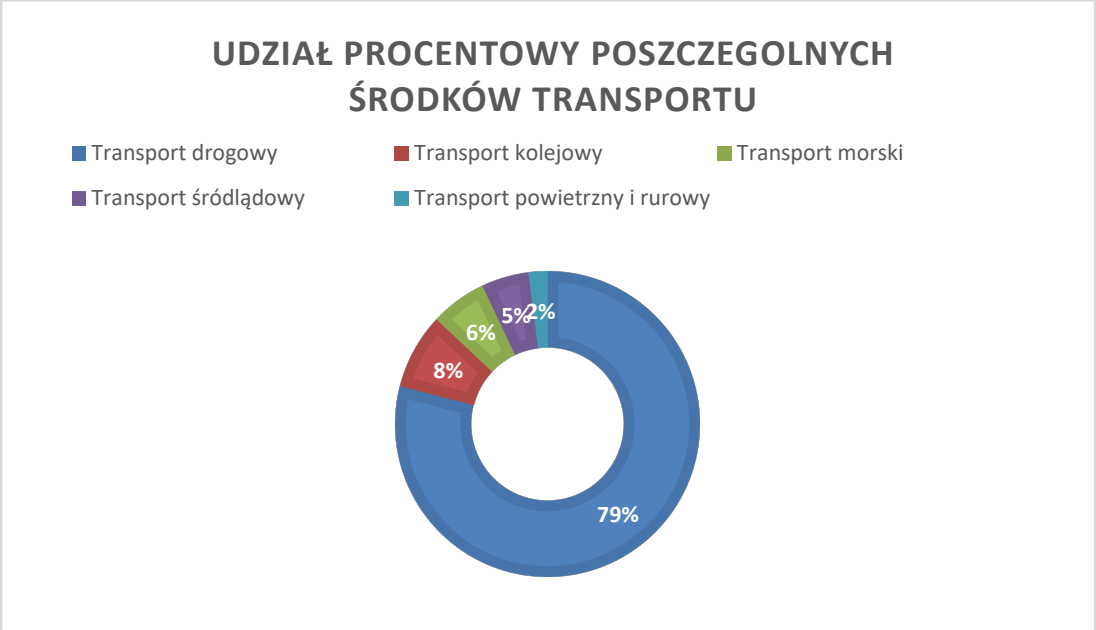
Podejmując próbę kompleksowej analizy stanu transportu drogowego, stawianych mu wymagań oraz możliwości należy zwrócić uwagę, że ze względu na bardzo dynamiczny rozwój tej gałęzi transportu konieczne jest zebranie informacji z wielu różnych źródeł, możliwie jak najbardziej aktualnych. Aby osiągnąć postawiony tej pracy cel badając dostępną literaturę, raporty oraz informacje publikowane przez przedsiębiorstwa transportowe czy jednostki prawodawcze została przeprowadzona analiza wybranych zagadnień wraz z uwzględnieniem ich wpływu na przyszłość transportu drogowego. Na początku, w celu usystematyzowania informacji należałoby zdefiniować pojęcie transportu. Może być ono używane w aspekcie czynnościowym (czynność przemieszczania), podmiotowym (działalność wydzielona z innych czynności) oraz rzeczowym (wyposażenie materialne służące procesom przemieszczania) (Wierzejski, Kędzior-Laskowska, 2014). Niemniej jednak, wyróżnia się definicje transportu, które zawierają w sobie wszystkie trzy aspekty, tak jak na przykład według A. Piszkuba transport to „działalność polegająca na celowym

przemieszczaniu osób i ładunków" (Piskozub, 1975).Jest do definicja ogólna, zgodna z ogólnie rozumianym pojęciem transportu, która jest punktem wspólnym wszystkich metod charakterystyki transportu. Warto zaznaczyć, że jako proces złożony, który można rozpatrywać w wielu różnych aspektach, transport możne być charakteryzowany na podstawie różnych podziałów, głównie ze względu na sposób organizacji, przedmiot przewozu, funkcjonalność, organizację przewozów, zasięg geograficzny, odległość przewozów i wiele innych. W nawiązaniu do powyższej definicji transportu dokonana została analiza stanu obecnego transportu drogowego.

2. Stan obecny oraz przyszłość transportu drogowego

- Znaczenie transportu drogowego

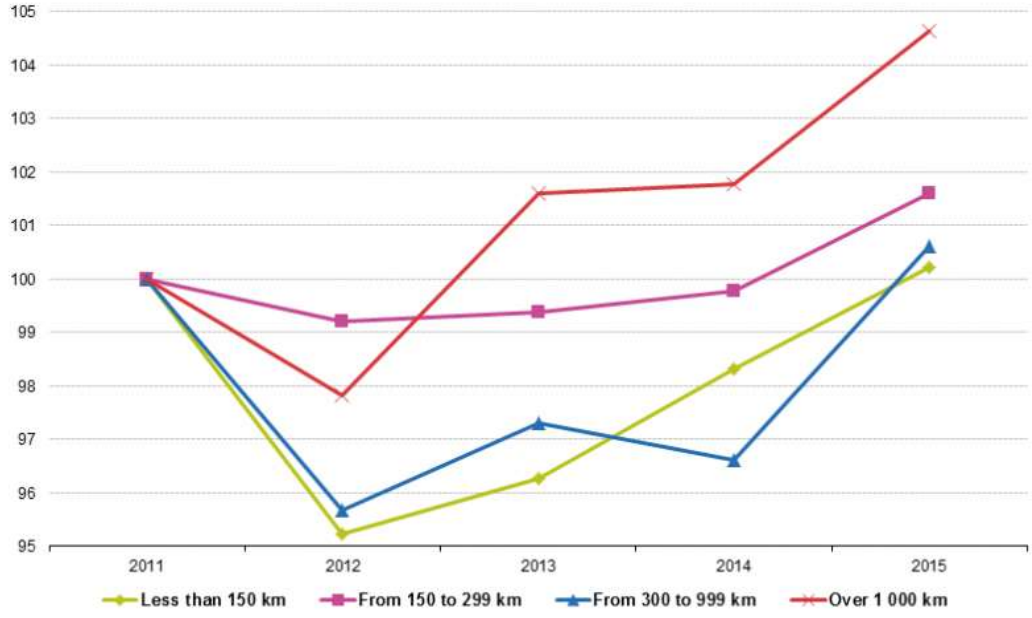
Obserwując rynek transportowy można zauważyć silny nacisk kładziony na rozwój transportu intermodalnego, który ma na celu odciążenie infrastruktury drogowej, zmniejszenie negatywnego wpływu pojazdów spalinowych na środowisko czy kosztów transportowych. Niemniej, analizując statystyki można zauważyć wciąż duże zainteresowanie transportem drogowym. Świadczy o tym analiza przeprowadzona przez niemiecką organizację DestatisStatistischesBundesamt, według której udział transportu drogowego wynosi aż 79% w porównaniu do innych środków transportu, co zostało przedstawione na rysunku poniżej(Rys.1) (Destatis 2017).



Rys. 1. Transport ładunków- udział procentowy poszczególnych środków transportu (opracowane na podstawie StatistischesBundesamt (Destatis 2017)

Na polskim rynku tendencje są podobne. W roku 2016 w porównaniu do roku 2015 wszystkimi rodzajami transportu przewieziono ponad 30 tysięcy ton więcej, z czego za pomocą transportu samochodowego przetransportowano około 41 tysięcy ton więcej niż

w roku poprzednim. W przypadku transportu morskiego, śródlądowego, rurowego czy kolejowego odnotowano spadki (Główny Urząd Statystyczny, 2017).Nawiązując do danych GUS, nie ulega wątpliwości, że w Polsce transport drogowy ma bardzo silną pozycję na rynku transportowym. Co warte jest zaznaczenia, według statystyk Eurostat opublikowanych w październiku 2016 roku, zainteresowanie transportem drogowym nie zmniejsza się, a odnotowywane są wzrosty zarówno w długości pokonywanych tras jak i wadze przewożonych ładunków na terenie całej Europy. Na wykresie przedstawiającym porównanie zmian w latach 2011-2015 w ilości tonokilometrów w danym przedziale kilometrowym (Rys. 2.).



Note: EU-28 provisional data for reference year 2015; Malta excluded (see chapter "data sources and availability")

Rys. 2. EU-28 całkowita ilość transportowanych ładunków w tonokilometrach względem roku 2012 w latach 2011-2015 w poszczególnych klasach kilometrażowych (Eurostat, 2016)

W 2012 roku można zauważyć widoczny spadek w każdej grupie, co spowodowane było obecnym w Europie kryzysem gospodarczym, jednak już rok później odnotowano widoczny wzrost, szczególnie dla tras dłuższych niż 1000 kilometrów. W następnych latach tendencja utrzymała się. Dodatkowo można zauważyć, że szczególną popularnością cieszą się trasy dłuższe niż 1000 kilometrów. Dużą dynamikę można zauważyć w przypadku transportów krótkodystansowych (poniżej 150 kilometrów.) W porównaniu do roku 2012 odnotowano w tej grupie podobny wzrost jak w przypadku tras liczących ponad 1000 kilometrów. Utrzymujące się od 2012 roku tendencje wzrostowe w każdej grupie kilometrażowej świadczą o ciągłym, zwiększającym się zainteresowaniu transportem drogowym. Według Eurostat, w porównaniu do roku 2014, biorąc pod uwagę wagę

transportowanych ładunków, w 2015 roku odnotowany został wzrost w wysokości 1,4%, co jednak nie pozwoliło na osiągnięcie poziomu sprzed 2012 roku. Powyższe dane są kolejnym potwierdzeniem niesłabnącego zainteresowania transportem drogowym w Europie. Warto zaznaczyć, że według raportu opublikowanego w październiku 2016 roku Polska świadczy blisko 15% usług transportowych kabotażowych i cross-trade w porównaniu do reszty krajów Europejskich i jest jednym z najsilniejszych państw świadczących usługi transportowe, jako podwykonawcy w transporcie międzynarodowym, co niewątpliwie może być spowodowane zapewnieniem przez Polskie przedsiębiorstwa wymagań stawianych przez klienta, czyli niskiej ceny oraz wysokiej jakości usług (Eurostat, 2016). Utrzymujące się duże znaczenie transportu samochodowego skutkuje także wzrostem ilości pojazdów. Według ACEA (European Automobile ManufacturersAssociation) w roku 2005 na terenie Unii Europejskiej używano 34 milionów a w 2015 38 milionów pojazdów przeznaczonych do transportu ładunków (ACEA Statistics, 2017). Wzrost ilości pojazdów samochodowych skutkuje zwiększonym oddziaływaniem transportu drogowego na środowisko, człowieka czy infrastrukturę, co wymusza konieczność starannej analizy rynku i potrzeb, dzięki czemu możliwe jest coraz bardziej efektywne systemy zarządzania. Dzięki temu możliwe jest między innymi ograniczenie zakupu zbędnych pojazdów oraz maksymalne wykorzystanie posiadanego taboru wraz ze zminimalizowaniem kosztów oraz negatywnego wpływu transportu drogowego na otoczenie.

Wyżej przedstawione informacje niewątpliwie świadczą o dużym znaczeniu transportu drogowego w przewozie ładunków na terenie Europy, Unii Europejskiej jak i Polski a zwiększające się zainteresowanie transportem drogowym pomimo silnego rozwoju transportu intermodalnego czy śródlądowego na terenie Europy spowodowanie jest popytem na usługi transportowe.

- Obecne i planowane regulacje prawne wymuszające kluczowe zmiany w organizacji oraz funkcjonowaniu transportu drogowego

Poza obecnie obowiązującymi regulacjami prawnymi, w ostatnim czasie poruszenie wzbudził projekt Komisji Europejskiej „Europe on Move", który ma na celu cytując za komisarz do spraw transportu, Violetą Bulc będzie „wyznaczeniem podstaw do ujednoliconych, cyfrowych rozwiązań w transporcie drogowym, sprawiedliwych warunków socjalnych oraz niepodważalnych zasad rynkowych".(EuropeanCommission 2017) Jedną z najbardziej znaczących zmian proponowanych zmian ma być traktowanie kierowcy, jako pracownika delegowanego, co oznacza obowiązek wynagradzania pracownika zgodnie z minimalną płacą minimalną obowiązującą w danym kraju. Podobna sytuacja ma już miejsce

na przykład w Niemczech czy Francji, w tym wypadku jednak zasada ta miałaby objąć całą Unię Europejską. Komisja Europejska zapowiedziała już, że obowiązek taki będzie ciążył na pracodawcach delegujących kierowców do pracyna więcej niz 3 dni na terenie danego kraju, co spotkało się ze sprzeciwem reprezentantów krajów Europy Wschodniej, w których funkcjonujące przedsiębiorstwa transportowe odczułyby negatywne skutki takiego rozporządzenia. Planowane zmiany budzą niepokój wśród polskich przewoźników także ze względu na fakt, że położenie geograficzne w wysokim stopniu ogranicza możliwość pokonania tras zagranicznych w czasie krótszym niż 3 dni, co skutkowałoby zwiększeniem kosztów transportu. Dodatkowo w celu umożliwienia częstszych powrotów do domu, czas pracy kierowców zostanie zmodyfikowany. Będą oni mogli wykorzystać dwa razy w ciągu 4 tygodni skrócony odpoczynek tygodniowy i odebrać regularny odpoczynek w ciągu 3 tygodni. Na kierowcy będzie ciążyć obowiązek powrotu do domu, co 3 tygodnie, co może okazać się korzystne, dla kierowców, którzy chcieliby częściej wracać do domu, jednak może przyczynić się to do zwiększenia ilości pustych przejazdów spowodowanych koniecznością powrotu do kraju. Zmienione zostaną również ograniczenia tzw. kabotaży. Obecnie kierowca w ciągu 7 dni może wykonać 3 takie przejazdy, zapis ma zostać zmieniony i możliwe będzie wykonanie dowolnej ilości w przeciągu 5 dni. Zniknie obowiązek przechowywaniu niezbędnych dokumentów w formie inna niż elektroniczna, powoływania przedstawiciela na terenie danego kraju a wejdzie obowiązek zaznaczania na tachografie przekraczania granicy. (Cargo News, 2017). Prace nad projektem „Europe on move", czyli tak zwanym Pakietem Mobilności budzi wiele kontrowersji zarówno wśród kierowców jak i przedsiębiorstw transportowych. Projekt ma na celu zwiększenie komfortu pracy kierowców oraz wyrównanie warunków socjalnych, jednak ze względu na zapis dotyczący płac może spowodować znaczne problemy finansowe. Jak zaznaczono wyżej, Polska, jako jeden z największych usługodawców w transporcie drogowym w całej Europie na skutek tego zapisu może utracić swoją pozycję do odbije się w sposób bezpośredni na gospodarce Polski. Projekt ten jest w chwili obecnej w fazie projektów, jednak może w znaczny sposób zrewolucjonizować transport drogowy w Europie, jednak biorąc pod uwagę reakcje Polskich przewoźników, niekoniecznie w dobrym kierunku. Po prezentacji ostatecznej wersji projektu oraz po jego wdrożeniu ostatecznie okaże się, jaki wpływ miał on na rozwój transportu drogowego oraz przewoźników i kierowców.

- Problemy w transporcie drogowym- praca kierowcy

Przyglądając się nowym projektom regulacji prawnych dotyczących zatrudnienia kierowców nie sposób nie poruszyć tematu związanego z problemami w zatrudnieniu

kierowców, co może być spowodowane zarówno zarobkami, ale także warunkami socjalnymi. Według Euro Logistics 72% kierowców w 2016 roku było w stanie znaleźć pracę w zawodzie w ciągu tygodnia a 60% przedsiębiorstw ma okresowe problemy ze znalezieniem pełnej obsady, gdzie aż 20% borykało się z tym problem stale (Kostecka 2017). Powyższe dane to niewątpliwie dowód na to, że popyt na transport drogowy ciągle rośnie, a niestety zarówno warunki pracy jak i zarobki często nie odpowiadają potencjalnym pracownikom. W latach 20114-2017 jak twierdzi Euro Logistics, średni dochód brutto zawodowego kierowcy na trasach międzynarodowych wynosił 6750 zł, gdzie w porównaniu średni dochód brutto operatora maszyn górniczych wynosił 5200 zł a maszynisty kolejowego 4000 zł (Kostecka 2017). W porównaniu do obecnie obowiązującej w Polsce minimalnego miesięcznego wynagrodzenia kwota miesięcznego wynagrodzenia kierowcy w trasach międzynarodowych jest około czterech razy wyższa, jednak w trasach krajowych wynagrodzenie bardzo często okazuje się niższe. Co więcej, sposoby obliczania wynagrodzenia nie są do końca uregulowane prawnie, co dodatkowo może zniechęcać do podjęcia pracy kierowcy. Na podstawie rozmów z kierowcami ustalono kilka najczęściej występujących sposobów wyznaczania wynagrodzenia:

- rozliczanie się na podstawie ustalonej stawki za fracht
- rozliczanie się na podstawie ustalonej podstawy pensji oraz diety czy ewentualnych ryczałtów
- rozliczanie się na podstawie ustalonego procentu od obrotu
- rozliczanie się na podstawie przepracowanych godzin

Przyglądając się sposobom wynagradzania kierowców nasuwa się myśl o konieczności prawnego ich uregulowania, jak zakłada do projekt opisany wcześniej „Europe on Move". Problem związany z wynagrodzeniem kierowców wiąże się z wieloma czynnikami, w tym między innymi rekompensatą za niekorzystne warunki pracy (noclegi w kabinie, często brak możliwości zjedzenia ciepłego posiłku, utrudniony dostęp do toalet czy coraz częstsze napady na samochody ciężarowe w Europie zachodniej), stosowaniem przez niektórych przedsiębiorców cen dumpingowych, wahaniami stawek frachtowych, zatrudnianiem kierowców ze wschodu Europy czy stanu gospodarki krajów czy regionów w granicach, których realizowane są usługi transportowe.

Podsumowując, problem z zatrudnieniem odpowiedniej liczby kierowców i sposobami ich wynagradzania są ze sobą powiązane i konieczne jest ich rozwiązanie w celu możliwości zapewnienia niezbędnej ilości kierowców w Europie.

- Rozwój floty samochodowej- pojazdy automatyczne

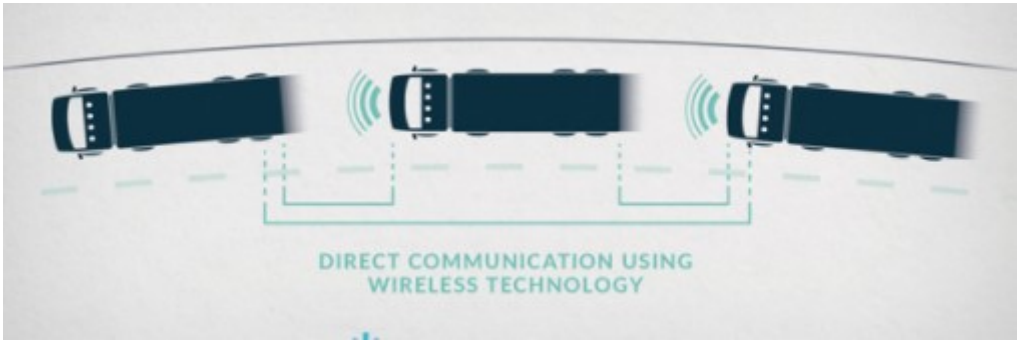
Problemy w transporcie drogowym takie jak wciąż wysoka liczba wypadków, ograniczony czas pracy kierowców, problemy związane z naruszaniem przepisów drogowych czy zużycia paliwa i emisji CO2 oraz hałasu determinują pracę nad pojazdami autonomicznymi i automatycznymi, które minimalizują lub mają wyeliminować konieczność ingerencji człowieka w jego obsługę. Według SAE (Society of Automotive Engineers) wyróżnia się pięć poziomów automatyzacji pojazdów samochodowych a każdy z tych poziomów został przedstawiony w tabeli poniżej (Tabela 1).

Tabela 1: Poziomy automatyzacji pojazdów według SAE, źródło M. Zaremba, K. Żmich, Przyszłość na kołach- automatyczne pojazdy w transporcie ciężarowym, Journal of TransLogistics, Volument 3 (13), numer 1, 2017, Politechnika Wrocławska.

Poziom SAE	Nazwa	Odpowiedzialność za sterowanie pojazdem, przyspieszanie/ hamowanie	Monitorowanie otoczenia	Reagowanie na zdarzenia losowe	Działanie systemu
Człowiek odpowiedzialny za monitorowanie otoczenia					
0	Brak automatyzacji	Kierowca	Kierowca	Kierowca	Nie dotyczy
1	Pomoc kierowcy	Kierowca i system	Kierowca	Kierowca	Niektóre tryby jazdy
2	Częściowa automatyzacja	System	Kierowca	Kierowca	Niektóre tryby jazdy
Komputer odpowiedzialny za monitorowanie otoczenia					
3	Warunkowa automatyzacja	System	System	Kierowca	Niektóre tryby jazdy
4	Wysoka automatyzacja	System	System	System	Niektóre tryby jazdy
5	Pełna automatyzacja	System	System	System	Wszystkie tryby jazdy

Jednym z wielu przedsiębiorstw pracujących nad wprowadzeniem na drogi pojazdów autonomicznych jest Toyota, której celem jest przede wszystkim zmniejszenie liczby śmiertelnych ofiar, która obecnie wynosi 1,3 miliona rocznie. Taki pojazd ma być partnerem człowieka i aktywnie wspomagać jego bezpieczeństwo. (Toyota Motor Poland Co LTD, 2017) Nad pojazdami autonomicznymi pracują również Volvo Group, które obecnie testuje kilka rozwiązań, w tym między innymi w pełni autonomiczne samochody ciężarowe Volvo FMX w kopalni w Boliden w Szwecji. Według przedsiębiorstwa pojazdy te nie wymagają kontroli kierowcy a po krótkim czasie oczekiwania są gotowe do pracy w ograniczonym terenie, jednak zwiększają one produktywność oraz bezpieczeństwo. Co więcej, przy współpracy z przedsiębiorstwem Renova, testowane są też samochody przeznaczone do zbierania śmieci wymagające obsługi tylko przez jedną osobę. Samochód porusza się za osobą zbierającą pojemniki z odpadami, co zwiększa nie tylko produktywność, ale także

bezpieczeństwo ze względu na fakt, że pojazd porusza się w bezpośrednim sąsiedztwie budynków mieszkalnych. Prowadzone są również testy autonomicznych pojazdów pomagających w zbiorach trzciny cukrowej. Zasada działania pojazdu jest podobna do samochodów testowanych w Szwecji, gdzie samochód porusza się za rolnikiem. Rozwiązanie to pozwala nie tylko na zmniejszenie ilości osób koniecznych do zbioru trzciny, ale przede wszystkim praktycznie uniemożliwia niszczenie plantacji, co wcześniej miało miejsce. Kolejnym, niemniej ważnym projektem jest tzw. platooning, czyli system autonomicznych samochodów ciężarowych, które mogą łączyć się ze sobą i tworząc konwój, reagować praktycznie jak jeden pojazd. Rozwiązanie takie pozwala na kontrolowanie prędkości czy odstępów między autami. Pojazdy na bieżąco wymieniają ze sobą informacje, co pozwala na kontrolowanie niezbędnych parametrów. Według badań Volvo, taki system pozwala zaoszczędzić nawet do 10% paliwa a rozwiązanie to może stać się w ciągu dekady nawet o 15% bardziej popularne. (Macduff, 2017).Zasada działania platooninguprzedstawiona jest na rysunku poniżej (Rys. 3).



Rys. 3 Platooning- zasada działania, źródło: http://www.traffictechnologytoday.com/news.php?NewsID=81373

Według ACEA (European Automobile ManufacturersAssosiation) platooning pozwala na zmniejszenie emisji CO2 w pojeździe prowadzącym o 8% a w pojazdach kolejnych o 16%. Co więcej, zwiększone jest również bezpieczeństwo, gdzie pojazdy podążające za pierwszym z konwoju potrzebują jedynie jedną piątą czasu, którego potrzebuje człowiek na reakcję(ACEA, 2017). Jak podaje Traffic Technology Today, zmniejszenie czasu reakcji autonomicznego pojazdu w porównaniu do człowiekanie tylko zwiększa bezpieczeństwo, ale także pozwala na zmniejszenie bezpiecznego odstępu między samochodami z 50 metrów, do 15, co umożliwia efektywniejszą eksploatację infrastruktury, ale także ułatwia innym użytkownikom drogi wyprzedzenie takiego konwoju i może wyeliminować potrzebę wjazdu pomiędzy samochody ciężarowe podczas manewru wyprzedzania, co bardzo często ma miejsce obecnie (Traffic Technology Today 2016). Do rozwoju tego rozwiązania konieczny jest nie tylko rozwój technologiczny samochodów i wykonanie niezbędnych testów, ale także

dostosowanie infrastruktury, regulacji prawnych, weryfikacja platooningu w prawdziwym ruchu drogowym, wzmocnienie współpracy pomiędzy podmiotami pracującymi nad tym projektem czy zdobycie pomocy władz w prowadzeniu niezbędnych regulacji prawnych. Według ACEA producenci będą kontynuować rozwój platooningu w zakresie współpracy pojazdów różnych marek, dostarczenia niezbędnej technicznej ekspertyzy czy bezpośrednich testów w rzeczywistym ruchu drogowym na europejskich autostradach(ACEA 2017).

Autonomiczne pojazdy oraz rozwiązania pokrewne to niewątpliwie następny krok w rozwoju transportu drogowego, które mogą zostać wprowadzone do codziennego życia szybciej niż spodziewa się tego część społeczeństwa. Wymagają one jednak nie tylko większej ilości testów, uregulowania prawnego, ale także rozwiązania problemów moralnych takich jak odpowiedzialność w przypadku wypadku.

3. Wnioski

Stawiane obecnie transportowi drogowemu wymagania niewątpliwie determinują jego rozwój. Prowadzone obecnie badania oraz inwestycje są dowodem na realizowanie przez producentów pojazdów samochodowych jak i władz prawodawczych przyszłościowej wizji transportu drogowego, w tym pojazdów autonomicznych. Konieczność odciążenia środowiska naturalnego jest kolejnym determinantem rozwoju transportu drogowego zwłaszcza pod względem technologicznym, przez co autonomiczne pojazdy mogą stać się nieodłącznym elementem codziennego życia być może szybciej, niż przypuszcza społeczeństwo.

4. Literatura

ACEA, 2017, Size & Distribution of the Vehicle Fleet, źródło:
http://www.acear.be/statistics/article/size-distribution-of-the-vehicle-fleet

ACEA, 2017, What is truck platooning?, źródło:
http://www.acea.be/uploads/publications/Platooning_roadmap.pdf

Cargo News, 2017, Pakiet mobilności – wszystko, co powinieneś wiedzieć [ZBIÓR INFORMACJI], źródło: https://www.cargonews.pl/pakiet-mobilnosci-zbior-informacji/

Destatis, Goods Transport, 2017, źródło:
https://www.destatis.de/EN/FactsFigures/EconomicSectors/TransportTraffic/GoodsTransport/GoodsTransport.html dostęp 06/09/2017

Eurostat, 2016, Road freight transport statisics, źródło: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Freight_transport_statistics

Główny Urząd Statystyczny, 2017, Przewozy ładunków i pasażerów w 2016r.

Kostecka A., 2017, Kierowca na wagę złota, Euro Logistics, Numer 6: Grudzień 2016-Styczeń 2017

Macduff A., 2017, The Volvo Trucks' view on automation,

źródło: http://www.volvotrucks.com/en-en/news/volvo-trucks-magazine/2017/jul/view-on-automation.html

Oficjalna strona Komisji Europejskiej, Europe on the Move: Commission takes action for clean, competitive and connected mobility, 2017, źródło:

https://ec.europa.eu/transport/modes/road/news/2017-05-31-europe-on-the-move_pl

Piskozub A., 1975, Ekonomika transportu. Podstawy metodologiczne, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności

Toyota Motor Poland Co LTD, 2017, Globalna wizja Toyoty – autonomiczne samochody kluczem do całkowitego wyeliminowania wypadków; Komunikat prasowy

Traffic Technology Today, 2017, Continental preparing for production of truck platooningsystems by 2020; źródło:

http://www.traffictechnologytoday.com/news.php?NewsID=81373

Wierzejski T., Kędzior-Laskowska M., 2014, Transport i Spedycja, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn

Zaremba M., Żmich K., 2017 Przyszłość na kołach- automatyczne pojazdy w transporcie ciężarowym, Journal of TransLogistics, Volument 3 (13), numer 1, 2017, Politechnika Wrocławska

Wykorzystanie metod taksonomii do oceny wzbogacalności poszczególnych typów litologicznych polskich rud miedzi

Paulina Pięta [(1)], Tomasz Niedoba [(1)], Agnieszka Surowiak [(1)]

[1] Katedra Inżynierii Środowiska i Przeróbki Surowców, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, AGH – Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
Paulina Pięta: ppieta@agh.edu.pl

Streszczenie
Flotacja jest metodą separacji stosowaną w celu rozdziału ziaren, charakteryzujących się różnicami we właściwościach powierzchniowymi. Hydrofobowe ciała stałe mają możliwość samoistnej separacji poprzez stworzenie trwałego agregatu z pęcherzykiem powietrza, który jest wynoszony do piany flotacyjnej (koncentratu). Minerały miedzionośne zaliczane są do grupy substancji hydrofilowych, co wiąże się z koniecznością zastosowania odpowiednich odczynników chemicznych, które w wyniku różnych oddziaływań nadają ich powierzchnią własności hydrofobowe. Dzięki czemu istnieje możliwość rozdzielenia składnika użytecznego od nieużytecznej skały płonnej. Ocena efektywności procesu wzbogacania rud miedzi opierała się o wyznaczenie zawartości oraz uzysków miedzi w produktach pianowych i odpadowych. W pracy zbadano wpływ wybranych typów odczynników zbierających i ich dawek na efekty flotacji polskiej rudy miedzi z uwzględnieniem występujących trzech typów litologicznych (piaskowcowego, węglanowego, łupkowego). Wybrane metody taksonomii (odległość euklidesowa, wskaźnik rozwoju, wskaźnik liczony według średniej) wykazały pewne zróżnicowanie w optymalnych warunkach procesu dla wszystkich typów litologicznych surowca.

Słowa kluczowe: flotacja, odczynniki zbierające, polskie rudy miedzi, taksonomia

Application of taxonomy methods to assess the enrichment of particular lithological types of Polish copper ores

Summary
Flotation is a method of enrichment used to distribute particles, which differ in their surface properties. Hydrophobic solids have the ability to floatby itself by creating a permanent aggregate with anair bubble. Copperminerals are counted as the hydrophilic materials, which require the use of appropriate chemical reagents, which give them a hydrophobic surfaceas a result of different interaction. Thanks to that, it is possible to separate the useful component from the unprofitable gangue. The assessment of the effectiveness of the copper ore enrichment process was based on the determination of the following indicators: content and recovery of copper in tailings and concentrates. The study examined the influence of selected types of collecting reagents and their dosages on the effects of Polish copper ore enrichment considering the three types of lithological types (sandstone, carbonate, shale). Selected taxonomy methods (Euclidean distance, development index, average indicator) showed significant variation in optimal process conditions for all lithological types.

Keywords: flotation, collectors, Polish copper ore, taxonomy methods

1. Wstęp

Wzbogacanie flotacyjne opiera się o wykorzystanie różnic we właściwościach powierzchniowych użytecznych minerałów i skały płonnej. Podczas procesu separacji zachodzi zjawisko tworzenia się agregatu ziarno-pęcherzyk powietrza, który zostaje oddzielony od reszty nadawy. Niektóre minerały (węgiel, siarka, grafit) mają zdolność do samoistnego tworzenia się takich kompleksów, ponieważ charakteryzują się naturalną hydrofobowością. Jednak duża część kruszców, w tym rudy miedzi, jest hydrofilowa, co przekłada się na konieczność zastosowania odpowiednich związków chemicznych,

umożliwiających uzyskanie efektu wynoszenia ziaren użytecznych (Sablik & Wierzchowski 1992; Rao & Forssberg 1997).

W ogólnej ocenie proces wzbogacania flotacyjnego uzależniony jest od bardzo wielu czynników, które można podzielić na 3 grupy: właściwości nadawy, maszyna flotacyjna, parametry procesu. Oszacowano, że efekt końcowy wzbogacania flotacyjnego może być uzależniony od ponad 100 różnych czynników, pozostających w interakcji między sobą. Dobór odpowiednich warunków rozdziału jest trudny, zaś samo zjawisko należy rozpatrywać w aspekcie wielowymiarowym (Drzymała 2007).

Polskie rudy miedzi, występujące w Legnicko-Głogowski Okręg Miedziowy, charakteryzują się zróżnicowaniem jakościowym i ilościowym. Główny problem, pojawiający się podczas procesu wzbogacania, jest związany z występowaniem trzech odmian litologicznych w urobku kierowanym do zakładów wzbogacania rud. Wyróżnia się następujące typy badanego surowca: piaskowcowy, węglanowy i łupkowy, które są odmienne pod względem właściwości fizycznych, chemicznych, mineralizacji oraz flotowalności.Dodatkowe problemy przysparza obecność substancji organicznej w nadawie.Odznacza się ona naturalną hydrofobowością, pogarszając tym samym jakość koncentratów uzyskiwanych na drodze flotacji. Nawet pomimo wprowadzonych odczynników zbierających i pianotwórczych konieczne jest zastosowanie kilkuetapowego procesu wzbogacania flotacyjnego dla uzyskania żądanych rezultatów (Kijewski & Jarosz 2007; Foszcz 2013; Duchnowska, et al. 2015).

Rudy miedzi wydobywane są w trzech kopalniach KGHM Polska Miedz S.A, a tym samym wzbogacane są w Zakładach Wzbogacania Rud: Lubin, Polkowice, Rudna. W układzie technologicznym zastosowano procesy flotacji wstępnej oraz głównej z rozdziałem na rudę piaskowcową oraz węglanowo-łupkową z racji na ich odmienną podatność na wzbogacanie. Koncentraty uzyskane w etapie flotacji wstępnej są w dalszej kolejności kierowane do procesu flotacji czyszczącej. Do flotacji rud miedzi stosowana jest tradycyjnie mieszanina ksantogenianów w dawce 70 g/Mg rudy. Wytworzenie stabilnej piany flotacyjnej gwarantuje wprowadzenieodczynnika spieniającego, jakim jest ADTM z domieszką oleju sosnowego lub oktanolem (Foszcz 2013).

2. Materiały i metody

W pracy skupiono się na porównaniu efektów wzbogacania flotacyjnego poszczególnych typów litologicznych polskich rud miedzi pod kątem zastosowanych odczynników zbierających i ich dawek przy zmiennym uziarnieniu nadawy. Podczas testów laboratoryjnych korzystano z wodnego roztworu ksantogenianu sodowo-izobutylowego oraz

sodowo-etylowego w dawkach 100 oraz 150 g/Mg rudy. Natomiast pełna analiza i porównanie wyników przeprowadzono w oparciu o wybrane metody taksonomiczne.

Materiał badawczy został pobrany w ZWR Polkowice KGHM Polska Miedź S.A. Z próbki wydzielono poszczególne typy litologiczne rud miedzi, które w dalszej kolejności zostały rozdrobnione i rozdzielone na następujące klasy ziarnowe: 0-20, 20-40, 40-71, 71-100, 100-125, 125-200 [μm]. Testy flotacyjne wykonywano w maszynie flotacyjnej typu Denver przy utrzymaniu stałego zagęszczenia mętów flotacyjnych 200 g/dm^3, napowietrzeniu i stałych obrotach wirnika. Badania wykonywano przy utrzymaniu jednakowych procedur przygotowania materiału. Dla każdego eksperymentu wyznaczono następujące wskaźniki oceny procesu: zawartość miedzi w koncentracie (1), zawartość miedzi w odpadzie (2), uzysk miedzi w koncentracie (3), strata miedzi w odpadzie (4), które umożliwiłyprzeprowadzenie wielowymiarowej analizy porównawczej.

$$\beta_i = \frac{\sum_{i=1}^{n} \gamma_i \cdot \lambda_i}{\sum_{i=1}^{n} \gamma_i}, \quad (1)$$

$$\vartheta_i = \frac{\sum_{i=1}^{n} \gamma_i \cdot \lambda_i}{1 - \sum_{i=1}^{n} \gamma_i}, \quad (2)$$

$$\varepsilon_i = \frac{\beta_i}{\alpha} \sum_{i=1}^{n} \gamma_i, \quad (3)$$

$$\eta_i = \frac{\vartheta_i}{\alpha} \sum_{i=1}^{n} \gamma_i, \quad (4)$$

gdzie: α – zawartość miedzi w odpadzie,

$\gamma_i = \frac{m_i}{\sum_{i=1}^{n} m_i}$ – wychód procentowy i-tego produktu [%],

λ_i – zawartość miedzi w i-tym produkcie,

m_i – masa i-tego produktu.

Wybrane metody taksonomiczne znalazły szerokie zastosowanie w różnych dziedzinach nauk (Ginsberg &Whiten 1992; Laine et al. 1995; Whiteley& Davis 1994; Aldrich 2000), ponieważ ich dużym atutem jest uniwersalność, prostota obliczeń i łatwość w interpretacji wyników. Wskaźniki taksonomiczne umożliwiają zastąpienie opisu rozpatrywanego obiektu wielocechowego za pomocą jednej zmiennej syntetycznej. Złożona struktura procesu flotacji oraz różnorodność badanej rudy miedzi wymuszają poniekąd wybór wielowymiarowych metod analizy danych, których popularność w rozważaniach nad problemami inżynierii mineralnej cały czas wzrasta (Ginsberg & Whiten 1991; Aldrich 2002; Tumidajski 2010; Niedoba 2013; Nakhaei et al. 2015; Pięta 2015; Niedoba et al. 2016).

Podstawąprzeprowadzenia wielowymiarowej analizy porównawczej jest macierz wartości $\boldsymbol{X}$ (5) cech diagnostycznych. W dalszej kolejności jest ona poddawana procesowi standaryzacji i przekształcana na syntetyczny miernik $\boldsymbol{Z}$ (6). Wszystkie rozpatrywane sytuacje *n*są porządkowane w sposób liniowy z uwzględnieniem pozytywnego (stymulanty) i negatywnego (destymulanty) wpływu badanej cech na zjawisko. Następnie wprowadzona zostaje zmienna zastępcza, będąca odległością między obiektami, która to umożliwia ocenę zjawiska. Rozwój taksonomii poskutkował wprowadzeniem różnych wskaźników i metod normalizacji zmiennych [Łuniewicz & Tarczyński, 2006].

$$\boldsymbol{X} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} \cdots x_{1l} \\ x_{21} & x_{21} \cdots x_{2l} \\ \cdots & \cdots \cdots \cdots \\ \cdots & \cdots \cdots \cdots \\ x_{n1} & x_{n2} \cdots x_{nl} \end{bmatrix} \tag{5}$$

$$\boldsymbol{Z} = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} \cdots z_{1l} \\ z_{21} & z_{21} \cdots z_{2l} \\ \cdots & \cdots \cdots \cdots \\ \cdots & \cdots \cdots \cdots \\ z_{n1} & z_{n2} \cdots z_{nl} \end{bmatrix} \tag{6}$$

Do analizy i oceny efektów wzbogacania flotacyjnego poszczególnych typów litologicznych polskiej rud miedzi zastosowano3 taksonomiczne mierniki: odległość euklidesową d_j (7), wskaźnik względnego poziomu rozwoju w_j (8) oraz metodę unitaryzacji zerowej z_j (9). W pracach [Ginsberg &Whiten, 1991; Laine et al., 1995; Łuniewska & Tarczyński, 2006; Stanisz, 2007] można znaleźć dokładny opis prowadzenia analiz na podstawie wymienionych miar taksonomicznych.

$$d_j = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left(1 - \frac{z_{ji}}{z_{jmax}}\right)^2} \; dla \; i = 1, \dots, l; j = 1, \dots, n, \tag{7}$$

$$w_j = \frac{\sum_{j=1}^{k} u_{ij}}{\sum_{j=1}^{k} \max_i\{u_{ij}\}}, \tag{8}$$

$$z_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} H_{ij}, \tag{9}$$

gdzie: n – liczba badanych obiektów (testów flotacyjnych) j=1,…,n,

l – liczba zmiennych (wskaźniki oceny procesu) i=1,…, l,

z_{ij} – zunitaryzowana wartość wskaźnika x_j dla i-tego testu, którą zunitaryzowano według wzoru $z_i = \frac{x_i}{x_{max} - x_{min}}$,

S_j – odchylenie standardowe cechy o numerze j,

x_i – wartość i-tej cechy (wskaźnika oceny procesu),

$\bar{x}_j$ – wartość średnia cechy o numerze j,

x_{max}, x_{min} – wartości maksymalna i minimalna (wskaźnika oceny procesu),

$u_{ij} = x_{ij}{}^* + \left|\max_i\{x_{ij}{}^*\}\right|$,

$x_{ij}{}^* = \frac{x_{ij}-\overline{x_j}}{s_j}$,

$H_{ij} = \frac{x_{ij}-x_{imin}}{x_{imax}-x_{imin}}$ dla każdej stymulanty,

$H_{ij} = \frac{x_{imax}-x_{ij}}{x_{imax}-x_{imin}}$dla każdej destymulanty.

3. Wyniki i dyskusja

Wielowymiarowa analiza porównawcza została wykonana dla każdego z typów litologicznych polskich rud miedzi oddzielnie. Wstępne wyniki testów flotacyjnych wykazały, że optymalne uziarnienie nadawy kierowanej do flotacji pianowej dla badanych typów jest odmienne. W przypadku piaskowcowej rud miedzi najlepsze wyniki testów uzyskano dla uziarnienia 40-71 μm.Dla typu dolomitowego była to klasa 0-20 μm, natomiast uziarnienie nadawy 20-40 μm przyniosło najlepsze rezultaty podczas flotacji węglanowej rudy miedzi. W Tab. 1 zestawiono wyniki oceny wykonanej na podstawie d_j, dla której wyższa wartość wskaźnika jest równoznaczna z większą efektywnością procesu rozdziału ocenianą za pomocą czterech parametrów (β, υ, ε, η).

Tab. 1. Ocena procesu wzbogacania flotacyjnego poszczególnych typów litologicznych rudy miedzi pod kątem zmiennego uziarnienia.

Typ piaskowcowy		***Typ dolomitowy***		***Typ łupkowy***	
d_j	Klasa ziarnowa [μm]	d_j	Klasa ziarnowa [μm]	d_j	Klasa ziarnowa [μm]
1,329741	40-71	1,117906	0-20	1,18814	20-40
1,640433	100-125	1,251189	20-40	1,320757	40-71
1,661561	71-100	1,34983	40-71	1,382182	0-20
1,678242	20-40	1,46859	71-100	1,425729	71-100
1,679803	0-20	1,496598	125-200	1,450193	100-125
1,689951	125-200	1,508154	100-125	1,454706	125-200

Dalsza części analizy miała na celu zbadanie wpływu wybranych odczynników i ich dawek na efektywność procesu wzbogacania przy wskazanym uziarnieniu dla poszczególnych typów polskiej rudy miedzi. W przypadku doboru czasu trwania pojedynczego testu flotacyjnego nie otrzymano jednoznacznych wyników, stąd też w dalszej części opracowania przedstawiono i porównano wyniki flotacji frakcjonowanej (1, 15, 30 min).

Rezultaty końcowe procesu flotacji oceniane był na podstawie dwóch grup wskaźników, charakteryzujących pozytywne i negatywne rezultaty wzbogacania. W celu

uwzględnienia kierunku oddziaływania zmiennych w wielowymiarowej analizie porównawczej konieczne było zastąpienie wartości zawartości miedzi oraz uzysku tego składnika w odpadzie ich odwrotnością. W ten sposób uzyskano macierz wartości zmiennych, dla których można było przeprowadzić jednorodną ocenę końcową wyników. Nieodłącznym elementem wykonywania analiz wielowymiarowych jest normalizacja, którą przeprowadzono w oparciu o dwie metody: przekształcenie ilorazowe oraz standaryzację (Borys 1978; Kurkiewicz et al. 1991).

W celu weryfikacji otrzymanych wyników oceny efektywności procesu flotacji zastosowano trzy rodzaje wskaźników taksonomicznych, uwzględniającychodmienne podejście do analizowanego problemu.Biorąc pod uwagę ilość wybranych zmiennych zależnych użyte metryki zostały przedstawione za pomocą wzorów (10), (11) i (12):

— odległość euklidesowa d_j:

$$d_j = \sqrt{\left(1 - \frac{z_{\beta i}}{z_{\beta max}}\right)^2 + \left(1 - \frac{z_{\vartheta i}}{z_{\vartheta max}}\right)^2 + \left(1 - \frac{z_{\varepsilon i}}{z_{\vartheta max}}\right)^2 + \left(1 - \frac{z_{\eta i}}{z_{\eta max}}\right)^2} \tag{10}$$

— wskaźnik rozwoju w_j:

$$w_j = \frac{u_{\beta j} + u_{\vartheta j} + u_{\varepsilon j} + u_{\eta j}}{\max\limits_i\{u_{\beta j}\} + \max\limits_i\{u_{\vartheta j}\} + \max\limits_i\{u_{\varepsilon j}\} + \max\limits_i\{u_{\eta j}\}} \tag{11}$$

— metoda unitaryzacji zerowejz_j:

$$z_j = \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{x_{\beta j} - x_{\beta\, min}}{x_{\beta\, max} - x_{\beta\, min}} + \frac{x_{\varepsilon j} - x_{\varepsilon\, min}}{x_{\varepsilon\, max} - x_{\varepsilon\, min}} + \frac{x_{\vartheta max} - x_{\vartheta j}}{x_{\vartheta\, max} - x_{\vartheta\, min}} + \frac{x_{\eta\, max} - x_{\eta j}}{x_{\eta\, max} - x_{\eta\, min}}\right) \tag{12}$$

Odległość euklidesowa jest miernikiem wykorzystującym wzorzec w postaci wartości maksymalnej danej cechy. Wiąże się to z faktem, że większa wartość wskaźnika jest równoznaczna z gorszymi efektami procesu rozdziału. Odwrotna sytuacja występuje w przypadku pozostałych dwóch metod. Wskaźniki względnego poziomu rozwoju oraz metody unitaryzacji zerowej przyjmują wartości z przedziału 0-1. Im wynik jest bardziej zbliżony do 1, tym zjawisko przebiega lepiej pod względem kryterium ogólnego.

W Tab. 2 zestawiono wyniki ogólnej oceny flotacji rudy miedzi przy uwzględnieniu wybranych wskaźników taksonomicznych. Wyniki wielowymiarowej analizy porównawczej wskazały, że najlepsze rezultaty wzbogacania flotacyjnego dolomitowej rudy miedzi osiągnięto przy zastosowaniu ksantogenianuetylowego w dawce 150 g/Mg rudyw początkowej fazie procesu rozdziału, jednak przydłuższym czasie flotacji tego materiału optymalna okazała się dawka 100 g/Mg rudy. Analizując wyniki dotyczące łupkowej rudy miedzi w większości przypadków lepszym kolektorem okazał się ksantogenian

izobutylowego. W tym przypadku niższa dawka odczynnika zagwarantowała lepsze efekty wzbogacania.Podczas flotacji piaskowcowej rudy miedzi można jednoznacznie stwierdzić, że lepszą efektywność procesu flotacji osiągnięto przy zastosowaniu ksantogenianu etylowego w dawce 150 g/Mg rudy.

Tab. 2. Ocena procesu wzbogacania flotacyjnego poszczególnych typów litologicznych rudy miedzi pod kątem dawki i rodzaju zastosowanego odczynnika dla czasów separacji 1,15, 30 min

Parametry procesu			***Typ dolomitowy (0-20 μm)***			***Typ łupkowy (20-40 μm)***			***Typ piaskowcowy (40-71 μm)***		
Typ zbieracza	Dawka zbieracza [g/Mg]	Czas flotacji [mm]	d_j	z_j	w_j	d_j	z_j	w_j	d_j	z_j	w_j
H	100	1	0,030	0,455	0,951	0,037	0,503	0,892	0,907	0,703	0,619
H	150		**0,028**	0,509	**0,954**	0,078	**0,528**	0,772	**1,395**	0,369	**0,031**
X	100		0,430	**0,707**	0,224	**0,009**	0,478	**0,979**	0,850	0,710	0,750
X	150		0,376	0,441	0,177	0,308	0,500	0,000	0,942	**0,259**	0,684
H	100	15	**0,186**	0,318	**0,774**	0,506	**0,684**	0,306	1,111	**0,711**	0,547
H	150		0,315	0,447	0,575	0,458	0,534	0,275	**1,563**	0,388	**0,018**
X	100		0,544	**0,769**	0,210	**0,082**	0,315	**0,842**	1,335	0,664	0,290
X	150		0,351	0,578	0,560	0,454	0,475	0,259	0,933	0,278	0,756
H	100	30	**0,132**	0,322	**0,786**	0,674	**0,688**	0,343	1,414	**0,720**	0,438
H	150		0,604	0,557	0,320	0,717	0,650	0,176	**1,695**	0,405	**0,002**
X	100		0,626	**0,652**	0,195	**0,222**	0,384	**0,705**	1,585	0,625	0,183
X	150		0,391	0,580	0,482	0,279	0,287	0,646	0,837	0,291	0,759

* wyróżnione wartości potwierdzają największą efektywność procesu flotacji

** oznaczenia symboli: H-odczynnik zbierający z rodziny ksantogenianów etylowych, X-odczynnik zbierający z rodziny ksantogenianów izobutylowych

Na podstawie wyników wielowymiarowej analizy porównawczej prowadzonej różnymi metodami, można stwierdzić, że zarówno odległość euklidesowa oraz wskaźnik względnego poziomu rozwoju umożliwiają wyciągnięcie tożsamych wniosków. Pewne różnice zaobserwowano dlametody unitaryzacji zerowej. Tab. 3 przedstawia optymalne warunki procesu wzbogacania flotacyjnego dla poszczególnych typów litologicznych polskich rud miedzi.

Tab. 2. Optymalne parametry procesu wzbogacania polskiej rudy miedzi dla rozpatrywanych zmiennych

Typ rudy miedzi	Klasa ziarnowa	Typ odczynnika zbierającego	Dawka odczynnika zbierającego
dolomitowa	0-20 μm	ksantogenian etylowy	100 g/Mg rudy
łupkowa	20-40 μm	ksantogenian izobutylowy	100 g/Mg rudy
piaskowcowa	40-71 μm	ksantogenian etylowy	150 g/Mg rudy

4. Wnioski

Brak naturalnej hydrofobowości minerałów miedzionośnych wymusza stosowanie odpowiedniej gamy odczynników chemicznych, które zapewniają otrzymanie

wysokojakościowych koncentratów flotacyjnych i jednoczesne minimalizowanie strat składników użytecznych w odpadach. Niezaprzeczalnie można stwierdzić, że czynniki takie jak rodzaj i dawka odczynnika zbierającego są bardzo istotnymi cechami wpływającymi na efektywność flotacji rud miedzi, jednak nie jedynymi.

Wyniki testów flotacyjnychtrzech typów litologicznych polskiej rudy miedzi były analizowane pod kątem czterech zmiennych: β, υ, ε, η. Przeprowadzono kompletną ocenę procesu pod względem badanych wskaźników za pomocą następującychmiar taksonomicznych:d_j, w_j, z_j.

Na podstawie wyników wielowymiarowej analizy porównawczej można stwierdzić, że optymalne wielkości ziaren kierowanych do procesu wzbogacania poszczególnych typów litologicznych rud miedzi różnią się od siebie, co przedstawiono w Tab. 3. Testy wykazały, że zastosowanie ksantogenianu etylowego w dawce 150 g/Mg rudy daje lepsze rezultaty w przypadku piaskowcowej rudy miedzi, zaś typ łupkowy i dolomitowy wzbogacany jest efektywnej przy wprowadzeniu ksantogenianów izobutylowych w niżej dawce.

Wielowymiarowa analiza porównawcza jest użytecznym narzędziem do badania i oceny zjawiskcharakteryzowanych przez układy wieloczynnikowe. Wiąże się to zwystępowaniem problemu mnogości zmiennych, a co za tym idzie, również rozbudowanych macierzy danych eksperymentalnych i utrudnień obliczeniowych. W takich sytuacjach można przeprowadzić analizę w oparciu o metody taksonomii, których dużym atutem jest prostota obliczeń i brak podstawowych założeń stosowalności. Należy jednak wyraźnie stwierdzić, że wskaźniki taksonomiczne nie są w pełni ujednolicone, a jak pokazały wyniki przeprowadzonych doświadczeń, mogą doprowadzić do uzyskania różnych wniosków.

5. Literatura

Aldrich C., 2000.*Cluster analysis of mineral process data with autoassociative neural networks*. Chemical Engineering Communications, 1, 177: 121-137.

Aldrich C., 2002.*Exploratory analysis of metallurgical process data with neural networks and related methods*. Process Metallurgy 12. Elsevier Science B.V., Netherlands.

Borys T., 1978.*Metody normowania cech w statystycznych badaniach porównawczych*. Przegląd Statystyczny 3, 371-382.

Drzymała, J., 2007.*Mineral processing. Foundations of theory and practice of minerallurgy*. Oficyna Wydawnicza PWr, Wroclaw.

Duchnowska M., Kasińska-Pilut E., Bakalarz A., Konieczny K., Kowalczuk P., Łuszczkiewicz A., 2015.*Multivariate statistical analysis of upgrading copper ore in ZWR Polkowice*. CUPRUM, 75, 2: 97-108.

Foszcz D., 2013.*Results of determining the optimal results of multicomponent copper ores beneficiation*. Mineral Resources Management, Cracow.

Ginsberg D. W., Whiten W. J., 1991.*Cluster analysis for mineral processing applications*. Trans. Instn. Min. Metall., 100: 139-146.

Ginsberg D. W., Whiten W. J., 1992.*The application of clustering to the calibration of on-stream analysis equipment*. International Journal of Mineral Processing, 36: 63-79.

Kijewski P., Jarosz J., 2007. Monograph KGHM PM SA II.2.24 *Mineral properties*. KGHM CUPRUM Sp. z o.o. CBR, Wroclaw.

Kurkiewicz J., Pociecha J., Zając K., 1991.*Methods of multidimensional comparative analysis in demographic development research*. SGH ISiD, Monograph 336, Warsaw.

Laine S., Lappalainen H., Jämsä-Jounela S.-L., 1995.*One-line determination of ore type cluster analysis and neural networks*. Mineral Engineering, 6, 8: 637-648.

Łuniewska M., Tarczyński W., 2006.*Methods of multidimensional comparative analysis on the capital market*. PWN, Warsaw.

Niedoba T., 2013.*Multidimensional characteristics of random variables in description of grained materials and their separation processes*. Mineral Resources Management, Cracow.

Niedoba T., Pięta P., Surowiak A., Jamróz D.,2016. Multidimensional statistical and visualization methods in description of grained materials. *E3S Web of Conferences,*8: 1-10.

Nakhaei F. Irannajad M., Sam A., Jamalzadeh A., 2015.*Application of d-optimal design for optimizing copper-molybdenum sulphides flotation*, Physicochemical Problem Mi, 1, 52: 252-267.

Rao, K.H., Forssberg, K.S.E., 1997.*Mixed collectors systems in flotation*. Int. J. Miner. Process. 1, 51: 67-79.

Pięta P., 2015.*One-dimensional and two-dimensional analyses of hard coal separation in a jig*. Journalof the Polish Mineral Engineering Society, 1, 16,133-138.

Sablik, J., Wierzchowski, K., 1992.*Evaluation of the influence of flotation reagents on the hydrophobicity of coal using the film flotation method*, Fuel, 4, 71: 474-475.

Stanisz A., 2007.*The accessible statistics course using STATISTICA PL on examples from medicine*. Multidimensional analysis. StatSoft, Cracow.

Tumidajski T., 2010.*Actual tendencies in description and mathematical modelling of mineral processing*. MRM, 6, 23: 111-123.

Whiteley, J. R., Davis, J. F., 1994.*A similarity-based approach to interpretation of sensor data using adaptive resonance theory*. Computers and Chemical Engineering, 7, 18: 637-661.

Charakterystyka i zastosowanie pól elektromagnetycznych w inżynierii procesowej

Alicja Przybył [(1)], Rafał Rakoczy [(1)]

[1] Instytut Inżynierii Chemicznej i Procesów Ochrony Środowiska, Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Alicja Przybył: alicja.przybyl@zut.edu.pl

Streszczenie
Głównym celem pracy było usystematyzowanie wiedzy na temat wzajemnych zależności pomiędzy polami magnetycznym i elektrycznym tworzącymi pole elektromagnetyczne, a także przedstawienie możliwości zastosowań tych pól w szeroko rozumianej inżynierii procesowej. Omówione zostały podstawowe prawa charakteryzujące pola elektryczne, magnetyczne i elektromagnetyczne. Przeanalizowano podobieństwa i różnice pomiędzy rozpatrywanymi polami siłowymi. Przedstawiono obszary zastosowania pól elektromagnetycznych, które są coraz częściej wykorzystywane w różnego rodzaju procesach i operacjach, w celu zwiększenia ich efektywności lub są stosowane, jako alternatywne rozwiązania do klasycznych operacji jednostkowych.

Słowa kluczowe: pole elektromagnetyczne, pole magnetyczne, pole elektryczne; inżynieria procesowa

Characteristics and application of electromagnetic fields in process engineering

Summary
The aim of this study was to systematize knowledge about the interdependence between magnetic and electric fields forming electromagnetic field, and to present possibilities of field applications in process engineering. The basic laws defining electrical, magnetic and electromagnetic fields have been discussed. The similarities and differences between the considered force fields have been analyzed. In addition, force fields have been shown to be increasingly used in a variety of processes and operations to increase their effectiveness or to be used as alternatives to traditional operations.

Keywords: electromagnetic field, magnetic field, electric field; process engineering

Spis oznaczeń
a – wektor jednostkowy
B – indukcja magnetyczna, [T]
e – siła elektromotoryczna, [V]
E – wektor natężenia pola elektrycznego, [$V \cdot m^{-1}$]
F – siła, [N]
I – natężenie prądu elektrycznego, [A]
j – jednostka urojona, [-]
J – wektor gęstości prądu elektrycznego, [$A \cdot m^{-2}$]
k – współczynnik ruchliwości jonów, [$m^2 \cdot V^{-1} \cdot s^{-1}$]
q – ładunek elektryczny, [C]
Q – siła oddziaływania ładunku, ładunek elektryczny, [C]
r – promień, położenie ładunku, [m]
s – pole powierzchnia, [m^2]
t – czas, [s]
v – prędkość fali, [$m \cdot s^{-1}$]

Symbole greckie
Γ – kontur, brzeg obszaru
ε – przenikalność elektryczna, [$F \cdot m^{-1}$]
μ – przenikalność magnetyczna, [$H \cdot m^{-1}$]
ρ – gęstość ładunku, [$C \cdot m^{-3}$]
ϕ – strumień magnetyczny [$T \cdot m^2$]

1 Wstęp

Pole elektromagnetyczne występuje w środowisku naturalnym, jest efektem postępu cywilizacyjnego oraz technologicznego i towarzyszy człowiekowi we wszystkich aspektach życia. Na ogół organizmy żywe nie posiadają umiejętności jego wykrywania. Wyjątek stanowią niektóre bakterie, owady a także ptaki, które wykorzystują stałe pole magnetyczne ziemi do nawigacji (Sztafrowski i in. 2005). Oddziaływanie pola elektromagnetycznego nie jest odczuwane zmysłami człowieka, co może prowadzić do stwierdzenia, że wokół nas panuje pusta przestrzeń. Jednak jest to błędne spostrzeżenie, ponieważ tak naprawdę przestrzeń ta jest wypełniona różnymi formami energii. Co więcej, ich wielkość stale rośnie, co jest spowodowane intensywnym rozwojem różnych dziedzin techniki (Kiciński i in. 2002; Sztafrowski i in. 2005).

Obecnie badacze na całym świecie intensywnie pracują nad zagadnieniem wpływu różnych form energii, w postaci fal elektromagnetycznych emitowanych przez różnego rodzaju urządzenia, na zdrowie organizmów żywych. Z drugiej strony nikt nie wyobraża sobie życia bez telefonów komórkowych, komputerów czy innych urządzeń, które stały się nieodłącznym elementem w codziennym funkcjonowaniu. Coraz częściej prowadzone są badania nad wykorzystaniem pól siłowych w przemyśle do intensyfikacji różnego rodzaju procesów czy operacji jednostkowych lub całkowitego zastąpienia wybranych operacji przez zastosowanie pól siłowych (Zlokarnik 2001).

2. Rodzaje pola elektromagnetycznego

Promieniowanie elektromagnetyczne charakteryzuje się wzajemnym oddziaływaniem pól elektrycznych i magnetycznych. Zależności te zaobserwował w 1819 r. Oersted, który wykazał, że wokół przewodnika z prądem powstaje pole magnetyczne. Od tego momentu nastąpił rozwój badań poświęconych tego typu zależnościom, co zaowocowało przedstawieniem kompletnej teorii dotyczącej zjawisk magnetycznych wywołanych prądem elektrycznym. Przełomowym wydarzeniem było okrycie zjawiska indukcji elektromagnetycznej w 1831 roku przez Faraday'a. Klasyczna teoria elektromagnetyzmu sformułowana przez Maxwella oraz doświadczalne wytworzenie fali elektromagnetycznej przez Hertza w 1886 r. przyczyniły się do intensywnego rozwoju badań nad tym zjawiskiem (Halliday i in. 1974; Lichszteld i in. 2004).

Charakterystycznymi cechami oddziaływań pomiędzy polem elektrycznym i magnetycznym są ich uporządkowanie i powtarzalność. Pole elektryczne wywoływane jest przez obecność przeciwnych ładunków elektrycznych (napięcie elektryczne). Z kolei pole magnetyczne powstaje w wyniku ruchu ładunków elektrycznych, dokładniej przez przepływający prąd

elektryczny (Kiciński i in. 2002; Rakoczy 2011). W dalszej części pracy przedstawiono charakterystyki omawianych pól.

- Pole elektryczne

Występowanie zjawisk elektrycznych zaobserwował Tales z Miletu (620-540 p.n.e.), który opisał elektryzowanie podczas pocierania bursztynu. Jednak dopiero Gilbert (1544-1603) przeprowadził pierwsze naukowe obserwacje dotyczące elektryczności. Stwierdził, że poza bursztynem również inne materiały mogą ulegać naelektryzowaniu przez pocieranie. Na podstawie tych obserwacji inny uczony, Dufay (1698-1739), zwrócił uwagę na istnienie dwóch rodzajów sił: przyciągającej i odpychającej. Wywnioskował, że istnieją dwa rodzaje elektryczności: szklana i żywiczna, co zostało zastąpione parę lat później, przez Benjamina Franklina (1706-1790), jako ładunek dodatni i ładunek ujemny (Lichszteld, Kruk 2004). Natomiast wielkość sił elektrycznych jako pierwszy zmierzył Coulomb w 1785 roku, formułując przy tym prawo nimi rządzące, a od jego nazwiska nazwano jednostkę ładunku elektrycznego 1C=1A·s (Halliday i in. 1974; Piątek i in. 2015). Elektrostatyka, jako dział fizyki zajmuje się badaniem zjawisk zachodzących pod wpływem niezmiennych w czasie pól elektrycznych i wywołujących je ładunków elektrycznych.

Podstawowymi prawami stosowanymi w elektrostatyce są (Piątek i in. 2015):

Prawo zachowania ładunku $\sum_n q_n = \text{const}$, prawo to obowiązuje w układzie zamkniętym, czyli takim, który nie wymienia materii z otoczeniem, co można przyjąć w dużym uproszczeniu jako brak wymiany ładunków z otoczeniem.

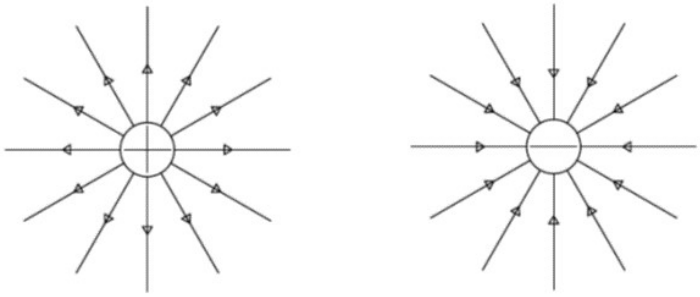
Prawo Coulomba $\mathbf{F} = k_0 \frac{q \cdot Q}{r^2} \cdot \frac{\mathbf{r}}{r} = k_0 \frac{q \cdot Q}{r^2} \cdot \hat{\mathbf{r}}$, prawo to zostało wykorzystane do zdefiniowania jednostki ładunku elektrycznego jaką jest kulomb C. W przyrodzie mamy dwa rodzaje ładunków (dodatni i ujemny), które wzajemnie oddziałują na siebie. Siła działająca pomiędzy ładunkami równoimiennymi będzie siłą dodatnią (odpychającą), natomiast pomiędzy różnoimiennymi – ujemną (przyciągającą). Kierunek tych sił został schematycznie pokazany na rys. 1 i 2.

Prawo Gaussa $\oint_S \mathbf{E} d\mathbf{a} = \frac{1}{\varepsilon_0} \int_V \rho dv$, lub w postaci $\text{div}\mathbf{E} = \frac{1}{\varepsilon_0}\rho$, prawo to opisuje strumień pola dla ciągłego rozkładu ładunków. Jest ono równoważne do prawa Coulomba, lecz umożliwia w prostszy sposób opisać zagadnienia, które w sposób bardziej skomplikowany ujmują wcześniejsze prawa.

Prawo Stokesa $\oint_C \mathbf{E}d\mathbf{s} = \int_S (\mathrm{rot}\mathbf{E})d\mathbf{a}$, lub w postaci $d\Gamma=(\mathrm{rot}\mathbf{E})d\mathbf{a}$, prawo to opisuje rotację wektora pola .

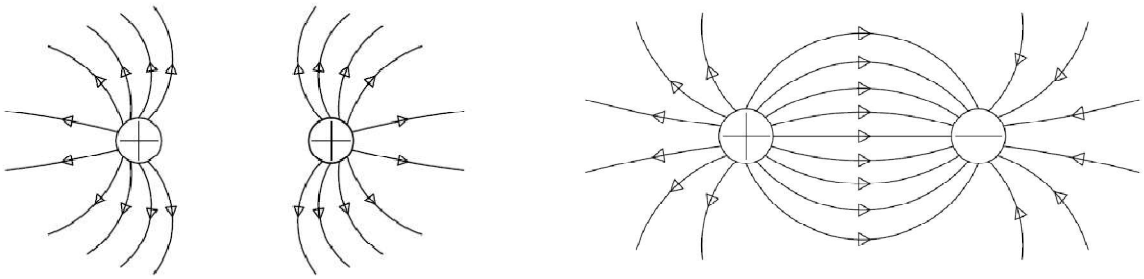
Rysunki 1 i 2 przedstawiają schematycznie kierunek i zwrot linii pola elektrycznego. Rys. 1 dotyczy pojedynczych wyizolowanych ładunków dodatnich i ujemnych, natomiast rys. 2 obrazuje wzajemne zachowanie się ładunków jednoimiennych (siła odpychająca) i różnoimiennych (siła przyciągająca).

a) b)



Rys. 1. Kierunek i zwrot linii pola elektrycznego: a) dodatniego i b) ujemnego (Piątek i in. 2015)

a) b)

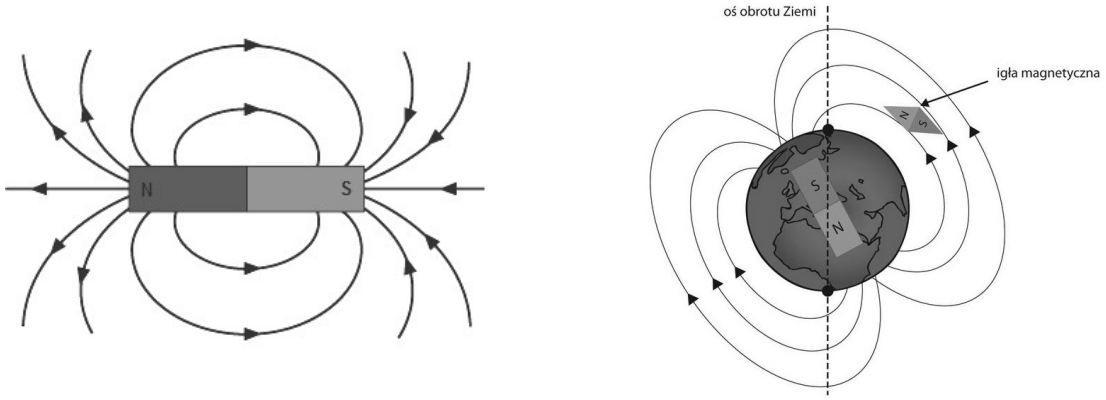


Rys. 2. Kierunek i zwrot linii pola elektrycznego pomiędzy dwoma ładunkami: a) jednoimiennymi i b) różnoimiennymi (Piątek i in. 2015)

- Pole magnetyczne

Pierwsze wzmianki o zjawiskach magnetycznych pochodzą ze starożytności. Poznane zostały właściwości magnetyczne niektórych rud żelaza (magnetyt $FeO_2 \cdot Fe_2O_3$, piryt magnetyczny $6FeS \cdot Fe_2S_3$). W średniowieczu potrafiono już namagnesować stalową sztabkę kawałkiem rudy. W III w. w Chinach wynaleziono igłę magnetyczną, jednak do Europy dotarła ona dopiero w XIII w. Zaobserwowano, że wokół magnesu sztabkowego linie sił pola magnetycznego wykazują podobieństwo do dipola elektrycznego. W XVI w. Gilbert wykazał, że Ziemia, podobnie jak magnez sztabkowy, wytwarza pole magnetyczne (Lichszteld i in. 2004). Na rys. 3 przedstawiono ułożenie i kierunek linii sił pola magnetycznego wokół magnesu sztabkowego oraz wokół Ziemi.

a) b)

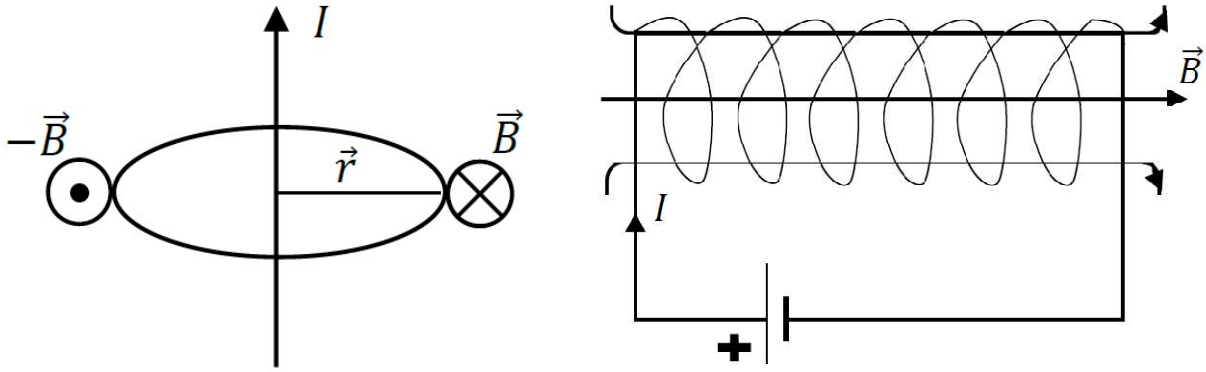


Rys. 3. Schemat linii sił pola magnetycznego wokół: a) magnesu sztabkowego i b) Ziemi (Halliday i in. 1974)

Na podstawie rysunku 3 można zauważyć analogie w wytwarzaniu pola magnetycznego przez magnes sztabkowy i Ziemię oraz to, że zwrot linii pola magnetycznego jest zawsze w kierunku magnetycznego bieguna południowego. Dopiero w 1820 r. Oersted udowodnił, że również wokół przewodu, w którym płynie prąd powstaje pole magnetyczne oddziałujące na igłę kompasu, a Biot i Savart określili ilościowo zależność między prądem elektrycznym a polem magnetycznym. Wprowadzili oni pojęcie wektora indukcji magnetycznej **B**, który opisuje pole magnetyczne w dowolnym punkcie wokół przewodu z prądem (Piątek i in. 2015).

Na rys. 4 przedstawiono schematycznie zwrot wektora indukcji magnetycznej wokół przewodu z prądem oraz wewnątrz uzwojenia zasilanego stałym prądem elektrycznym.

a) b)



Rys. 4. Zwrot wektora indukcji magnetycznej a) wokół przewodu z prądem, b) wewnątrz uzwojenia zasilanego prądem elektrycznym (Piątek i in. 2015)

Pole magnetyczne w przeciwieństwie do pola elektrycznego nie posiada źródła (pole bezźródłowe). Wynika to z tego, że nie istnieją ładunki magnetyczne, a linie pola magnetycznego tworzą kontury zamknięte.

Podstawowymi równaniami opisującymi pole magnetyczne są:

Prawo Biota-Savarta $d\mathbf{B}=\frac{\mu I}{4\pi}\frac{d\mathbf{l}\times\mathbf{1_r}}{r^2}=\frac{\mu I}{4\pi}\frac{d\mathbf{l}\times\mathbf{r}}{r^3}$, określa ono wielkość indukcji magnetycznej pola. Na jego podstawie wyprowadzono jednostkę indukcji, jaką jest tesla 1 T=1 $V\cdot s\cdot m^{-2}$.

Prawo Ampera $\oint \mathbf{B}d\mathbf{l}=\mu_0 I$ lub w postaci rot $\mathbf{B}=\mu_0\mathbf{j}$, które opisuje cyrkulację indukcji magnetycznej po konturze kołowym, która jest proporcjonalna do natężenia prądu przepływającego przez ograniczoną tym konturem powierzchnię.

Prawo Gaussa div$\mathbf{B}$=0, opisujące bezźródłowy charakter pola magnetycznego (Piątek i in. 2015; Sikora 1997).

Istnieje wiele sposobów klasyfikacji pól magnetycznych, jednak dosyć często stosuje się następujący podział pól magnetycznych (Rakoczy 2011):

stałe – charakteryzuje je stały kierunek względem układu odniesienia, wektory pola posiadają stały zwrot i stałą wartość, oś pola jest nieruchoma, np. pole wokół magnesu sztabkowego,

zmienne – charakteryzuje je stały kierunek względem układu odniesienia, zwrot i wartość wektorów są zmienne w czasie, oś pola jest nieruchoma, np. pole wokół przewodu z prądem,

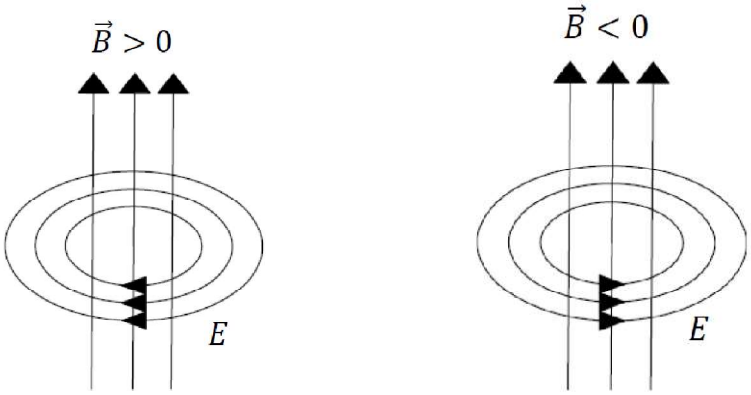
wirujące (kołowe i eliptyczne) – charakteryzuje je stały zwrot wektorów wzdłuż osi pola, oś ta wiruje względem układu odniesienia, pole wirujące kołowe posiada stałą wartość, natomiast w wirującym polu eliptycznym wartość jest zmienna, lecz zachowuje stały zwrot wzdłuż osi, np. pole wewnątrz uzwojenia zasilanego prądem zmiennym.

3. Charakterystyka pola elektromagnetycznego

Podstawowym zjawiskiem opisującym zależności pomiędzy zmiennymi w czasie polami elektrycznymi i magnetycznymi jest indukcja elektromagnetyczna, odkryta przez Faradaya w 1831 r.. Zjawisko to polega na wytwarzaniu siły elektromotorycznej (SEM) podczas zmian pola magnetycznego względem obwodu elektrycznego. Siła ta jest opisana zależnością $\mathbf{e}=\frac{1}{q}\oint \mathbf{F}d\mathbf{s}$, natomiast strumień indukcji magnetycznej wyrażamy, jako $\phi=\int_S \mathbf{B}d\mathbf{a}$. Jednostką strumienia indukcji magnetycznej jest weber 1 Wb=$T\cdot m^2$. Kierunek siły elektromotorycznej jest wyznaczany przez regułę Lenza, która stanowi szczególny przypadek zasady przekory (Lichszteld i in. 2004; Piątek i in. 2015). Na rys. 5 przedstawiono w sposób schematyczny kierunek siły elektromotorycznej wyznaczony zgodnie z regułą Lenza, rysunek ten jest analogiczny do rys. 4a dotyczącego zwrotu wektora indukcji magnetycznej.

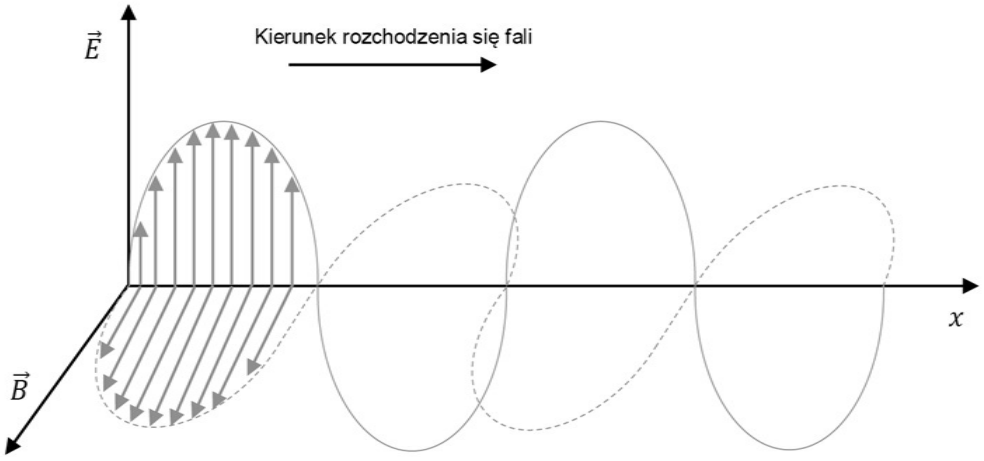
Podstawowe prawa elektromagnetyzmu zostały sformułowane przez Jamesa Clerka Maxwella. Dowiódł on, że również światło ma naturę elektromagnetyczną, a jego prędkość można wyznaczyć dzięki elektrycznym i magnetycznym pomiarom. Na podstawie tej zależności optyka została powiązana z elektrycznością i magnetyzmem. Dopiero w 1886 roku

Hertz, jako pierwszy wytworzył w warunkach laboratoryjnych falę elektromagnetyczną (Halliday i in. 1974).



Rys. 5. Schemat kierunku siły elektromotorycznej zgodny z reguła Lenza (Lichszteld i in. 2004)

Na rysunku 6 przedstawiono schemat fali elektromagnetycznej, która jest połączeniem indukujących się wzajemnie fal elektrycznej i magnetycznej.



Rys. 6. Schemat fali elektromagnetycznej (Piątek i in. 2015)

Fala elektromagnetyczna, czyli inaczej promieniowanie elektromagnetyczne zazwyczaj dzieli się ze względu na długość fali, jednak klasyfikacja danej długości fali jest kwestią umowną. Najczęściej przyjmuje się następujący podział (Halliday i in. 1974):

fale radiowe – długość fali to ok 10^{3} m,

mikrofale – długość fali to ok 10^{-2} m,

podczerwień – długość fali to ok 10^{-5} m,

światło widzialne – długość fali to ok 10^{-6} m,

ultrafiolet – długość fali to ok 10^{-8} m,

promieniowanie rentgenowskie – długość fali to ok 10^{-10} m,

promieniowanie gamma – długość fali to ok 10^{-12} m.

Obecnie pole elektromagnetyczne jest przedstawiane w sposób matematyczny za pomocą układu równań Maxwella (Piątek i in. 2015; Sikora 1997):

$\nabla \cdot \mathbf{B}=0$ – równanie to definiuje pole magnetyczne jako bezźródłowe,

$\nabla \cdot \mathbf{E}=\frac{\rho_q}{\varepsilon}$ – równanie to oznacza, że pole elektryczne jest generowane albo przez ładunki elektryczne (zgodnie z prawem Gaussa), albo przez zmienne w czasie pole magnetyczne opisane równaniem $\nabla \times \mathbf{E}=-\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$,

$\nabla \times \mathbf{B}=\mu\left(\mathbf{J}+\varepsilon \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}\right)$ – wyrażenie to stanowi, że pole magnetyczne może być generowane przez przepływający prąd elektryczny lub zmienne w czasie pole elektryczne.

Dodatkowo należy uwzględnić siłę elektrodynamiczną (siłę Lorentza), która opisuje siłę, z jaką pole magnetyczne działa na przewód elektryczny, przez który płynie prąd elektryczny. Wyrażana jest ona zależnością $\mathbf{F}=q \cdot \mathbf{E}+q \cdot \mathbf{v} \times \mathbf{B}$. Równania zaproponowane przez Maxwella znajdują szerokie zastosowanie w podstawowych zasadach działania urządzeń elektromagnetycznych i optycznych (silniki elektryczne, mikroskopy i teleskopy, radio, telewizja, maszyny matematyczne) (Halliday i in. 1974). W zależności od częstotliwości pola elektromagnetycznego możemy mierzyć je przy pomocy różnych wielkości. Zazwyczaj rozpatrywane jest przez dwie niezależne wielkości:

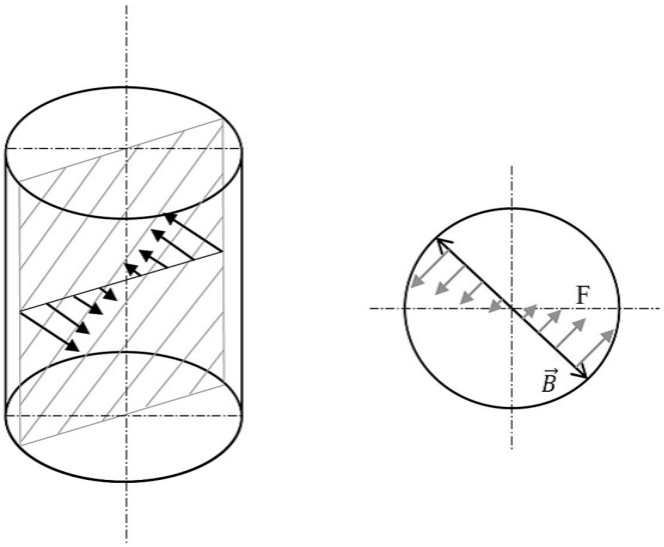
składową pola elektrycznego E [V/m] – której źródłem jest napięcie panujące w obwodzie,

składową magnetyczną H [A/m] lub indukcję pola magnetycznego B [T] – które są skutkiem płynącego prądu (Sztafrowski i in. 2005).

4. Zastosowanie pól elektromagnetycznych

Pole elektromagnetyczne ma szerokie zastosowanie w praktycznie każdym obszarze nauki i życia codziennego. W zależności od długości fali promieniowania elektromagnetycznego można wyróżnić obszary zastosowań. Fale radiowe są wykorzystywane głównie w telekomunikacji, telewizji i radiofonii; mikrofale znajdują zastosowanie w łączności i technikach radarowych; podczerwień wykorzystywana jest w termowizji, w astronomii i meteorologii do prowadzenia różnych obserwacji, a także do transmisji danych w światłowodach; światło widzialne ma szerokie zastosowanie w optyce; ultrafiolet ma bardzo szerokie zastosowanie m.in. w sterylizacji czy w świetlówkach; najpowszechniejszym zastosowaniem promieniowania rentgenowskiego są zdjęcia rentgenowskie, ale może być również stosowane do prowadzenia obserwacji astronomicznych; promieniowanie gamma wykorzystywane jest do sterylizacji, w radioterapii i diagnostyce medycznej (Halliday i in. 1974).

Pole elektromagnetyczne znajduje również zastosowanie w dziedzinach inżynierii procesowej. W większości przypadków służy do intensyfikacji podstawowych operacji, m.in. może z powodzeniem zastępować tradycyjne mieszanie mechaniczne (Zlokarnik 2001). Przykładem praktycznego zastosowania pola elektromagnetycznego w inżynierii chemicznej może być oddziaływanie wirującego pola magnetycznego na płyn przewodzący prąd elektryczny. Na rys. 7 przedstawiono schemat takiego oddziaływania (Rakoczy 2011).



Rys. 7. Schemat oddziaływania wirującego pola magnetycznego na płyn przewodzący prąd elektryczny (Rakoczy 2011)

Wirujące pole magnetyczne wywołuje ruch płynu, przewodzącego prąd elektryczny, w kierunku obwodowym. Zgodnie z rys. 7 pod wpływem pola magnetycznego w płynie przewodzącym prąd elektryczny powstaje pole elektryczne, a wzajemne oddziaływanie obu pól indukuje siłę elektromagnetyczną F. W przypadku płynu doskonale przewodzącego prąd elektryczny, układ będzie wirował z częstotliwością prądu zasilającego.

Szczególny przypadek może stanowić układ, do którego dodatkowo zostaną wprowadzone cząstki ciała stałego posiadające właściwości ferromagnetyczne. W takim układzie, cząstki umieszczone w płynie przewodzącym prąd elektryczny, pod wpływem wirującego pola magnetycznego mogą stworzyć układ dyspersyjny, w którym będą wykonywać ruch obrotowy i oscylacyjny. Obracające się cząstki można uznać za mikromieszadła rozproszone w całej objętości cieczy (Rakoczy 2011).

W literaturze istnieje wiele zastosowań pól elektromagnetycznych w przepływie cieczy podatnych magnetycznie i elektrycznie. Cramer i in. prowadzili wizualizację i pomiar prędkości przepływu ciekłego metalu pod wpływem łącznego działania wirującego i biegnącego pola magnetycznego (Cramer i in. 2008). Inni badacze z kolei analizowali

przepływ ferrocieczy w jednorodnym wirującym polu magnetycznym (Khushrushahi i in. 2010). Liu w swojej pracy badał wpływ poprzecznego pola magnetycznego na przepływ i wymianę ciepła płynu przewodzącego prąd elektryczny w laminarnej warstwie granicznej (Liu 2004). Pojawiły się również prace dotyczące zastosowania pól magnetycznych w medycynie. Przeprowadzone badania dotyczyły zachowania się nanocząsteczek ferromagnetycznych w naczyniach krwionośnych i wokół nich pod działaniem pól magnetycznych. Cząstki te miały by służyć, jako nośniki leków i mogłyby być nakierowywane bezpośrednio w miejsce zmienione chorobowo (Nacev i in. 2011).

Ponadto pole elektromagnetyczne wykorzystywane jest do wytwarzania i kontrolowania układów dyspersyjnych z magnetycznym stabilizowanym złożem (Histrov 2010), intensyfikacji procesu rozpuszczania ciała stałego (Rakoczy i in. 2010), zestalania stopów Pb-Sn (Nikrityuk i in. 2006) i wzrostu kryształów Czochralskiego oraz CdHgTe (Dold i in. 1999; Senchenkov i in. 1999). W ostatnich latach pojawiło się wiele prac badawczych wykorzystujących pola elektromagnetyczne do intensyfikacji procesów biologicznych, np. wzrost szybkości kiełkowania nasion lnianki (Cieśla i in. 2015), szybkość namnażania się komórek celulozy bakteryjnej (Fijałkowski i in. 2015).

5. Podsumowanie i wnioski

W pracy przedstawiono usystematyzowany stan wiedzy dotyczący zależności matematycznych zachodzących pomiędzy polami magnetycznym i elektrycznym. Dokonano krótkiego przeglądu historycznego przybliżającego kolejność poznawania i odkrywania zjawisk elektrycznych i magnetycznych. Odkrycie jednego zjawiska zazwyczaj przyczyniało się do odkrycia kolejnego, co również może potwierdzać wzajemne zależności pomiędzy polami. Przedstawione zostały podstawowe prawa opisujące rozpatrywane pola, które opisano analogicznymi równaniami w przypadku wyznaczania siły pola czy jego natężenia. Zasadniczą różnicą pomiędzy polem magnetycznym a polem elektrycznym jest to, że pole magnetyczne jest bezźródłowe i nie występują ładunki magnetyczne, jak ma to miejsce w polu elektrycznym.

Analizując obszary występowania i zastosowania promieniowania elektromagnetycznego można powiedzieć, że występuje ono praktycznie w każdej dziedzinie nauki i życia codziennego, ale dopiero w ostatnich latach zostało zastosowane do intensyfikacji procesów w inżynierii chemicznej. Pola te są stosowane w procesach i operacjach wymiany masy, w celu zwiększenia ich efektywności i mogą być alternatywą dla klasycznych operacji jednostkowych.

6. Literatura

Cieśla A., Kraszewski W., Skowron M., Syrek P., Wpływ działania pola magnetycznego na kiełkowanie nasion, Przegląd Elektrotechniczny r. 91 Nr 1/2015

Cramer A., Pal J., Gerbeth G., Electromagnetic Stirring with Superimposed Travelling and Rotating Magnetic Fields, Przegląd Elektrotechniczny 11 (2008) 144-148 ISSN 0033-2097

Dold P., Benz K.W., Rotating magnetic fields: fluid flow and crystal growth applications, Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials (1999) 7-38

Fijałkowski K., Żywicka A., Drozd R., Niemczyk A., Junka A.F., Peitler D., Kordas M., Konopacki M., Szymczyk P., El Fray M., Rakoczy R., Modification of bacterial cellulose through exposure to the rotating magnetic field, Carbohydrate Polymers 133 (2015) 52-60 DOI: 10.1016/j.carbpol.2015.07.011

Halliday D., Resnick R., Fizyka dla studentów nauk przyrodniczych i technicznych, Tom II, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1974

Hristov J., Magnetic field assisted fluidization – a unified approach. Part 8. Mass transfer: magnetically assisted bioprocesses, Rev. Chem. Eng. 26 (2010) 55-128 DOI: 10.1515/revce.2010.006

Khushrushahi S., Zahn M., Understanding ferrofluid spin-up flows in rotating uniform magnetic fields, The Proceedings of the COMSOL Conference 2010 Boston

Kiciński W., Żera A., Pole elektromagnetyczne w środowisku człowieka, II Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna „EKOLOGIA W ELEKTRONICE", Przemysłowy Instytut Elektroniki, Warszawa, 5-6.12.2002

Lichszteld K., Kruk I., Wykład z fizyki, Politechnika Szczecińska, Szczecin 2004, ISBN 83-87423-02-5

Liu I.-Ch., Flow and heat transfer of an electrically conducting fluid of second grade over a stretching sheet subject to a transverse magnetic field, International Journal of Heat and Mass Transfer 47 (2004) 4427–4437, DOI:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2004.03.029

Nacev A., Beni C., Bruno O., Shapiro B., The behaviors of ferromagnetic nano-particles in and around blood vessels under applied magnetic fields, Journal of Magnetism and Magnetic Materials 323 (2011) 651–668

Nikrityuk P.A., Eckert K., Grundmann R., A numerical study of unidirectional solidification of a binary metal alloy under influence of a rotating magnetic field, International Journal of Heat Mass Transfer 49 (2006) 1501-1515 DOI:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2005.08.035

Piątek Z., Jabłoński P., Podstawy teorii pola elektromagnetycznego, Wydawnictwo WNT, Warszawa 2015, ISBN 978-83-7926-266-3

Rakoczy R., Analiza teoretyczno-doświadczalna wpływu wirującego pola magnetycznego na wybrane operacje i procesy inżynierii chemicznej, Wydawnictwo Uczelniane Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, Szczecin 2011

Rakoczy R., Masiuk S., Influence of Transverse Rotating Magnetic Field on Enhancement of Solid Dissolution Process, American Institute of Chemical Engineers 56(6) (2010) 1416-1433 DOI 10.1002/aic.12097

Senchenkov A.S., Barmin I.V., Tomson A.S., Krapukhin V.V., Seedless THM growth of CdxHg1-xTe (x≈0.2) single crystals within rotating magnetic field, Journal of Crystal Growth 197 (1999) 552-556

Sikora R., Teoria pola elektromagnetycznego, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1997

Sztafrowski D., Jakubaszko J., Wpływ zmiennego pola magnetycznego na funkcje narządu wzroku. Przegląd Elektrotechniczny 4 (2005)

Zlokarnik M., Stirring. Theory and Practice, Wiley, Weinheim 2001

Wpływ parametrów obróbki cieplnej na wybrane właściwości odkuwek typu rozwidlonego

Mateusz Skwarski [(1)], Paweł Widomski [(1)], Marcin Rychlik [(2)]

[1] Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny, Katedra Obróbki Plastycznej i Metrologii
[2] Kuźnia Jawor S.A., ul. Kuziennicza 4, 59-400 Jawor
Mateusz Skwarski: mateusz.skwarski@pwr.edu.pl

Streszczenie
Artykuł przedstawia wyniki przeprowadzonych badań dotyczących obróbki cieplnej odkuwek typu rozwidlonego w Kuźni Jawor. We wstępie artykułu opisano przebieg obróbki cieplnej wyrobów, zawarto warunki panujące podczas trwania procesu, streszczono charakterystykę urządzeń wykorzystanych do obróbki cieplnej. Szeroko opisano urządzenia pomiarowe i metodykę badawczą. Opisano najistotniejsze problemy jakościowe występujące w technologii, między innymi efekt odwęglenia warstwy wierzchniej odkuwek i nieprawidłową mikrostrukturę w materiale odkuwki. Te dwa czynniki wpływają na zmniejszenie własności wytrzymałościowych stali, z których wykonano odkuwki. Badania prowadzono na próbkach wyciętych z odkuwek po obróbce cieplnej. Wykonano badania mikrostruktury oraz twardości. Uzyskanewyniki badań umożliwiły ocenę jakości odkuwek typu rozwidlonego po przeprowadzonej obróbce cieplnej.

Słowa kluczowe: kucie, odkuwka, obróbka cieplna

Influence of heat treatment parameters on selected properties of the forgings of the fork type

Summary
The articlepresents the results of conductedresearch on heattreatment of forgings of the forktypeat Kuźnia Jawor. The introduction of the articledescribes the course of heattreatment of products, contains the conditionsprevailingduring the process, summarizes the characteristics of the devices used for heattreatment. Measuring devices and researchmethodologyhavebeenwidelydescribed. Describedare the most importantqualityproblemsoccurring in the technology, amongothers, the effect of decarburization of the surfacelayer of forgings and abnormalmicrostructure in the forgingmaterial. Thesetwofactorsaffect the durability of the steel from which the forgingsweremade. The testswerecarried out on samplescut from forgingsafterheattreatment. Microstructure and hardnesstestswerecarried out. The obtained test resultsenabled the assessment of the quality of forgings of the bifurcatedtypeafter the heattreatment.

Keywords: forging, heat treatment

1. Wstęp

W zakładzie produkcyjnym Kuźni Jawor wytwarzanych jest dziennie tysiące produktów w postaci odkuwek stalowych o masie z zakresu od 100 g do 30 kg i zróżnicowanych wymiarach. Aby ułatwić ich identyfikację, wszystkie produkowane odkuwki podzielone zostały na grupy ze względu na właściwości takie jak kształt czy sposób wytwarzania. Jedną z takich grup stanowią odkuwki typu rozwidlonego, które charakteryzują się tym, że ich kształt podzielony jest wyraźnie na dwie części: część zwartą, gdzie masa odkuwki jest skupiona i na część rozwidloną, która rozdzielona jest na dwa podłużne występy, zazwyczaj równoległe.

Obróbka cieplna odkuwek może być prowadzona na bardzo wiele sposobów. Jednym z jej rodzajów jest ulepszanie cieplne obejmujące hartowanie i wysokie odpuszczanie. Do takiej obróbki wykorzystuje się piece, które można podzielić na następujące rodzaje: ze

względu na rodzaj zasilania na elektryczne (indukcyjne i oporowe) oraz na gazowe; ze względu na atmosferę panującą wewnątrz pieca na próżniowe, atmosferowe (atmosfera obojętna lub redukująca) i atmosferyczne, z których najmniej korzystne wydają się być piece z powietrzem atmosferycznym, ponieważ znajdujący się w komorze tlen reaguje w wysokich temperaturach powodując przyspieszone utlenianie się, korozję metali; a także ze względu na sposób pracy- na tryb pracy ciągłej (przepychowy dla małych wsadów na tacach lub taśmowy dla pojedynczych detali) i na tryb pracy okresowej (komorowe dla dużego wsadu) (Sighn, 2012).

Ulepszanie cieplna elementów stalowych polega na połączeniu zabiegów hartowania i odpuszczania. Hartowanie realizuje się poprzez nagrzanie odkuwek do bardzo wysokiej temperatury, przekraczającej temperaturę austenityzacji materiału (750-800°C dla stali niskowęglowych), a następnie na szybkie chłodzenie z prędkością większą od krytycznej celem zahartowania materiału (uzyskania wskutek przemiany bezdyfuzyjnej struktury martenzytycznej). Zahartowany materiał cechuje się wysoką twardością, ale także dużą kruchością, co nie jest pożądane ze względu na skłonność do pękania. W dodatku występują w nim naprężenia własne, materiał jest w stanie niestabilnym, co może powodować zmiany jego właściwości w trakcie późniejszej eksploatacji. Aby pozbyć się naprężeń własnych materiału mogących negatywnie wpływać na geometrię wyrobu i aby ujednorodnić mikrostrukturę konieczne jest przeprowadzenie procesu odpuszczania, który polega na kolejnym podgrzaniu materiału, do temperatury wysokiego odpuszczania (około 600°C), przetrzymaniu go w tej temperaturze przez określony czas i schłodzeniu na powietrzu (Sighn, 2012).

W badaniu eksperymentalnym podjęto próbę porównania obróbki cieplnej odkuwek typu rozwidlonego na dwóch różnych liniach obróbki cieplnej. Pierwsza linia wyposażona była w piece komorowe do obróbki cieplnej w powietrzu atmosferycznym (Rys. 5). Druga linia wyposażona była w piece taśmowe (Rys. 6), w których wnętrzu znajduje się atmosfera ochronna azotu, a na wejściu i wyjściu z każdego pieca zamontowane są kurtyny zapobiegające przedostawaniu się powietrza atmosferycznego do wnętrza pieca. Mimo zastosowanych zabezpieczeń, z powodu pracy ciągłej izolacja odkuwek od wpływu atmosfery nie jest możliwa, ponieważ regularnie kurtyna otwiera się, aby przyjąć i wypuścić kolejne odkuwki. Opisywany piec taśmowy stanowi element projektu badawczego, w ramach, którego zbudowano dedykowaną linię do obróbki cieplnej odkuwek typu rozwidlonego. Celem przeprowadzonych badań było porównanie efektów, jakie można uzyskać po obróbce cieplnej odkuwki typu rozwidlonego na istniejącej już linii wyposażonej w piec komorowy do

efektów, jakie można uzyskać po obróbce na nowej linii do obróbki cieplnej wyposażonej w piec taśmowy.

Rys. 5 Linia obróbki cieplnej z piecem komorowym

Rys. 6 Linia do obróbki cieplnej z piecem taśmowym

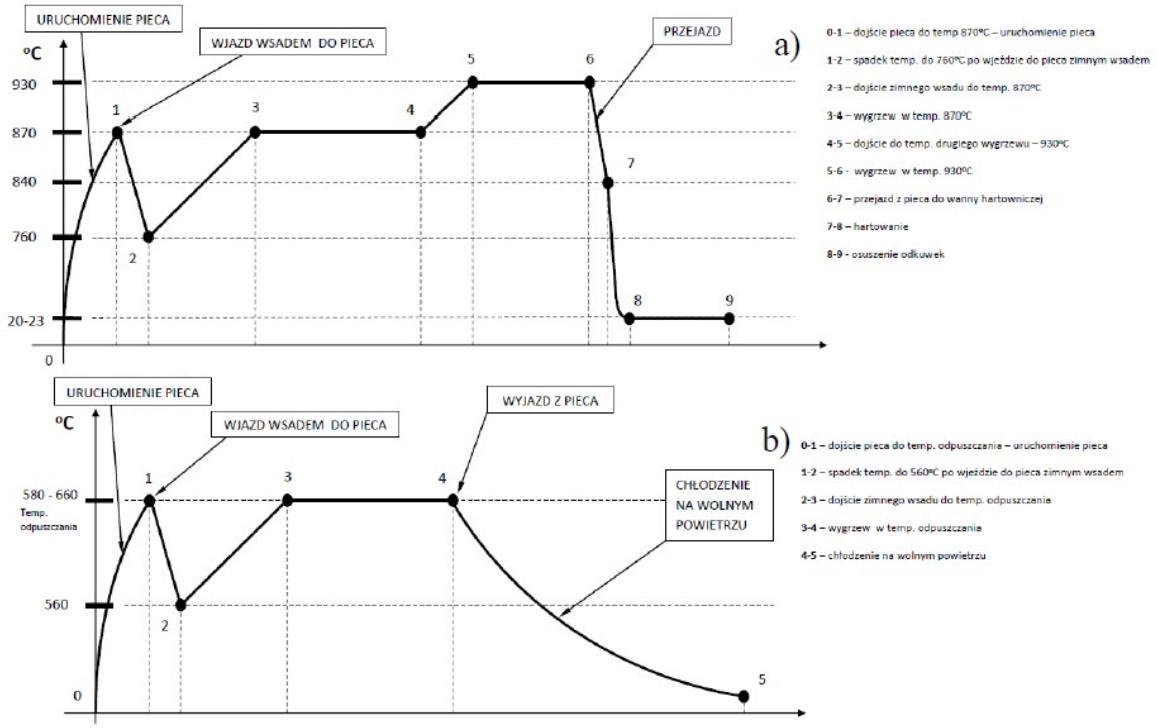
Przebieg zmian temperatury w trakcie trwania procesu w piecach komorowych przedstawiono na Rys. 7

Obróbka cieplna odkuwek w piecu komorowym pokazana na wykresach na Rys. 7 posiada następujące wady:

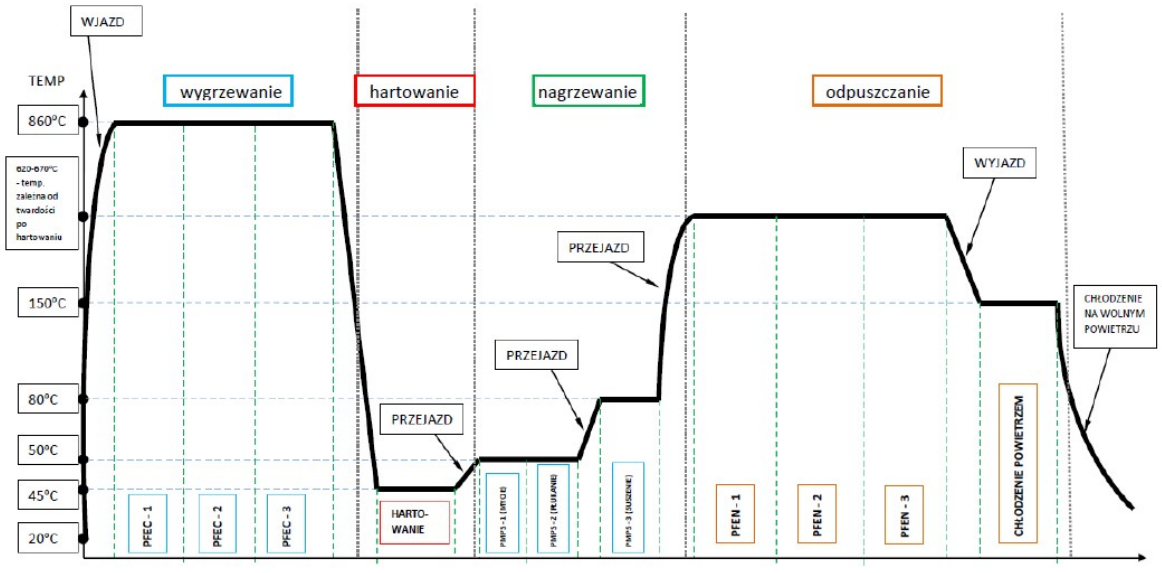
- lokalne spadki temperatury podczas nagrzewania wsadu,
- dodatkoweprzechłodzenie podczas transportu wsadu do wanny hartowniczej,
- wyższa niż potrzeba temperaturaaustenityzacji (5-6) ze względu na późniejszą utratę ciepła w transporcie do hartowania (6-7).

Alternatywnie stosowano obróbkę cieplną w piecach taśmowych.Zmiany temperatury w czasie trwania obróbki cieplnej w piecu taśmowym zostały zaprezentowane w postaci diagramu na Rys. 8. Pojedyncze odkuwki wprowadzane są do pieca w sposób ciągły, bez utraty temperatury wewnątrz pieca. Po osiągnięciu zadanej temperatury i upływie odpowiedniego czasu poszczególne odkuwki opuszczają komorę pieca spadając bezpośrednio z taśmy do wanny z olejem, dzięki czemu nie traci się czasu na transport materiału i materiał

nie traci swojej temperatury (nie zachodzi konieczność przegrzewania go). Gdy odprowadzenie ciepła z odkuwki będzie wystraczająco szybkie to w mikrostrukturze pojawi się martenzyt w całej objętości odkuwki. Kolejnym etapem jest mycie, płukanie i suszenie materiału. Ostatnim etapem jest odpuszczanie, które polega na nagrzaniu wsadu do temperatury 620-670°C i wytrzymaniu w tej temperaturze aż do zredukowania naprężeń i znormalizowania struktury sorbitu odpuszczania (wysokie odpuszczanie).



Rys. 7 Przebieg temperatury w trakcie obróbki cieplnej odkuwki w piecu komorowym, a) hartowanie, b) odpuszczanie



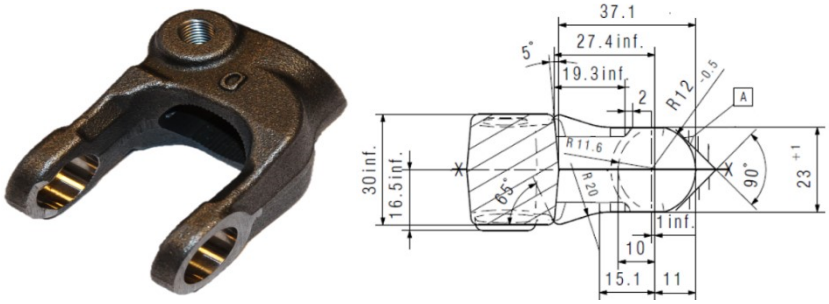
Rys. 8 Przebieg temperatury w trakcie obróbki cieplnej odkuwki w piecu taśmowym

Nieprawidłowo przeprowadzona obróbka cieplna może spowodować następujące błędy rzutujące na jakość końcową wyrobów – odkuwek stalowych (Gronostajski i inni., 2016):

- Efekt odwęglenia – spowodowany jest dyfuzją węgla z warstwy wierzchniej do atmosfery, który utlenia się w podwyższonych temperaturach panujących podczas obróbki cieplnej [Gildersleeve, 1991]. Efekt ten powoduje zmiany w mikrostrukturze warstwy wierzchniej – występowanie przy powierzchni pasma o strukturze ferrytycznej i obniżonej twardości. Jest to niepożądane, ponieważ warstwa przy powierzchni jest najbardziej odpowiedzialną częścią odkuwki ze względu na to, że pozostaje w kontakcie z innymi komponentami konstrukcji ulegając tarciu i przenosząc naciski (Adamaszek i Broz, 2001; Ariel i Mukherjee, 1979).
- Niejednorodne właściwości mechaniczne – lokalnie obniżona twardość odkuwki
- Niekorzystne wydzielenia w mikrostrukturze odkuwki – występowanie struktur metastabilnych takich jak austenit szczątkowy, martenzyt. Po prawidłowym procesie hartowania w całej objętości stali pojawi się martenzyt. Dopiero z niego, po procesie odpuszczania powstaje pożądana struktura, jaką jest sorbit odpuszczania. Niedopuszczalna jest nawet minimalna zawartość bainitu, troostytu i martenzytu odpuszczania w strukturze, ponieważ obniżają wytrzymałość materiału, zwiększają podatność na pękanie i stanowią inicjację pęknięć. Niedopuszczalna mikrostruktura może powstać w materiale w wyniku źle przeprowadzonej obróbki cieplnej (za niskie lub wysokie temperatury hartowania i odpuszczania), zbyt wolne lub zbyt szybkie chłodzenie materiału itp. (Maropoulos, 2004).
- Zmiany na powierzchni – warstwa tlenków powstała na skutek kontaktu z atmosferycznym tlenem

2. Metodyka badawcza

Badania przeprowadzono na jednej z odkuwek typu rozwidlonego, której zdjęcie i rysunek konstrukcyjny pokazano na Rys. 9. Odkuwki typu rozwidlonego stanowią element połączenia stosowanego w układzie kierowniczym pojazdu samochodowego i służą do przeniesienia napędu z kierownicy (wału) na drążki skrętne przedniej osi kół samochodu. W układzie tym konieczne jest zamocowanie wałka od kierownicy do części zwartej odkuwki i montaż widełek do krzyżaka w przegubie.

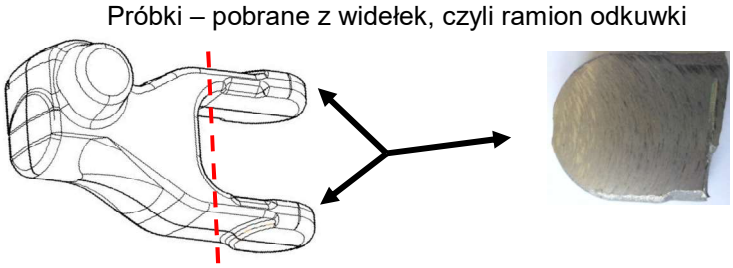


Rys. 9 a) Zdjęcie odkuwki typu rozwidlonego po obróbce mechanicznej, b) Rysunek konstrukcyjny typowej odkuwki typu rozwidlonego

Wybrany proces produkcyjny odkuwek typu rozwidlonego rozpoczyna się od dostawy materiału wejściowego w postaci prętów o średnicy 35 mm ze stali węglowej, niestopowej C45. Następnie pręty cięte są w procesie cięcia na zimno na nożycach, na fragmenty o długości 60 mm z tolerancją cięcia ±0,015, co daje normę zużycia materiału równą 0,454 kg, a masa jednego widłaka (odkuwki typu rozwidlonego) wynosi 0,32 kg. Materiał w tej postaci nagrzewany jest metodą indukcyjną do temperatury 1120-1150°C, dzięki czemu twardy materiał staje się na tyle plastyczny, że istnieje możliwość odkształcenia go w znacznym stopniu. Wtedy poddawany jest czterem zabiegom kucia na gorąco na prasie o nacisku 13 MN. Po procesie kucia, odkuwki są okrawane i poddawane odpowiedniej obróbce cieplnej w celu nadania wysokich własności wytrzymałościowych i plastycznych, oraz ujednorodnienia mikrostruktury i właściwości materiału w całej objętości odkuwki (Mohanty, 2017).

Ten właśnie etap procesu produkcyjnegopodlegał szczególnej analizie.Autorzy podjęli próbę porównania dwóch różnych metod obróbki cieplnej tego samego materiału w celu sprawdzenia, która metoda przyniesie lepsze efekty. Ponieważ po obróbce cieplnej na powierzchni materiału pojawia się zanieczyszczenie w postaci zgorzeliny i mogą pojawić się również tlenki (korozja) (Verhoeven, 1990), powierzchnia odkuwki jest poddawana śrutowaniu- jest bombardowana śrutem w celu jej oczyszczenia, wygładzenia i nadania powierzchni jednorodnych właściwości (McKelvey i Fatemi, 2012). Na końcu procesu produkcyjnego odkuwki są kontrolowane jednostkowo w badaniach defektoskopowych metodą magnetyczno-proszkową.

Aby zweryfikować, jakość przeprowadzonej obróbki cieplnej przygotowano próbki do badań. Z obrobionych cieplnie odkuwek wycięto widełki (część rozwidloną), które oszlifowano i wypolerowano (Rys. 10).



Rys. 10 Miejsce wycięcia próbek do badań

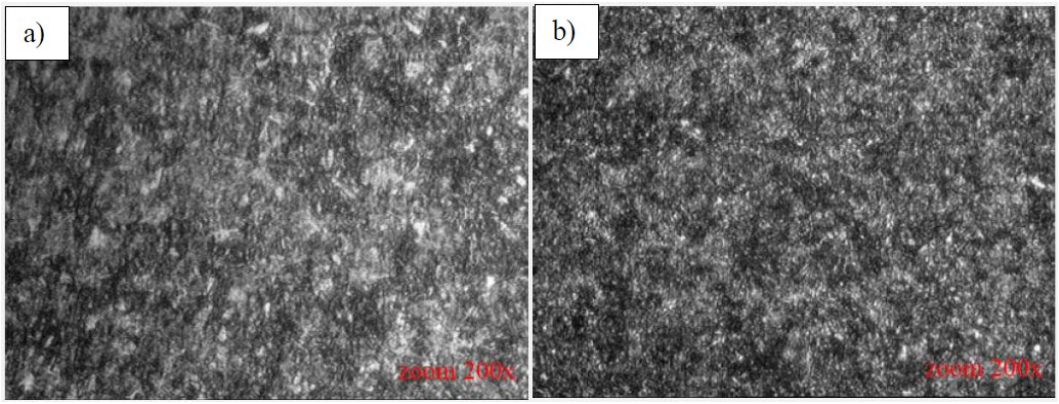
Do badań mikrostrukturalnych, powierzchnie wytrawiono odczynnikiem „nital", to jest 4% roztworem kwasu azotowego (V) w alkoholu, a następnie obserwowano i oceniano je za pomocą mikroskopu metalograficznego Neophot 21. Badanie stopnia odwęglenia warstwy wierzchniej przeprowadzono na całym obwodzie wypolerowanej części widełek, gdzie poszukiwano miejsc o największym stopniu odwęglenia w całym przekroju próbki. Z kolei pomiar twardości materiału dokonano metodą Brinella, kulką nr 10.

3. Wyniki

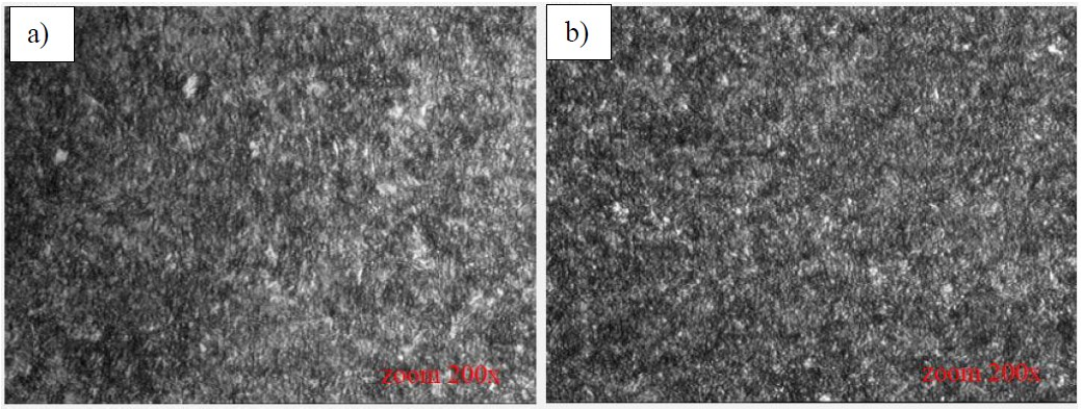
Wyniki badań obejmują badania mikrostruktury wewnątrz odkuwki, badania odwęglenia przy powierzchni oraz twardości materiału odkuwki. Uzyskane obrazy mikrostruktury wewnątrz odkuwek - zgłady metalograficzne zaobserwowane pod mikroskopem przedstawiono na Rys. 11 i Rys. 8. Po lewej stronie (Rys. 7a i 8a) widoczne są liczne niejednorodności w mikrostrukturze. Można zaobserwować nierównomierne jasne wydzielenia węglików a pozostałe fazy mikrostruktury są rozmieszczone nieregularnie. Jako osnowa występuje tu struktura sorbitu, dlatego jakość jest akceptowalna, ale nie jest to w pełni struktura odpuszczania. Widok jednorodnej mikrostruktury sorbitu przedstawiony na Rys. 7b i 8b świadczy o właściwie i całkowicie przeprowadzonej obróbce cieplnej na linii pieców taśmowych. Białe wydzielania węglików są wyraźnie zdyspersowane i skoagulowane. Porównując strony A (wewnętrzną) i B (zewnętrzną) widełek odkuwki można zauważyć, że mikrostruktury po stronie zewnętrznej (Rys. 7a i 7b) są bardziej niejednorodne i mają mniej rozdrobnioną budowę.

Badanie stopnia odwęglenia polegało na obserwacji krawędzi zgładu metalograficznego na całym obwodzie widełek po obu jego stronach. Warstwa odwęglona materiału widoczna jest jako biały obszar, w którym występują charakterystyczne duże ziarna ferrytu. W miejscu, gdzie warstwa odwęglona byłanajwiększa, mierzono jej długość i porównywano do dopuszczalnej wartości 0,15 mm. Na Rys. a i 10a dla odkuwki obrobionej w piecu

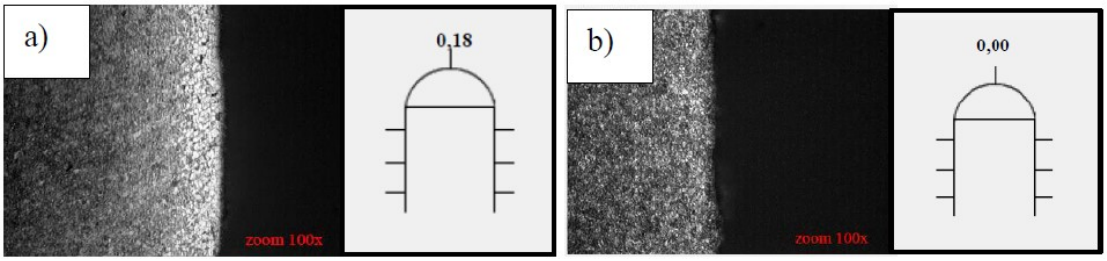
komorowym, zauważyć można wyraźny efekt odwęglenia, sięgający 0,18 i 0,15 mm w warstwie wierzchniej. Na rys. 9b i 10b, dla odkuwki obrobionej cieplnie w piecu taśmowym nie zaobserwowano warstwy odwęglonej.



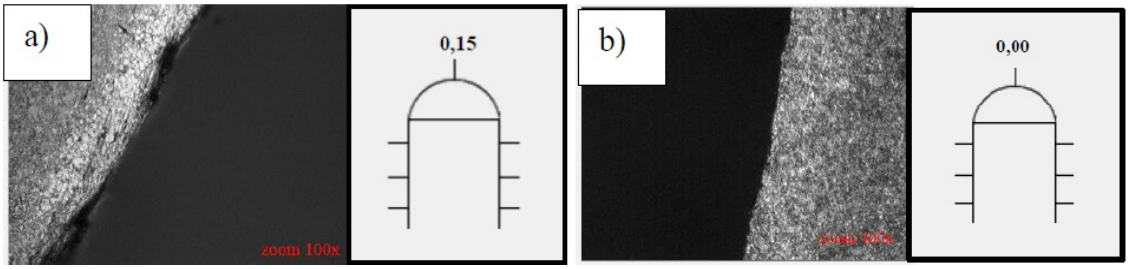
Rys. 11Widok mikrostruktury odkuwki (pow. 100x); po stronie zewnętrznej (A) odkuwki widłaka po obróbce cieplnej: a) w piecu komorowym, b) w piecu taśmowym



Rys. 8Widok mikrostruktury odkuwki (pow. 100x); po stronie wewnętrznej (B) po obróbce: a) w piecu komorowym i b) w piecu taśmowym.



Rys. 9. Pomiar odwęglenia po stronie zewnętrznej A odkuwki widłaka a) po obróbce w piecu komorowym, b) po obróbce w piecu taśmowym



Rys. 10. Pomiar odwęglenia po stronie wewnętrznej B odkuwki widłaka a) po obróbce w piecu komorowym, b) po obróbce w piecu taśmowym

Wyniki z pomiaru twardości w postaci tabelarycznej przedstawiono w Tabela 1. Dla odkuwki po obróbce w piecu komorowym wystąpiły znaczne różnice w wartości twardości w zależności od miejsca pomiaru. Natomiast dla odkuwki po obróbce w piecu taśmowym, twardość materiału jest wyższa, a różnica między powierzchnią zewnętrzną i wewnętrzną widłaka jest znikoma. Ważnym aspektem jest w tym przypadku rozrzut twardości w całej objętości odkuwki. W analizowanym przypadku wyraźnie widoczna jest zmienna twardość w przekroju odkuwek po OC w piecu komorowym.

Tabela 1Wyniki pomiaru twardości HBW kulką o średnicy 10mm przy obciążeniu 3000N, a) odkuwki po obróbce cieplnej w piecu komorowym, b) odkuwki po obróbce w piecu taśmowym

Rodzaj obróbki cieplnej	Strona odkuwki	Twardość HBW10	Rozrzut twardości [%]
W piecu taśmowym	Zewnętrzna A	253,5	3,7%
	Wewnętrzna B	244	
W piecu komorowym	Zewnętrzna A	252	8,7%
	Wewnętrzna B	230	

4. Podsumowanie i wnioski

Podsumowanie wyników w postaci tabelarycznej przedstawiono w Tablica 2.

Tablica 2 Porównanie przeprowadzonych wariantów obróbki cieplnej

Obróbka w piecu komorowym	Obróbka w piecu taśmowym
bez osłony azotu	w osłonie azotu
mikrostruktura sorbityczna z wydzieleniami ferrytu, perlitu i martenzytu	mikrostruktura sorbitu odpuszczenia
odwęglenie na granicy akceptowalności - 0,15-0,18mm	nie zaobserwowano odwęglenia
niejednolita twardość w przekroju odkuwki-występują różnicew zakresie8,7% wartości)	twardość odkuwek niemal jednolita w całym przekroju odkuwki (różnice w zakresie3,7%)

Analizowany proces obróbki cieplnej – ulepszanie cieplne elementów typu rozwidlonego może być prowadzony w każdej z przedstawionych technologii, ponieważ błędy mieszczą się w granicach akceptowanych przez odbiorcę.Jednak obróbka w piecach taśmowych przynosi wymierne korzyści w postaci znacznie wyższej jakości odkuwek. W szczególności wykazano, że obecność atmosfery gazu obojętnego typu azot umożliwia niemal całkowitą redukcję efektu odwęglenia warstwy wierzchniej podczas obróbki cieplnej. Zaobserwowano także wyraźnie mniejszy rozrzut twardości wewnątrz materiału odkuwki, co świadczy o uzyskaniu bardziej jednorodnych właściwości mechanicznych.Proces realizowany w piecu taśmowym wykazywał większą stabilność i powtarzalność obróbki, ponieważ zabiegi hartowania i odpuszczania były realizowane jednostkowo dla każdej odkuwki, co wyeliminowało efekt zbiorowości oraz różnice spowodowane ułożeniem wewnątrz pieca.Mikrostruktura wewnątrz odkuwki zależy od ścisłego przestrzegania wyznaczonych temperatur, co jest utrudnione w przypadku dużych partii w piecu komorowym. Dlatego też w piecu komorowym dochodzi do lokalnego zbyt powolnego chłodzenia odkuwek podczas

hartowania, co skutkuje niezupełnie przeprowadzoną przemianą martenzytyczną i negatywnie rzutuje na późniejsze właściwości odkuwek.Piece taśmowe (lub przepychowe) umożliwiają dokładniejszą kontrolę procesów obróbki cieplnej i dlatego są bardziej skuteczne w prowadzeniu obróbki cieplnej odkuwek typu rozwidlonego.

Badania zostały sfinansowane przez Kuźnię Jawor S. A. oraz Narodowe Centrum Badań i Rozwoju wramach projektu nr. POIG.01.04.00-02-056/13.

5. Literatura

Adamaszek K., Broz P. 2001. Decarburization and hardness changes in carbon steels caused by high temperature surface oxidation in ambient air. Diffus Defect Data: Defect Diffus Forum, 194: 1701-1706.

Ariel A., Mukherjee A. 1979. Decarburization and fatigue. Enigma Eighties: Environ Econ Energy, 1: 103-111.

Gronostajski Z., Hawryluk M., Jakubik J., Kubiciel S., Nowak B., Zwierzchowski M. 2016. Zastosowanie symulacji numerycznej do określenia przyczyn powstawania wad na przykładzie wybranych odkuwek matrycowych. Hutnik-WiadomościHutnicze83 (3): 96-104.

Gildersleeve M. 1991. Relationship between decarburization and fatigue strength of through hardened and carburizing steels. Mater SciTechnol, 7: 307-310.

Maropoulos S., Ridley N., Karagiannis S. 2004. Structural variations in heat treated low alloy steel forgings. Materials Science and Engineering: A, 380 (1-2): 79-92.

McKelvey S.A., Fatemi A. 2012. Surface finish effect on fatigue behavior of forged steel. International Journal of Fatigue 36 (1): 130-145.

Mohanty O. N. 2017. Forging Grade Steels for Automotives, Automotive Steels, 413-453.

Verhoeven d. J. 1990. Analysis of decarburization of hypereutectoid Fe_2C alloys and its application in evaluating the processing steps used to make Damascus steel swords.Materials Characterization 25 (2): 221-239.

Sighn R. 2012. Heat Treatment of Steels. Applied Welding Engineering, 95-108.

Free chlorine demand in swimming pool footbaths

Emilia Stańkowska [(1)], Agnieszka Włodyka-Bergier [(1)], Dominika Gajewska [(1)]

[1] Akademia Górniczo - Hutnicza w Krakowie
Emilia Stańkowska: stankowska@agh.edu.pl

Summary
Footbaths are a barrier to protection against excessive inflow of pathogens carried on the feet to the swimming pool. Therefore, in the documents regulating their functioning, standards of free chlorine concentration have been established. During the experiment the water samples taken from the footbath at the AGH swimming pool were examined. The analyzed research object has no other water treatment installation. In water samples the concentration of total, free, combined chlorine was measured. Measurements were done immediately after the water in footbath was exchanged, in a 10-minute interval, until the free chlorine concentration was under the detection limit (<0.5 mg/l). Additionally the water samples were taken for microbiological analysis, in a 20-minute interval. Obtained results showed that keeping free chlorine on required level in water from analyzed footbath is a large problem. The results revealed high decay rate of free chlorine and high levels of microbial contamination. Due to too low residual free chlorine concentration the analyzed object did not fulfill its task to disinfect after just 20 minutes. Results suggest the necessity of water quality control in footbaths with their constant supervision.

Słowa kluczowe: brodziki do płukania stóp, dezynfekcja, kryte pływalnie, zanieczyszczenia mikrobiologiczne

Szybkość zaniku chloru wolnego w brodzikach do płukania stóp

Streszczenie
Brodziki do mycia stóp stanowią barierę ochroną przed nadmiernym napływem patogenów, wnoszonych na stopach do obiektów pływalni. W związku z tym, w dokumentach regulujących ich funkcjonowanie, zostały ustalone normy stężenia chloru wolnego, pełniącego rolę dezynfektanta. W eksperymencie zbadano wodę pobraną z brodzika do mycia stóp, znajdującego się na terenie basenu AGH. Analizowany przedmiot badań nie posiada dodatkowej instalacji uzdatniania wody. W pobranych próbkach wody mierzono stężenie chloru ogólnego, wolnego, związanego. Pomiary chloru wykonywano zaraz po wymianie wody w brodziku, w interwale 10-minutowym, aż do uzyskania stężenia chloru wolnego poniżej granicy oznaczalności (<0,05 mg/l). Dodatkowo podczas pomiarów, co 20 minut pobierano próbki wody do oznaczeń mikrobiologicznych. Wyniki badań pokazały wysoką szybkość zaniku pozostałego chloru wolnego oraz wysoki stopień zanieczyszczenia mikrobiologicznego. Wykazano, że ze względu na zbyt niskie stężenie pozostałego chloru wolnego, badany obiekt nie spełniał swojej roli dezynfekcyjnej już po 20 minucie. Wyniki badań sugerują potrzebę kontroli jakości wody w brodzikach do płukania stóp oraz objęcia ich stałym nadzorem.

Key words: footbaths, disinfection, indoor swimming pools, microbial contamination

1. Introduction

The number of indoor swimming pools in Poland is increasing every year. It is a positive phenomenon, which favors the physical activity popularization. According to the research, made by GUS in 2016, one of the most widespread recreational sport activities was swimming (GUS 2016). Many researchers proved good impact on health caused by swimming (Lehman et al. 2003; Naal et el. 2007; Łubkowska 2015). However, to ensure benefits of such activity, appropriate sanitary conditions must be fulfilled. Every day, hundreds of people, in a variety of great and different health conditions, go to the swimming pool. People can introduce a lot of contamination to water. These pollutants can be suspended and colloidal compounds, microorganisms, as well as soluble substances (Powick 1989).

Some of them may be dangerous for other users (Keuten et al. 2012; Nanbakhsh et al. 2014).

It is generally accepted that there must be some barrier between outdoor dirt and the pool in order to minimize the transfer of pollutants into the pool. Footbaths are one of the methods to maintain high quality of water and cleanness of the area around the pool. The main task of these objects is to protect from excessive pollution inflow. Especially microbiological pollutants, which are brought on feet. Adequate inactivation of potentially pathogenic organisms can be attained by keeping the free chlorine at an appropriate level. According to the Ordinance of Minister of Health, from the 9th of November 2015, concerning the requirements of water in swimming pools, the free chlorine concentration should be maintained at level 1-2 mg/dm^3. It slightly differs from the requirements of World Health Organization (WHO 2016), where this concentration level should vary from 0.7-1.5 mg/dm^3.

Footbaths occasionally have special pumps to supply automatically disinfecting agents directly to the water. Unfortunately in practice usually they are built without such additional technological devices. They are filled only with treated pool water, exchanged several times a day. This solution may be found ineffective because chlorine as a volatile compound evaporates after some time. This causes the lack of disinfection agents in water, so it not only cannot neutralize the microorganisms but also favors the pathogen organisms growth in water. For this reason, footbath must be under permanent supervision, especially by means of disinfection agents concentration level control.

Footbaths are difficult in everyday use. The main reason is the lack of a clear and unambiguous explicit guiding principles relative to their design, construction and exploitation. Therefore, the water quality inside footbaths is not supervised, so it could not fulfill their tasks efficiently. Additionally, the closed water cycle favors the pathogen organisms growth. For those reasons many people often avoid to contact with this objects. So the question arises: is it the element of swimming pool that protects from contaminants, or maybe the opposite?

The task of this research was to analyze the total, free and combined chlorine concentration at the selected footbath. Furthermore, the total number of mesophilic bacteria was estimated. Based on the results, the decay rate of free chlorine was established, as well as the total time and level of disinfection ability of the object under study.

2. Materials and methods

The research object was footbath, which is located at the AGH swimming pool. It is filled with treated pool water from the sports pool. The water is exchanged every 2 hours. Water outflow from paddling pool is carried out with special valve directly to the sewage

system. The analyzed research object has no other water treatment installation. Analyses of total and free chlorine were performed on-site. Combined chlorine was estimated as a difference between total chlorine and free chlorine. Analysis were conducted using VISOCOLOR® ECO test, with PF-12 photometer. Measurements were taken immediately after the water in footbath was exchanged, in a 10-minute interval, until the free chlorine concentration was under the limit of estimation (<0.5 mg/l). Additional the water samples were taken for microbiological analysis, in a 20-minute interval. Water samples for microbiological analyzes were taken into sterile bottles. Determination of the total number of mesophilic bacteria was made by plate dilution method with agar yeast extract, incubating at 36°C for 48±4h, according to the standard PN-EN ISO 6222:1999.

3. Results and discussion

The main hazard for swimming pool users are microorganisms (WHO 2006). They can cause various types of diseases. Research reports show that in swimming pools, there is a possibility of direct or indirect transmission of infections from one swimmer to another by eye, ear, upper airway or skin contact (Jafari et al. 2015). Studies conducted in Cracow about microbiological purity of flat surfaces around swimming pool showed a high degree a total number of microbes, staphylococcus and fungi contaminants (Stańkowska, Bergier 2017). That is why there is a need for research into ways to reduce pollution.

The footbaths constitute of protective barrier that prevents from the overflow of pathogens, so the concentration of the disinfectant should be at the appropriate level. Proper dosing of chlorine compounds is necessary regardless of the disinfection method used (Sobiech 2017). The main goal of water disinfection is to annihilate living and spore pathogen organisms and to prevents from the secondary pollution of water (Nawrocki et al. 2000). Suitable disinfection agent should have high bactericidal and viricidal capability, so chlorine is a good example of this one.

The results of total chlorine concentration of the analyzed samples from researched object are shown in Table 1.

By measuring only the total chlorine concentration, the disinfection potential is not sufficiently determined. That is why in 2015 the ordinance of Minister of Heath was implemented, concerning requirements of swimming pool water (Polish Journal of Laws, pos. 2016). In this document the chlorine was divided into free and combined chlorine. The sum of them makes a total chlorine concentration. On the basis of the results the combined chlorine content was calculated.

Table 1. The results of total chlorine concentration from water of footbath

Measuring day	1	2	3	4	5
Time [min]	Concentration of total chlorine [mg/dm^3]				
0	1,12	1,86	1,73	1,84	1,86
10	0,93	1,63	1,49	1,26	1,66
20	0,88	1,35	1,23	1,16	1,44
30	0,83	1,39	1,09	1,00	1,36
40	0,81	1,06	1,03	0,84	1,12
50	0,76	1,04	0,98	0,79	0,93
60	0,72	0,98	0,92	0,79	0,85
70	0,67	0,93	0,90	0,74	0,75
80	0,66	0,86	0,75	-	-
90	0,65	0,83	-	-	-
100	0,58	-	-	-	-
110	-	-	-	-	-

One of the most important indicators of the quality of swimming pool water is free chlorine. It prevents water from the secondary pollution of water. Based on the results of free chlorine measurements (Table 2), it was found that it was a big problem to keep it at the required level. The lowest initial value was on the first measurement day (0.57 mg/dm^3). During other days it varied from 1.02 – 1.29 mg/dm^3. The measurement days: 1, 2 and 4, after 10 minutes the free chlorine was below 1 mg/dm^3. After 20 minutes the concentration was lower or close to the required values of swimming pool water quality normalized both in Ordinance of the Minister of Health, from 9th of November 2015, and Guidelines of WHO. 40 minutes after the start of the test period its concentration was not maintained in appropriate range in any of the samples. Free chlorine was below the detection limit (<0.05 mg/dm^3), after 90 minutes of each days. WHO suggests to exchange water in footbaths every hour. Based on the obtained results it was found that it is not enough. To ensure disinfecting effect, the water should be exchanged every 20 minutes.

Combined chlorine content corresponds to the concentration of chloramines in pool (Łaskawiec et al. 2016). Those substances consist of inorganic compounds, known as disinfection by-products (DBPs). Chloramines is formed as a result of reactions with compounds containing ammonia (NH_3), ammonium ion (NH_4^+) or nitrogen organic compounds (Wolfe et al. 1984), which are not neutral for health. They are responsible for the perception of characteristic chlorine odor, which may have irritating properties. In fact, a lot of research shows that they can cause skin allergic reactions, they are irritation of eyes, mucous membranes or respiratory system (Li et al. 2007; Parrat et al. 2012). There is

currently a lack of legal standardization relating to combined chlorine concentration in footbaths.

Table 2. The results of free chlorine concentration from water of footbath

Measuring day	1	2	3	4	5
Time [min]	Concentration of total chlorine [mg/dm^3]				
0	0,57	1,02	1,08	1,18	1,29
10	0,30	1,16	0,67	0,72	1,13
20	0,29	0,72	0,47	0,71	0,83
30	0,22	0,80	0,41	0,45	0,6
40	0,22	0,35	0,35	0,23	0,43
50	0,22	0,29	0,30	0,20	0,26
60	0,21	0,09	0,25	0,16	0,12
70	0,16	<0,05	0,20	0,18	<0,05
80	0,16	0,12	<0,05	<0,05	<0,05
90	0,10	<0,05	-	-	-
100	0,08	-	-	-	-
110	<0,05	-	-	-	-

According to current ordinance, regarding water quality in swimming pool (MZ 2015), the concentration of combined chlorine should not exceed 0.3 mg/dm^3. This value is safe for health. The changes of combined chlorine content during testing are shown in Table 3. The combined chlorine after the water exchange, in each measurement days were above the reference value. The lowest initial value was noticed on the second day measuring day (0.36 mg/dm^3), and the highest on the fourth. Combined chlorine concentration had a slightly various values (in range 0.36 – 0.89 mg/dm^3).

Table 3. The results of combined chlorine concentration from water of footbath

Measuring day	1	2	3	4	5
Time [min]	Concentration of total chlorine [mg/dm^3]				
0	0,55	0,84	0,65	0,66	0,36
10	0,63	0,47	0,82	0,54	0,73
20	0,59	0,63	0,76	0,45	0,83
30	0,61	0,59	0,68	0,55	0,84
40	0,59	0,71	0,68	0,61	0,93
50	0,54	0,75	0,68	0,59	0,86
60	0,51	0,89	0,67	0,63	0,81
70	0,51	0,89	0,70	0,56	0,80
80	0,50	0,74	0,70	-	-
90	0,55	0,50	-	-	-
100	0,50	-	-	-	-
110	0,58	-	-	-	-

Trend percentage change of free chlorine to combined form, the results were shown on the chart (Figure 1).

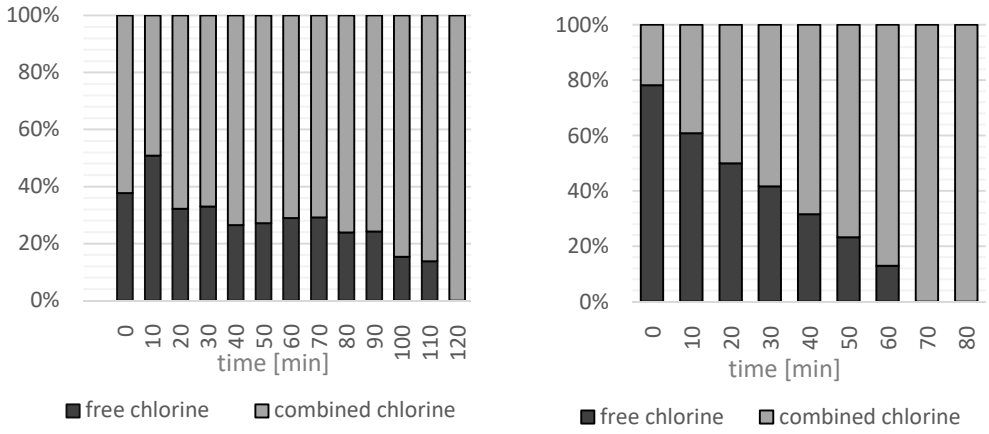


Fig. 1. Percentage of free and combined chlorine in the total chlorine content in tested footbath - A-Measure day 1, B-Measure day 5

The percentage of chlorine is shown on the example of 2 selected measurement days. The initial content of free chlorine in total chlorine was different. On the first measurement day it was about 40% and in 5 day almost 80%. The percentage of free chlorine was decreasing over time. It resulted in the increase of combined chlorine concentration in the basin, so that its disinfection role decreased. A Large problem during swimming pool objects exploitation is to counteract the health hazards related to microbial contamination. Based on the published literature even 10^3 to $3 \cdot 10^9$ of bacteria can be transferred from human body to swimming pool water (Krogulska 1999). However, thorough washing in the shower the number of pathogens can be significantly reduced (Keuten et al. 2012). It should be mentioned, that even the most considered solutions could not prevent from the bad behavior of the swimming pool users. Footbaths are additional element supporting the reduction of pathogenic microorganisms from the body. For this reason the total number of mesophilic bacteria was measured during the study. According to current ordination (MZ 2015), the maximum value is 100 CFU (colony-forming unit). Everything above this number means that the water in the pool basin is polluted and creating a potential health risk. These value do not directly refers to footbaths, but generally to swimming pool water. However, the comparison of obtained results with permissible levels could be the basic parameter to estimate the degree of contamination. Microbiological analysis are shown in Figure 2.

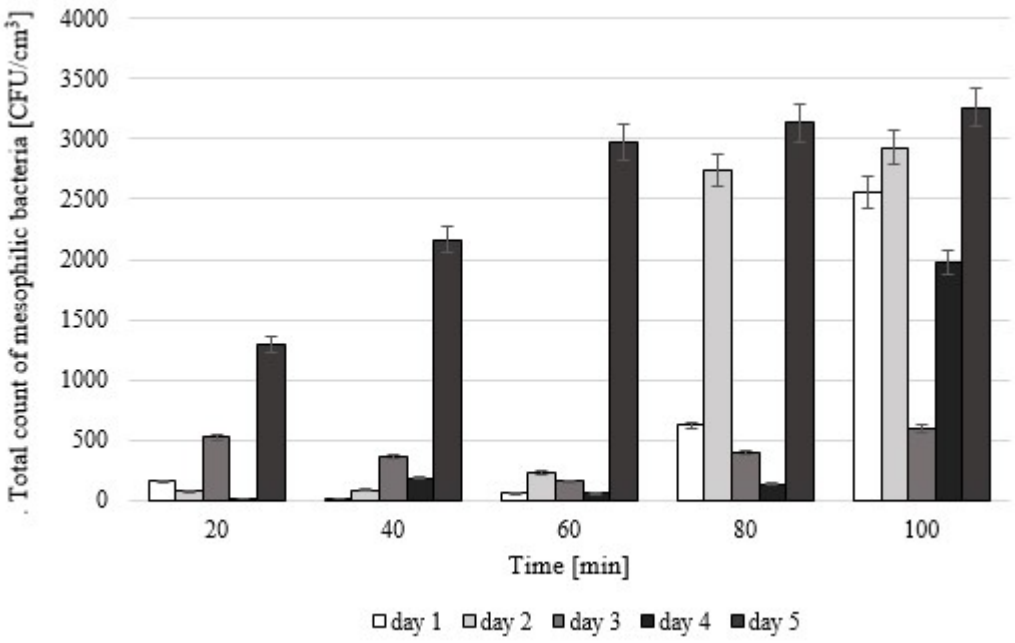


Fig. 2. Total count of mesophilic bacteria from water of footbath

In each case the lowest total number of bacteria were observed after water exchange. The value below 100 CFU were only noticed on day 2. On 5 measurement day the total number of bacteria was 13-times larger than in the ordinance. After one hour a high microorganism pollution rate was observed of each day. The total number of mesophilic bacteria varied from 60 to 2972 CFU/cm^3. The number of pathogenic organisms has increased over time. After 1.5 hours, these values increased 600 to 3263 CFU/cm^3. It can be supposed that thanks to that bacteria left in the footbath, so that they were not transferred to the swimming pool. On the other hand, passing through such polluted water, one can have doubts whether this is help in obtaining better sanitary and hygienic conditions. Comparing values obtained during microbiological analyzes with the free chlorine content, it was found that in the analyzed case the disinfecting agent concentration was insufficient.

4. Conclusions

Maintaining the high quality of swimming pool water is a pretty hard process and many factors have influence on it. To ensure the highest possible health safety and comfort of swimming pool users, a comprehensive approach should be taken. Footbaths could be helpful element in maintaining appropriate sanitary conditions process. To assure the efficiency of such solution, disinfecting agent concentration and pollution level should be monitored. Lack of clear guidelines and ordinances that oblige swimming pool management to control water quality in basins does not simplify their exploitation. Obtained results showed that keeping free chlorine on required level in water from analyzed footbath is a large problem. Moreover,

high level of microbiological contaminants was observed. Due to too low residual free chlorine concentration, the analyzed object did not fulfill its task to disinfect after just 20 minutes. The results suggest that there is necessary to control the water quality in these objects. The research presented in this work is an introduction to broader research in this field. In order to get to know this issue better, it would be necessary to extend the analysis with other water quality parameters, especially parameters determining the pollution load.

5. Bibliography

Jafari Mansoorian, H., Zarei, S., Khanjani, N. 2015. Survey of bacterial contamination of environment of swimming pools in Yazd city, in 2013. Environmental Health Engineering and Management Journal, 2(3), 123-128.

Keuten, M. G. A., Schets, F. M., Schijven, J. F., Verberk, J. Q. J. C., Van Dijk, J. C. 2012. Definition and quantification of initial anthropogenic pollutant release in swimming pools. Water research, 46(11), 3682-3692.

Krogulska B., 1999. Zagrożenia zdrowotne związane z zanieczyszczeniem mikrobiologicznym wody w basenach kąpielowych, materiały seminaryjne „Pływalnie kryte. Kierunki rozwoju. Problematyka projektowania i eksploatacji", Gdańska Fundacja Wody, Gdańsk

Łaskawiec, E., Kudlek, M., Dudziak, M., Wyczarska-Kokot, J. 2016. Zastosowanie biotestów we wstępnej ocenie jakości wody basenu szkolnego. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, (9), 330-334.

Lehmann, D., Tennant, M. T., Silva, D. T., McAullay, D., Lannigan, F., Coates, H., Stanley, F. J., 2003. Benefits of swimming pools in two remote Aboriginal communities in Western Australia: intervention study. Bmj, 327(7412), 415-419.

Li J., Blatchley E. R., 2007. Volatile disinfection byproduct formation resulting from chlorination of organic− nitrogen precursors in swimming pools. Environmental Science and Technology 41(19), 6732–6739.

Łubkowska W., 2015. The Concept of Treatment of Scolioses Employing Asymmetrical Aquatic Exercises, Central European Journal of Sport Sciences and Medicine, 9 (1), s. 1–10.

MZ, 2015. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 9 listopada 2015 r. w sprawie wymagań, jakim powinna odpowiadać woda na pływalniach (Dz. U. z 2015 r., poz. 2016).

Naal F.D., Fischer M.F., Preuss A.F., Golhahn J.F., Knoch F.F., Preiss S., Munzinger U., Drobny T. 2007. Return to sports and recreational activity after unicompartmental knee arthroplasty, American Journal of Sports Medicine, 35(10), s. 1688-1695.

Nanbakhsh, H., DIDA, K., Hazarti, K. 2004. Study of fungal contamination of indoor public swimming pools.

Nawrocki J., Biłzor S., praca zbiorowa, 2000. Uzdatnianie wody. Procesy chemiczne i biologiczne, Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa-Poznań

Parrat J., Donze G., Iseli C., Perret D., 2012. Assessment of occupational and public exposure to trichloramine in Swiss indoor swimming pools: a proposal for an occupational exposure limit. Ann Occup Hyg 56, 264–77.

Regli, S., Berger, P., Macler, B., Haas, C. 1993. Proposed decision tree for management of risks in drinking water: consideration for health and socioeconomic factors. Safety of Drinking Water: Balancing Chemical and Microbial Risks, 39-80.

Powick, D. E. J., 1989. Swimming pools–brief outline of water treatment and management. Water Science and Technology, 21(2), 151-160.

Stańkowska E., Włodyka-Bergier A., 2017. Prace porządkowe a czystość mikrobiologiczna powierzchni płaskich wokół niecki basenowej. Gaz, Woda i Technika Sanitarna ; ISSN 0016-5352. 10, s. 412–415.

Sobiech W., 2017. Porównanie wymagań i sposobów dezynfekcji wody przeznaczonej do spożycia oraz wody basenowej. Dezynfekcja Wody. Zagrożenia- Wyzwania – Nowe Technologie. Wydawnictwo AGH, 63-78.

Uczestnictwo Polaków w sporcie i rekreacji ruchowej w 2008 r., Informacje i opracowania statystyczne, Główny Urząd Statystyczny,

Warszawa 2009.

Wolfe, R. L., Ward, N. R., Olson, B. H. 1984. Inorganic chloramines as drinking water disinfectants: a review. Journal-American Water Works Association, 76(5), 74-88.

WHO, 2006. Chemical hazards. Guidelines for Safe Recreational-water Environments, Vol. 2, Swimming Pools, Spas and Similar Recreational-water Environment, Final Draft for Consultation. World Health Organization, Geneva, 4-28.

Soczewki kontaktowe – oddziaływanie z gałką oczną

Sylwia Stiler [(1)], Sylwia Golba [(1)]

[1] Zakład Biomateriałów, Instytut Nauki o Materiałach, Wydział Informatyki i Nauki o Materiałach, Uniwersytet Śląski w Katowicach
Sylwia Stiler: stiler.sylwia@wp.pl

Streszczenie
Soczewki kontaktowe są prostym sposobem korekcji większości anomalii optycznych występujących współcześnie u ludzi to, dlatego zyskały w ostatnich latach niezwykłą popularność. Ważnymi parametrami, jakie można wyszczególnić, analizując materiały hydrożelowe wchodzące w skład soczewek kontaktowych, są, tlenoprzepuszczalność oraz przebieg dehydratacji materiału. Tlenoprzepuszczalność jest to parametr wpływający na odpowiednie dotlenienie rogówki oka, jest on niezmiernie ważny, ponieważ niezapewnienie odpowiedniego dopływu tlenu może powodować obrzęki rogówki i inne powikłania w jej obrębie. Drugi z parametrów, czyli dehydratacja wpływa na uczucie suchości w gałce ocznej pacjenta, czyli tak zwany zespół suchego oka. Wyzwaniem dla badaczy jest wytworzenie materiału, zapewniającego komfort pacjenta poprzez dotlenienie i nawodnienie gałki ocznej, jak i odpowiednie właściwości mechaniczne i optyczne.

Słowa kluczowe: soczewki kontaktowe, gałka oczna, rogówka, tlenoprzepuszczalność, dehydratacja

Contact lenses - interaction with the eyeball

Summary
Contact lenses are a simple way to correct most optical anomalies occurring today in people, which is why they have gained enormous popularity in recent years. Important parameters that can be specified by analyzing the hydrogel materials included in the contact lens are oxygen permeability and material dehydration. Oxygen permeability is a parameter affecting the proper oxygenation of the cornea, it is extremely important because failure to provide adequate oxygen supply may cause corneal edema and other complications within it. The second parameter - dehydration - affects the feeling of dryness in the eye's eyeball, i.e. the so-called dry eye syndrome. The challenge for researchers is to create material that ensures patient comfort through oxygenation and hydration of the eyeball, as well as the appropriate mechanical and optical properties.

Keywords: contact lenses, eyeball, cornea, oxygen permeability, dehydration

1. Wstęp

Dzięki postępującemu rozwojowi technologii wytwarzania oraz badania soczewek kontaktowych, a także rosnącej wiedzy na temat ludzkiej gałki ocznej możliwe jest wytwarzanie coraz bardziej dopasowanych do pacjenta, spersonalizowanych soczewek kontaktowych. Umożliwia to także uzyskanie coraz lepszych parametrów mechanicznych oraz fizycznych soczewek. Soczewki jednodniowe uznawane są za najbardziej bezpieczne dla oka ludzkiego. Dzieje się tak dzięki braku konieczności regularnego czyszczenia materiału, nie powodują one częstych alergii, a także dają możliwość okazjonalnego ich użytkowania. Dzięki temu zyskują one coraz więcej użytkowników, zadowolonych z ich stosowania.Niezmiernie ważnym problemem wśród użytkowników soczewek jest uczucie dyskomfortu i suchości w gałce ocznej, które może być objawem Zespołu Suchego Oka. (Kunzler 2005, Nicholson and Vogt 2001, Tranoudis Efron 2004)

2. Właściwości fizyczne oraz mechaniczne soczewek kontaktowych

Soczewki kontaktowe w stanie suchym są twarde oraz nietransparentne. Kiedy są odpowiednio uwodnione stają się miękkie oraz przeźroczyste. To właśnie, dlatego odpowiednia zawartość wody ma tak duże znaczenie (Ramamoorthy 2010). Jednakże wraz ze wzrostem zawartości wody maleje odporność materiałów soczewkowych na rozciąganie. Co ważne z punktu widzenia pacjentów, niska odporność mechaniczna zapewnia z kolei wysoki komfort i łatwe dopasowanie do rogówki oka (French 2005).

Niezmiernie istotne są także właściwości powierzchniowe materiału soczewkowego Powierzchnia soczewki ma kontakt bezpośredni z tkankami oka i filmem łzowym. Im większa jest gładkość powierzchni, tym lepszą, jakość widzenia można zapewnić użytkownikowi. Zjawisko to wynika z ograniczonego rozpraszania światła na powierzchniach optycznych, a także mniejszego tarcia podczas mrugania (Santos i in. 2007).

Kolejnym parametrem mającym znaczący wpływ na komfort pacjenta jest zwilżalność powierzchni materiału. Zdefiniować ją można, jako adhezję cieczy do powierzchni ciała stałego. W przypadku soczewek kontaktowych można to zaobserwować, jako tworzenie się ciągłego filmu wokół soczewki, będącej ciałem stałym. Dzięki odpowiedniej zwilżalności możliwe jest zapewnienie odpowiedniego komfortu widzenia, a także zapobieganie osadzaniu się białek i innych zanieczyszczeń na powierzchni materiału soczewek.Osadzanie się zanieczyszczeń pochodzenia organicznego na powierzchni soczewki nazywane jest efektem Vroman'a. Prowadzi to do pogorszenia, jakości widzenia pacjenta, komfortu użytkowania soczewek a w konsekwencji także do częstszych powikłań, takich jak odczyny alergiczne (Guan i in. 2001).

Niezmiernie ważny jest także transport jonów przez soczewkę. Powala on na utrzymanie odpowiedniej ruchomości soczewki na oku, a także na właściwą wymianę wody, elektrolitów i substancji odżywczych. Jako odrębną kwestię można uznać transport tlenu. Rogówka oka pozbawiona jest naczyń krwionośnych, przez co jest zaopatrywana w tlen bezpośrednio z atmosfery. To, dlatego nieodpowiednio dobrana soczewka kontaktowa może stanowić barierę dla swobodnego dostępu tlenu do togówki, przez co może zaburzać jej metabolizm (Krysztofiak i in. 2014). Tlenoprzepuszczalność określa ilość tlenu, jaki przepływa przez jednostkę powierzchni materiału w jednostce czasu, z zachowaniem odpowiedniej określonej różnicy ciśnień. Biorąc pod uwagę soczewki hydrożelowe przepuszczalność tlenu wzrasta liniowo, wraz ze wzrostem uwodnienia materiału (Marvitt and Bonanno 1999).

3. Dehydratacja soczewek kontaktowych

Dehydratacja, będąca odwodnieniem hydrożeli jest procesem, w trakcie, którego na skutek zmian środowiska dochodzi do zmniejszenia równowagowej zawartości wody materiału. W przypadku soczewek kontaktowych dehydratacja rozpoczyna się w momencie umieszczenia soczewki na gałce ocznej i trwa do momentu osiągnięcia przez materiał równowagi z otoczeniem. Przebieg procesu dehydratacji uzależniony jest od warunków środowiskowych, przez co może być mniej lub bardziej nasilony. Utrata wody następuje przede wszystkim poprzez parowanie z przedniej powierzchni materiału soczewki. Prawdopodobnie nieznaczna ilość wody opuszcza materiał także wraz ze łzami (Tranoudis Efron 2004). Największe problemy wynikające z dehydratacji soczewek występuje w przypadku wysokich mocy plusowych soczewek. Wskutek utraty wody w trakcie użytkowania soczewek dochodzi do zmniejszenia promienia krzywizny soczewki, a także jej średnicy, dodatkowo zmienia się współczynnik załamania światła soczewki, przez co zmianie ulega także jej moc (Mathers 2004). Można wyróżnić trzy grupy czynników, jakie mają wpływ na zwiększenie dehydratacji soczewek kontaktowych, są to: związane z materiałem, związane ze środowiskiem, a także związane z pacjentem. (Jones i in. 2002)

4. Film łzowy – konsekwencje dehydratacji

Film łzowy w warunkach prawidłowych jest rozprowadzany na przedniej powierzchni gałki ocznej dzięki mruganiu. To ruch powiek pozwala na wymianę przemywającej oko cieczy łzowej, co pozwala na usunięcie wszelkich zanieczyszczeń, ciał obcych czy też mikroorganizmów. Łzy charakteryzują się dużą lepkością pomiędzy mruganiem, natomiast w jego trakcie lepkość maleje, co pozwala na gładkie przesuwanie się powiek po powierzchni oka. (Jones i in. 2002)

Dla zachowania zdrowia gałki ocznej niezbędne jest zachowanie pełnego mrugnięcia, co oznacza zetknięcie się górnej i dolnej powieki. Jeśli u pacjenta występuje niedomykalność powiek może prowadzić ona do ubytków w rogówce, które powodują nie tylko dyskomfort, ale stanowią także otwarte drzwi dla wszelkich wirusów oraz bakterii (Gonzalez-Meijome i in. 2007)

Ważną funkcją płynu łzowego jest nawilżanie przedniej powierzchni gałki ocznej, a także dostarczanie tlenu do rogówki, która jest pozbawiona naczyń krwionośnych. Film łzowy posiada trójwarstwową strukturę, jednak poszczególne warstwy przenikają się nawzajem. (Mirejovsky i in. 1991)

Pierwszą z warstw jest warstwa mucynowa, która nazywana jest także warstwą śluzową. Jest ona niezbędna dla utrzymania stabilności struktury filmu łzowego. To dzięki

niej hydrofobowa powierzchnia rogówki i spojówki nabiera właściwości hydrofilowych (Gonzalez-Meijome i in. 2006).

Kolejną z warstw jest warstwa wodna, która jest najgrubsza (stanowi 90% grubości filmu łzowego). Jest ona rozcieńczonym roztworem elektrolitów, a także substancji organicznych, z których najważniejszą grupę stanowią białka i enzymy (Murube 2006).

Ostatnią z warstw jest warstwa tłuszczowa, która pełni bardzo ważną rolę w zwiększaniu efektu zwilżania podczas mrugnięć, a także zapobiega nadmiernemu parowaniu łez z powierzchni oka. Dzięki niej łzy nie wylewają się poza worek spojówkowy (Sariri i Gnofoori 2008).

5. Oddziaływanie soczewek kontaktowych z filmem łzowym

Niezywkle ważnym dla naukowców, jeśli nie najważniejszym parametrem przy tworzeniu nowych biomateriałów, ale także ulepszaniu już istniejących jest zagadnienie biokompatybilności materiału. Biorąc pod uwagę soczewki kontaktowe nie zachowanie kryterium biokompatybilnośći może prowadzić do zwiększonej absorpcji składników filmu łzowego. Efektem tego mogą być choroby gałki ocznej, takie jak zapalenie spojówek oraz ostra infekcja gałki ocznej. Co ważne, nieodpowiednie dopasowanie soczewek kontaktowych może zmieniać aktywność i stabilność białek obecnych w filmie łzowym (Johnson i Myrphy 2004)

Wśród miękkich soczewek kontaktowych można wyróżnić soczewki hydrożelowe oraz silikonowo-hydrożelowe. W zależności od materiału, z którego są wykonane soczewki absorbują rozbieżne ilości lipidów i białek, co prowadzi w konsekwencji do ich zanieczyszczenia. Stan zapalny, jaki może wystąpić w gałce ocznej wsutek noszenia soczewek może wynikać nie tylko z absorpcji do ich powierzchni zanieczyszczeń pochodzenia organicznego, ale także płynów do ich pielęgnacji (McDermott2013). Z prac naukowców wynika, iż soczewki hydrożelowe mają zdolność przede wszystkim do przyciągania białek, w soczewkach silikonowo-hydrożelowych maleje ilość przyciąganych białek, natomiast wzrasta ilość absorbowanych do powierzchni lipidów (Holden i in. 2006). Można więc stwierdzić, iż użytkowanie soczewek kontaktowych prowadzi do zwiększonego parowania filmu łzowego z powierzchni gałki ocznej. Konsekwencją tego może być pogorszone widzenie. Nasilona dehydratacja, wynikająca z ekspozycji soczewek na powietrze może być czynikiem mającym wpływ na zwiększone zanieczyszczenie soczewek, a co za tym idzie, podrażnień w obrębie przedniej powierzchni gałki ocznej (Brennan i in. 2002)

6. Soczewki kontaktowe a Zespół Suchego Oka

Analizując definicję Zespołu Suchego Oka (to wieloczynnikowa choroba, która związana jest z filmem łzowym oraz przednią powierzchnią oka. Objawia się dyskomfortem, zaburzeniami widzenia, a także niestabilnością filmu łzowego. Prowadzi do potencjalnych uszkodzeń oraz stanu zapalnego przedniej powierzchni gałki ocznej), można wywnioskować, iż choroba ta objawia się przede wszystkim odczuwanym przez pacjenta dyskomfortem. To właśnie objawy Zespołu Suchego Oka należą do najczęściej zgłaszanych przez użytkowników soczewek kontaktowych dolegliwości (Krysztofiak 2015).

Długotrwałe używanie soczewek kontaktowych może powodować nasilone parowanie łez oraz zmniejszyć ich naturalny przepływ. Porównując soczewki hydrożelowe oraz silikonowo-hydrożelowe, można stwierdzić, iż lepszym rozwiązaniem dla pacjentów są soczewki silikonowo-hydrożelowe, ponieważ charakteryzują się one mniejszą ilością wody, a także lepszą przepuszczalnością tlenu, co w porównaniu z soczewkami hydrożelowymi, charakteruzyjącymi się wysokim uwodnieniem materiału i szybką utratą wody, wypada korzystniej z punktu widzenia komfortu pacjenta (Covey i in. 2001).

Niezwykle ważne w przypadku użytkowników soczewek kontaktowych, u których występują objawy suchego oka jest ustalenie przyczyny ich stanu. W przypadku wystąpienia objawów suchości w gałce ocznej, związanych z wystąpieniem Zespołu Suchego Oka zalecane jest przeprowadzenie korekcji przy użyciu soczewek silikonowo-hydrożelowych, a także stosowanie preparatów nawilżających gałkę oczną, tzw. sztucznych łez (Thai LC i in. 2004)

7. Znaczenie zawartości wody i tlenoprzepuszczalności soczewki kontaktowej

Jak wspomniano w poprzednich rozdziałach soczewki kontaktowe można podzielić na soczewki hydrożelowe (Hy) oraz silikonowo-hydrożelowe (Sil-Hy). W ostatnich latach soczewki Hy zastępowane są coraz częściej przez soczewki Sil-Hy. Dzięki lepszym parametrom soczewki silikonowo-hydrożelowe w niższym stopniu zakłócają fizjologię rogówki, co jest bardzo korzystne z punktu widzenia ich użytkownika. Charakteryzują się one lepszą przepuszczalnością tlenu, co pozwala na unikanie powikłań oraz możliwość dłuższego nieprzerwanego czasu ich noszenia. Przepuszczalność materiału, z którego wykonana jest soczewka, jest, czym innym niż przepuszczalność gotowego produktu. W przypadku finalnej soczewki należy uwzględnić także jej grubość oraz kształt. Przepuszczalność tlenu charakteryzować można dwoma parametrami: przepuszczalność (Dk), a także przenikalność (Dk/t), gdzie t jest grubością soczewki. Parametr przepuszczalności wyznaczany jest na podstawie pomiarów oporności dla przepływu, opisuje on przepuszczalność materiału

soczewki bez uwzględniania jego grubości. Pozwala on na szacowanie, jaka będzie dostępność tlenu dla soczewek o różnej mocy, grubości oraz geometrii. Parametr dotyczący przenikalności mierzony jest dla soczewki, która umieszczona jest pomiędzy komorą pozbawioną powietrza a komorą zawierającą tlen. Parametr ten jest wynikiem pomiaru maksymalnej zdolności soczewki do dostarczania tlenu do oka przez zadany jej obszar. Podczas pomiaru jedynie powierzchnia przednia materiału jest w kontakcie z powietrzem. (Kunzler JF. 2005)

Ważnym parametrem charakteryzującym te układy jest równowagowa zawartość wody (EWC). Określa on stopień uwodnienia materiału, jest związany ze zdolnością materiału do wiązania wody w danych warunkach środowiskowych. Jest on niezwykle istotny z klinicznego punktu widzenia, ponieważ wpływa bezpośrednio na wiele użytkowych parametrów soczewki.

Stopień uwodnienia materiału definiowany jest poprzez następującą zależność:

$$EWC = \left(\frac{m_o - m_k}{m_o}\right) \cdot 100\% \qquad (1)$$

gdzie:

EWC – równowagowa zawartość wody,

mo - masa początkowa próbki (masa uwodnionego polimeru), [g]

mk - masa końcowa próbki (masa suchego polimeru), [g] (Brennan i Coles 2000)

Soczewki hydrożelowe oraz silikonowo-hydrożelowe znacznie różnią się między sobą. W soczewkach hydrożelowych za transport tlenu odpowiada zawarta w materiale woda, natomiast w silikonowo-hydrożelowych to fragmenty silikonowe transportują tlen. Woda jest integralną częścią tych materiałów, w stanie uwodnionym dochodzi do oddziaływania cząsteczek wody z łańcuchami polimeru. Efektem tych oddziaływań jest zmiana właściwości wody, między innymi nie ulega ona krystalizacji w temperaturze 0°C.

Biorąc pod uwagę właściwości termodynamiczne, wodę w hydrożelach można podzielić na dwie główne grupy: wodę związaną (podział na wodę silnie związaną oraz luźno związaną) oraz wodę niezwiązaną.

Woda silnie związana tworzy bezpośrednie wiązania wodorowe z grupami polarnymi bądź silnie oddziałuje z resztami jonowymi, jest tak silnie związana z polimerem, że nie ulega wrzeniu w temperaturze 100°C.

Woda luźno związana tworzy luźne wiązania wodorowe z polimerem, powoduje to jej zamarzanie w temperaturze poniżej 0°C.

Woda wolna nie reaguje z macierzą polimerową w związku z czym zachowuje właściwości czystej wody.

Woda w soczewkach jest bardzo istotna, a parametry takie jak: zawartość wody, stosunek wody wolnej do związanej oraz stopień dehydratacji, są one głównymi cechami, które wpływają na komfort noszenia, a także przepuszczalność tlenu (Andrasko i Ryen 2007; Luensmann i Jones 2008).

8. Podsumowanie

U pacjentów użytkujących soczewki kontaktowe niezwykle ważne jest ich prawidłowe dopasowanie do potrzeb użytkownika. Zarówno rodzaj soczewek (hydrożelowe czy silikonowo-hydrożelowe), jak i ich krzywizna pozwalają zapewnić pacjentom odpowiedną ostrość i komfort widzenia.

W przypadku wystąpienia jakichkolwiek dolegliwości pacjent powienien zgłosić się do specjalisty. Zaniechanie objawów może prowadzić do wielu poważnych powikłań. Również odpowiednia higiena zastosowana w przypadku materiałów kontaktologicznych ma duże znaczenie. Nieodpowiednie przechowywanie, przedłużone użytkowanie (ponad czas przeznaczenia materiału), mogą prowadzić do dyskomfortu i powikłań.

9. Literatura

Andrasko GJ, Ryen KA. 2007, A series of evaluations of MPS and silicone-hydrogel contact lens combinations. Review of Cornea & Contact Lenses; 3:36-42

Brennan NA, Coles ML C. 2000, Deposits and Symptomatology with Soft Contact Lens Wear. ICLC; 27:75-100

Brennan N.A. Chantal Coles M.L. Comstock T.L. Levy B. A 2002, 1-year prospective CLinical trial of Balafilcon A (PureVision) silicone-hydrogel contact lenses used on a 30-day continuous wear schedule. Opthalmol, strony 1172-1177.

Covey M. Sweeney D.F. Sankaridurg P.R. Holden B.A. 2001, Hypoxic effect on the anterior eye of high Dk soft lens wearers are negligible. Optometry&Vision Science, str. 95-99.

French K. 2005. Contact lens material properties. Part 1 - Wettability. Optician. 230(6022):20–8.

González-Méijome JM, López-Alemany, Almeida B, Parafita MA, Refojo MF. 2007. Qualitative and Quantitative Characterization of the In Vitro Dehydration Process of Hydrogel Contact Lenses. 512–26.

González-Méijome JM, Lira M, López-Alemany A, Almeida JB, Parafita M. Refojo MF. 2006, Refractiveindex and equilibrium water content of conventional and silicone hydrogel contact lenses. Ophtal Phisiol Opt; 26:57-64

Guan L, Gonzalez Jimenez ME, Walowski C, Boushehri A, Prausnitz JM, Radke CJ. 2011. Permeability and Partition Coefficient of Aqueous Sodium Chloride in Soft Contact Lenses. J Appl Pol Sci 122:1457-1471

Harvitt DM, Bonanno JA. 1999. Re-evaluation of the oxygen diffusion model for predicting minimum contact lens Dk/t values needed to avoid corneal anoxia. Optom Vis Sci 76(10):712-719

Holden B. Stretton S. de la Jara P.L. Ehrmann K. LaHood D. 2006, Przyszłość soczewek kontaktowych: Dk rzeczywiście jest istotne. Kontaktologia.

Johnson ME, Myrphy PJ. 2004, Changes in the tear film and ocular surface from dry eye syndrome. Progress in Retinal and Eye Res.;23:449–474

Jones L, May C, Nazar L, Simpson T. 2002. In vitro evaluation of the dehydration characteristics of silicone hydrogel and conventional hydrogel contact lens materials. Cont Lens Anteriot Eye 25(3):147-56.

Jones L, Senchyna M, Glasier MA, Schickler J, Forbes I, Louie D, May C. 2003, Lysozyme and lipid deposition on silicone hydrogel contact lens materials. Eye Contact Lens; 29(1Suppl):S75-S79

Krysztofiak K, Szyczewski A, Kruczyński Z. 2014. Investigation of Copper and Manganese Ion Diffusion through Hydrogel Contact Lens Materials Using ESR Technique. Pol J Environ Stud 23(2):363-371

Krysztofiak K. 2015, Badanie procesu dehydratacji w hydrożelowych i silikonowo-hydrożelowych soczewkach kontaktowych. Poznań : Uniwersytet im. Adama Mickiewicza

Künzler JF., 2005. Hydrogels w: Encyclopedia of Polymer Science and Technology. Wyd. John Wiley & Sons Vol. 2:691–722.

Lira M, Santos L, Azeredo J, Yebra-Pimentel E, Real Oliveira MECD. 2008. The effect of lens wear on refractive index of conventional hydrogel and silicone-hydrogel contact lenses: a comparative study. Cont Lens Anterior Eye. Apr;31(2):89–94.

Luensmann D, Jones L. 2008, Albumin adsorption to contact lens materials: A review. Curr Eye Res; 31:179-1870

Mathers W. 2004. Evaporation from the ocular surface. Exp Eye Res. 78:389-394

McDermott AM. 2013, Antimicrobial Compounds in Tears. Exp Eye Res.;117:53-61

Mirejovsky D, Archana S. P, Deanna D. R. 1991. Effect of proteins on water and transport properties of various hydrogel contact lens materials. Curr Eye Res. 10(3):187–96.

Murube J. 2006, Tear osmolarity. Ocul Surf.; 4(2):62-73.

Nicholson PC, Vogt J. 2001. Soft contact lens polymers: An evolution. p. 3273–83.

Ramamoorthy P, Sinnott LT, Nichols JJ. 2010. Contact lens material characteristics associated with hydrogel lens dehydration. Ophthalmic Physiol Opt [I]. 30(2):160–6.

Santos L, Rodrigues D, Lira M, Real Oliveira ME, Oliveira R, Yebra-Pimentel Vilar E, Azeredo J. 2007. The influence of surface treatment on hydrophobicity, protein adsorption and microbial colonization of silicone hydrogel contact lenses. Cont Lens Ant Eye 30:183-188

Sariri R, Ghafoori H. 2008, Tear proteins in health, disease, and contact lens wear. Biochemistry;73(4):381-392

Thai LC, Tomlinson A, Doane MG. 2004, Effect of contact lens materials on tear physiology. Optom Vis Sci;81(3):194-204

Tranoudis I, Efron N. 2004. Water properties of soft contact lens materials. Cont Lens Anterior Eye. 27(4):193–208

Tranoudis I, Efron N. 2004. Parameter stability of soft contact lenses made from different materials. Cont Lens Anterior Eye 27:115-131

Odbicia wielokrotne względem sfery

Witold Szymański [(1)]

[1.] Katedra Architektury Mieszkaniowej, Przemysłowej, Wnętrz, Ruralistyki, Krajobrazu, Sztuk Wizualnych i Systemów Konstrukcyjnych Politechniki Wrocławskiej, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
Witold Szymański: witold.szymanski@pwr.edu.pl

Streszczenie
Odbicia wielokrotne względem sfery stanowią jeden z przypadków odbić sferycznych znanych w literaturze przedmiotu pod nazwą *Problemu Alhazena, Optycznego Problemu Alhazena*lub *Problemu Bilardowego*. W poprzednich pracach autor zdefiniował i rozwiązał ten problem stosując metody geometrii wykreślnej a w tym zakresie jeden z przypadków krzywych *Apolloniusza* stopnia trzeciego o własności *isoptic – Apollonianisopticcubiccurve*, dla której autor podał nową metodę jej generowania. Dzięki własnościom tej krzywej można wyznaczyć punkty odbić względem okręgu lub sfery w *rzucie środkowo-refleksyjnym,* dla dowolnego układu punktów przestrzeni i środka rzutów. Jednym z możliwych układów jest taki, dla którego punkt przestrzeni A oraz środek rzutów S leżą w przestrzeni wewnętrznej sfery (lub okręgu). Jest to przypadek, w którym odbicie występuje tylko względem wewnętrznej strony sfery (lub okręgu). Fizycznie odpowiada to odbiciu w zwierciadle sferycznym wklęsłym. Przebieg krzywej *Apolloniusza* wskazuje punkty A_f na sferze, dla których spełnione jest prawo odbicia. Łatwo jednak wykazać, że istnieją obszary przestrzeni wewnątrzsferycznej (wewnątrz okręgu), ograniczone pękiem sfer o wspólnym środku O ze sferą refleksyjną, na których można opisać n-kąty foremne (zawierające na swoich bokach parę punktów A i S) w płaszczyźnie określonej trójką punktów A, O, S, dla których n przyjmuje dowolną wartość ze zbioru (3…,∞). Wierzchołki tych n-kątów należą do sfery refleksyjnej (okręgu refleksyjnego) i są punktami odbić wielokrotnych. Należy zauważyć, że przy $n = \infty$ wielokąt foremny zjednoczy się z okręgiem na nim opisanym, ponieważ okrąg jest okręgiem refleksyjnym to w n wierzchołkach tego wielokąta istnieje nieskończona ilość punktów odbicia A_f. Dla $n = 3$ wielokąt foremny stanowi trójkąt równoboczny. Różnica promieni – okręgu sfery refleksyjnej i okręgu wpisanego w trójkąt jest największa i wynosi 2/3 promienia sfery. W przypadku n-kąta, gdy $n = \infty$ różnica promieni wynosi 0. Należy stwierdzić, że przy odbiciu wielokrotnym o nieskończonej liczbie, para punktów A i S należy do sfery refleksyjnej (okręgu refleksyjnego) a obraz dowolnego punktu A jest tożsamy z obrazem całego okręgu refleksyjnego. Niniejsza praca jest przyczynkiem do odpowiedzi na pytania dotyczące odbić wielokrotnych w zakresie ogólnego problemu odbić sferycznych – *Problemu Alhazena*, problemu *Anamorfoz sferycznych* i *Problemu Bilardowego*. Określa ona zakres tego zagadnienia na gruncie geometrii wykreślnej i udziela odpowiedzi na pytania wynikające ze zdefiniowanego przez autora problemu odbić wielokrotnych, w zakresie ich uwarunkowań geometrycznych i wynikających z nich możliwych rozważań. Na gruncie geometrii wykreślnej, poza znanym autorowi wyjątkiem, nie podejmowano tego problemu.

Słowa kluczowe: *Problem Alhazena,* odbicia sferyczne*, Apollonianisopticcubiccurve*

Multiple Reflections in relation to the Sphere

Summary
Multiple reflections in relation to the sphere constitute one the cases of *Alhazen's Problem, Alhazen's Optical Problem or Billiard Problem*. The author of this paper defined and solved this problem using the methods of descriptive geometry and in this particular scope one of the cases of Apollonian curves of the third degree with the property defined as isoptic – *Apollonian isoptic cubic curve* for which the author provided a new method of generating it. Thanks to the properties of this curve is possible to determine the points of reflection in relation to the sphere in the central-reflective projection for any arrangement of points in space sphere and the centre of projections. One of the possible arrangements consists in an arrangement for which a point in space A and the projection centre S are situated in the inner space of the sphere (or a circle). It is a case in which the reflection occurs only in relation to the inner side of the sphere (or a circle). In physical terms it corresponds to the reflection in the spherical concave mirror. The course of the Apollonian curve indicates points A_f on the sphere for which the reflection law is met. However, it is easy to demonstrate that there are areas of intraspherical space (inside a circle), which are restricted with a pencil of spheres with the shared centre O with the reflectional sphere on which it is possible to circumscribe regular n-angles (which contain on their sides a pair of points A and S) in the plane determined by three points A, O,S for which n assumes any value from the set (3…,∞). The vertexes of these n-angles belong to the reflection sphere (reflection circle) and they are points of multiple reflections / inter-reflections.
It should be remarked that when $n = \infty$ the regular polygon joins together with the circle circumscribed on it because the circle is a reflection circle and hence on the n vertexes of this polygon there is an infinite number of

reflection points A_f. When $n = 3$, the regular polygon is an equilateral triangle. The difference between the radii of a circle of the reflection sphere and a circle inscribed within a triangle is the biggest and comes to 2/3 of the radius of the sphere. In the case of the n-angle when $n = \infty$ the difference of radii is 0. It should be stated that in the case of an infinite number multiple reflection/inter-reflection the pair of points *A* and *S* belongs to the reflection sphere (reflection circle) and the image of any given point A is identical with the image of the whole reflection circle. This work is a contribution to a reply to questions concerning multiple reflections/ inter-reflections in the scope of a general problem of spherical reflections – *Alhazen's Problem, Alhazen's Optical Problem* and *Billiard Problem*. It determines the scope of discussions about this issue on the grounds of descriptive geometry and provides answers to questions resulting from defined by the author problem of multiple reflections/inter-reflections and possible deliberations resulting from them. In descriptive geometry, except for the exception known to the author, this problem has not been taken up yet.

Keywords: *Alhazen's Problem,* spherical reflections, *Apollonian isoptic cubic curve*

1. Wstęp

Odbicia wielokrotne względem sfery stanowią jeden z przypadków odbić sferycznych znanych w literaturze przedmiotu pod nazwą *Problemu Alhazena, Optycznego Problemu Alhazena*lub *Problemu Bilardowego*.

Autor rozwiązał ten problem stosując metody geometrii wykreślnej a w tym zakresie jeden z przypadków krzywych Apolloniusza stopnia trzeciego o własności *isoptic* – *Apollonianisopticcubiccurve* i podał nową metodę jej generowania.

Dzięki własnościom tej krzywej można wyznaczyć punkty odbić względem okręgu lub sfery w *rzucie środkowo-refleksyjnym,* dla dowolnego układu punktów przestrzeni i środka rzutów. Jednym z możliwych układów jest taki, dla którego punkt przestrzeni *A* oraz środek rzutów *S* leżą w przestrzeni wewnętrznej sfery (lub okręgu). Jest to przypadek, w którym odbicie występuje tylko względem wewnętrznej strony sfery (lub okręgu). Fizycznie odpowiada to odbiciu w zwierciadle sferycznym wklęsłym. Przebieg krzywej *Apolloniusza* wskazuje punkty A_f na sferze, dla których spełnione jest prawo odbicia. Łatwo jednak wykazać, że istnieją obszary przestrzeni wewnątrzsferycznej (wewnątrz okręgu), ograniczone pękiem sfer o wspólnym środku *O* ze sferą refleksyjną, na których można opisać *n*-kąty foremne (zawierające na swoich bokach parę punktów *A* i *S*) w płaszczyźnie określonej trójką punktów *A*, *O*, *S,* dla których *n* przyjmuje dowolną wartość ze zbioru (3…,∞). Wierzchołki tych *n*-kątów należą do sfery refleksyjnej (okręgu refleksyjnego) i są punktami odbić wielokrotnych.

Należy zauważyć, że przy n = ∞ wielokąt foremny zjednoczy się z okręgiem na nim opisanym, ponieważ okrąg jest okręgiem refleksyjnym to w *n* wierzchołkach tego wielokąta istnieje nieskończona ilość punktów odbicia Af, (Rys. 15).

Dla n = 3 wielokąt foremny stanowi trójkąt równoboczny. Różnica promieni – okręgu sfery refleksyjnej i okręgu wpisanego w trójkąt jest największa i wynosi 2/3 promienia sfery. W przypadku *n*-kąta, gdy $n = \infty$ różnica promieni wynosi 0. Należy stwierdzić, że przy

odbiciu wielokrotnym o nieskończonej liczbie, para punktów *A* i *S* należy do sfery refleksyjnej (okręgu refleksyjnego) a obraz dowolnego punktu *A* jest tożsamy z obrazem całego okręgu refleksyjnego.

Niniejsza praca jest przyczynkiem do odpowiedzi na pytania dotyczące odbić wielokrotnych w zakresie ogólnego problemu odbić sferycznych – *Problemu Alhazena*, *Problemu Anamorfoz sferycznych* i *Problemu Bilardowego*. Określa ona zakres rozważań tego zagadnienia na gruncie geometrii wykreślnej i udziela odpowiedzi na pytania wynikające ze zdefiniowanego przez autora problemu odbić wielokrotnych, w zakresie ich uwarunkowań geometrycznych i wynikających z nich możliwych rozważań.

Na gruncie geometrii wykreślnej, poza znanym autorowi wyjątkiem, nie podejmowano tego problemu.

2. Rzut środkowo-refleksyjny względem sfery a odbicia wielokrotne

Odbicia zwierciadlane geometrycznie stanowią rzut środkowo–refleksyjny. Jest on jedną z klas rzutu perspektywicznego. Nie wnikając w naturę odbić, stwierdzimy, że odbicia względem płaskich luster (o zerowej krzywiźnie) zachowują kształt, a więc formę obiektu odbijanego, obrazem linii prostej jest prosta (przekształcenie perspektywiczne ma charakter liniowy i jest kolineacją). Gdy jednak zakrzywiamy powierzchnię lustra powoduje to deformację obrazu, obrazem prostej jest krzywa (przekształcenie ma charakter nieliniowy i stanowi perspektywę niekolinearną). Ze wzrostem krzywizny lustra zwiększa się zakrzywienie obrazu prostej.

Definicja:

Jeśli w rzucie środkowo-refleksyjnym względem sfery, dla pary punktów A i S leżących po jednej stronie sfery refleksyjnej istnieją więcej niż dwa punkty Af: A_{f1}, A_{f2},…A_{fn}, takie, że odcinki łączące kolejne punkty, np. : $|A\ A_{f1}|$, $|Af_1\ A_{f2}|$,… $|A_{fn}\ S|$ leżą na bokach wielokąta foremnego wpisanego w tę sferę i tworzą wraz z środkiem O sfery układ płaski, (Rys. 8, 13, 14) *to taki przypadek nazwiemy rzutem środkowo-wielokrotnie-refleksyjnym względem sfery lub odbiciem wielokrotnym, a punkty A_{f1}, A_{f2},…A_{fn} , punktami odbić wielokrotnych.*

Należy też zauważyć, że kąty tworzone przez przyległe boki wielokąta foremnego tworzą z normalnymi sfery w jego wierzchołkach kąty równe, co spełnia tym samym prawo odbicia.

Ważnym wnioskiem wynikającym z definicji odbić wielokrotnych jest to, iż układ punktów *A* i *S* względem sfery (lub okręgu na płaszczyźnie) nie może być dowolny, ponieważ punkty te należą do boków wielokąta foremnego, wpisanego w sferę bądź okrąg.

Prowadzi to do stwierdzenia, że niezbędne do realizacji odbić wielokrotnych symetrie, wymagają ustalenia położenia punktów A i S dla przyjętej krotności odbić reprezentowanej przez n-kąt foremny. Tym samym powstaje możliwość zastosowania tej własności odbić wielokrotnych w projektowaniu wnętrz architektonicznych, ze względu na walory akustyczne.

Z symetrii odbić wielokrotnych wynika jednorodność rozkładu natężeń fali dźwiękowej. Dla projektanta wnętrz architektonicznych stosowanie prawa odbić a w szczególności odbić wielokrotnych stanowi ważne narzędzie dla określania parametrów akustycznych wnętrz, np. stopnia rozproszenia bądź ogniskowania dźwięku w wybranych fragmentach przestrzeni. Liczne przykłady historyczne dowodzą istnienia takich problemów już w przeszłości, poczynając od teatru greckiego, iluzyjnej gry dźwiękiem w okresie Baroku, na technikach współczesnej inżynierii dźwięku kończąc.

Z przeprowadzonej analizy geometrycznej wynika, że w obszarze wewnątrz okręgu (lub sfery – w interpretacji przestrzennej) o promieniu r równym $1/3R$ – promienia okręgu refleksyjnego i wspólnym z nim środku, odbicia wielokrotne nie istnieją. Natomiast w obszarze o kształcie pierścienia ograniczonym okręgiem (lub sferą) refleksyjnym i okręgiem (lub sferą) o promieniu o wartości z przedziału $(1/3R,\ldots R)$, gdy promień r wzrasta powyżej wartości $1/3R$, liczba odbić wielokrotnych również rośnie, w przedziale $(2,\ldots\infty)$.

Ma to bez wątpienia wpływ na charakterystykę akustyczną przestrzeni architektonicznej, której formę może stanowić sfera lub jej fragmenty, z jakich geometrycznie generować można powierzchnie wypukłe – pseudosferyczne. Przedstawione wyżej zależności określone dla sfery i okręgu, dają się zastosować także do powierzchni walca obrotowego i powierzchni pochodnych od nich – pseudowalcowych.

3. Zastosowanie *Apollonianisopticcubiccurve* w rozwiązaniach odbić wielokrotnych

3.1. Warunki generowania krzywej *Apollonianisopticcubic,* (Rys. 1, 3, 4)

3.1.1. *Okrąg Apolloniusza*, jako przypadek szczególny krzywych *Apollonianisopticcubic,* (Rys. 6, 7)

3.2. Dowody na własności *isoptic* i*supplementary* krzywej *Apollonianisoptic*

Przyjmijmy punkty przecięcia prostych stycznych w pękach $P_1(A)$ i $P_2(S)$ jako P_1, P_2, P_3, P_4. Ustalmy punkty P_1, P_2, P_3, P_4 jako wierzchołki czworoboku tak, że P_1 tworzy para stycznych wewnętrznych względem okręgu, P_2 para stycznych zewnętrznych, P_3 i P_4 pary stycznych różnoimiennych.

3.2.1. Dowód na własność *isoptic*

Jeśli zachodzi równość:

$$\sphericalangle (P_3, P_1, O) = \sphericalangle (P_4, P_1, O) \qquad (1)$$

to

$$\sphericalangle (A, P_1, O) = \sphericalangle (S, P_1, O) \tag{2}$$

i

$$\sphericalangle (P_3, P_2, O) = \sphericalangle (P_4, P_2, O) \tag{3}$$

Dwie ostatnie równości spełniają postulat *isoptic* – równych kątów „widzenia" odcinków $|AO|$ i $|SO|$ z punktów podzbiorów $\{P_{i1}\}$ i $\{P_{i2}\}$ krzywej $\{P\}$, dla $\{P_{i1}\} = \{A, O, P_2^{\infty}\}$ i $\{P_{i2}\} = \{S, P_2^{\infty}\}$, (Rys. 1, 2, 5).

3.2.2. Dowód na własność *supplementary*

Jeśli zachodzi równość:

$$\sphericalangle (P_1, P_3, O) = \sphericalangle (P_2, P_3, O) \tag{4}$$

i

$$\sphericalangle (P_1, P_4, O) = \sphericalangle (P_2, P_4, O) \tag{5}$$

to

$$\sphericalangle (A, P_3, O) + \sphericalangle (S, P_3, O) = \square \tag{6}$$

i

$$\sphericalangle (A, P_4, O) + \sphericalangle (S, P_4, O) = \square \tag{7}$$

Dwie ostatnie równości spełniają postulat *supplementary* – suma kątów „widzenia" odcinków $|AO|$ i $|SO|$z punktów podzbioru $\{P_s\}$ krzywej $\{P\}$ wynosi , dla $\{P_s\} = \{A, O, S\}$, (Rys.1, 2, 5).

3.3. *Apollonianisopticcubiccurve* aniezmiennik odbić wielokrotnych

Jak wynika z definicji odbić wielokrotnych stanowią one układy *n*-kątne – foremne, dla których punkty odbić A_{fn} są ich wierzchołkami. Punkty *A* i *S* przyjmujemy, jako dowolnie leżące na bokach *n*-kąta (mogą leżeć na bokach przyległych o wspólnym wierzchołku lub na dowolnie wybranych).

Utworzona dla układu A, *O*, *S,* krzywa*Apolloniusza*posiada 2 lub 4 punkty wspólne z okręgiem opisanym na *n*-kącie, należące do podzbiorów $\{Pi_1\}$ i $\{Pi_2\}$ przedziałów *isoptic* – rys. 8,9,10,11. Punkty te są różne od założonych punktów odbić $A_f$na wierzchołkach *n*-kąta z wyjątkiem tych, które są wspólnymi wierzchołkami boków zawierających A i *S*.

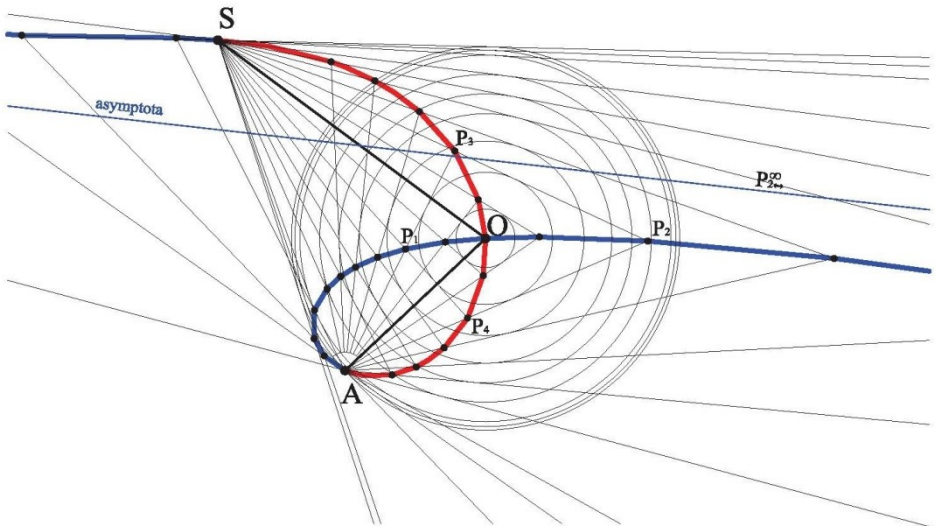
Z powyższego wynika, że punkty odbić wielokrotnych, dla których para punktów *A* i *S* zawsze należy do boków *n*-kąta, uzupełniają punkty odbić określone w rzucie środkowo-refleksyjnym (dla dowolnie wybranych punktów *A* i *S* płaszczyzny w tym dowolnie wybranych punktów *n*-kąta) poprzez zastosowanie własności krzywej *Apolloniusza*.

4. Odbicia wielokrotne, podsumowanie i wnioski

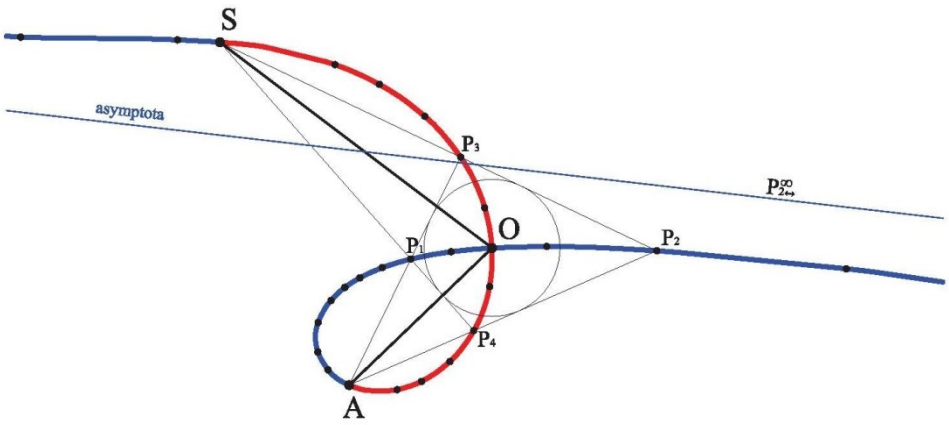
W konkluzji stwierdzimy, że ustalając odbicia wielokrotne implikujemy niezależny układ punktów odbić istniejący poza założonym układem punktów odbić wielokrotnych. Oba układy punktów odbić posiadają jeden wspólny element.

Odbicia wielokrotne generowane *rzutem środkowo-refleksyjnym względem okręgu i sfery* mogą realizować przekształcenie*anamorficzne sferyczne* – opisane w innej pracy autora i uzupełniają to przekształcenie o nowe warunki początkowe.

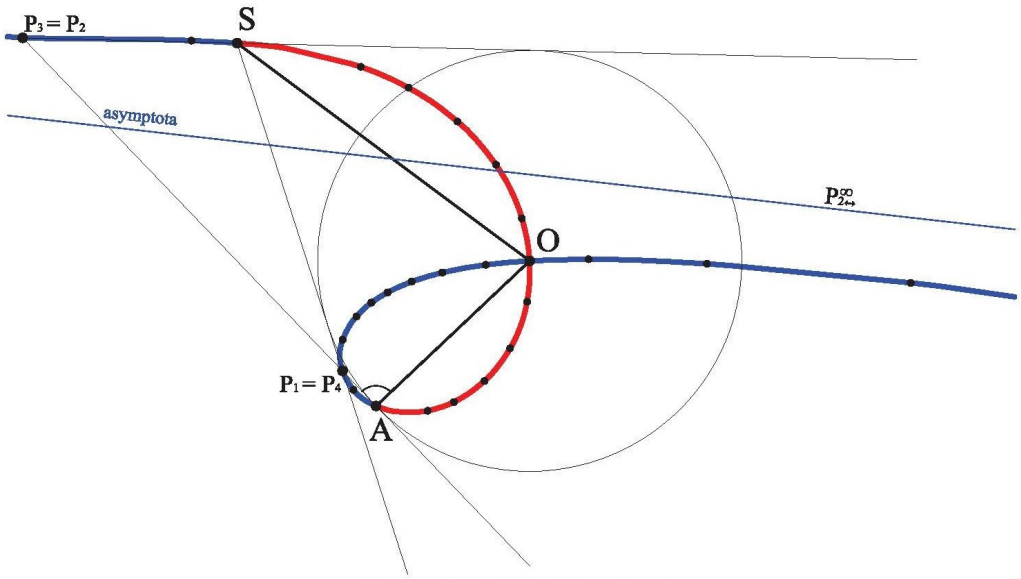
Należy dodać, że wszystkie punkty odbić uzyskane geometrycznie dla odbić wielokrotnych, względem okręgu lub sfery wklęsłej mają rozwiązania w przestrzeni fizycznej. Odbiciu względem okręgu wklęsłego odpowiada *problem bilardowy* a odbiciu względem sfery wklęsłej – odbicie względem zwierciadła sferycznego wklęsłego.



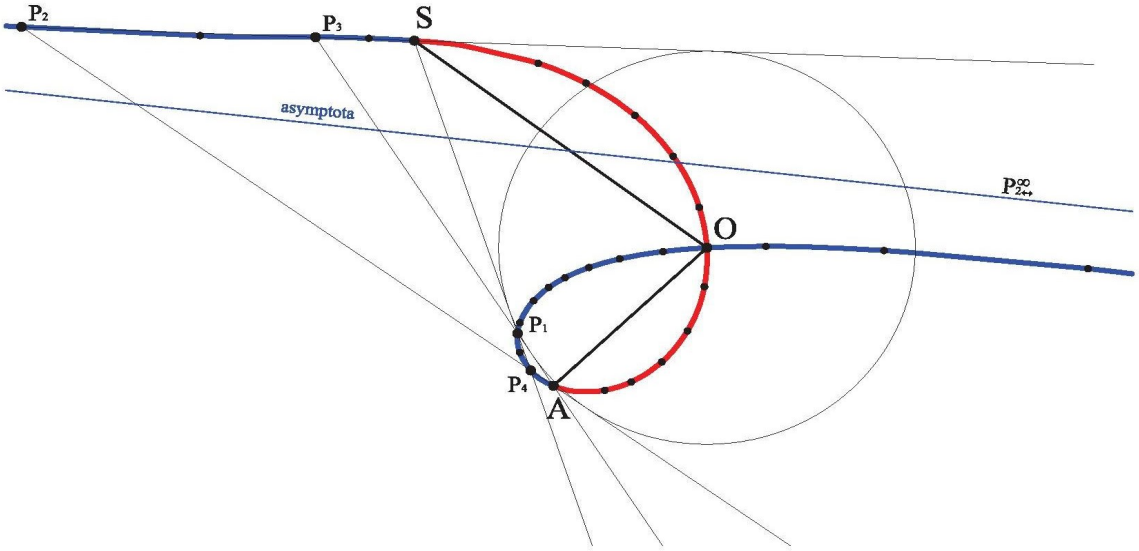
Rys. 1. Generowanie *Apollonianisopticcubiccurve.* Opracowanie autora



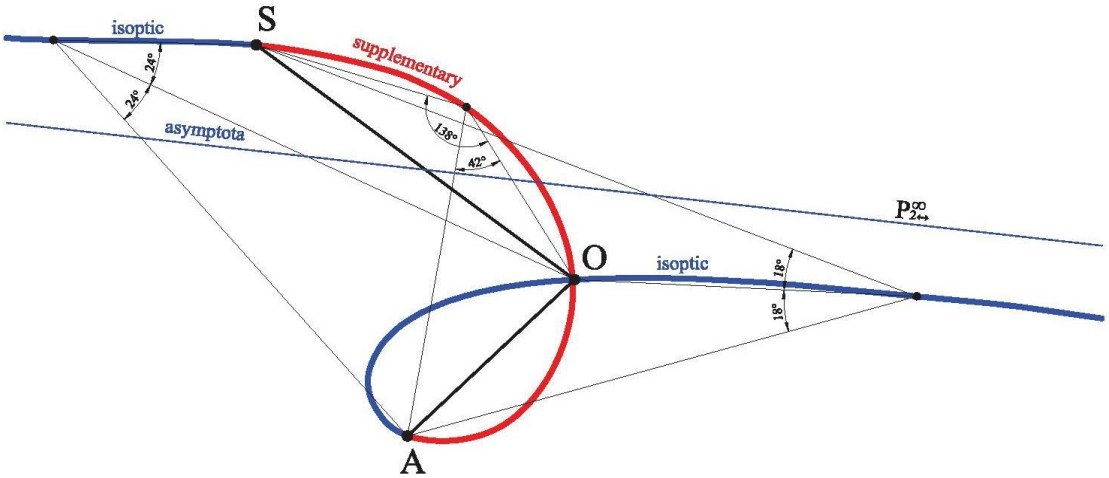
Rys. 2. Zależności*isoptic i supplementary*. Opracowanie autora



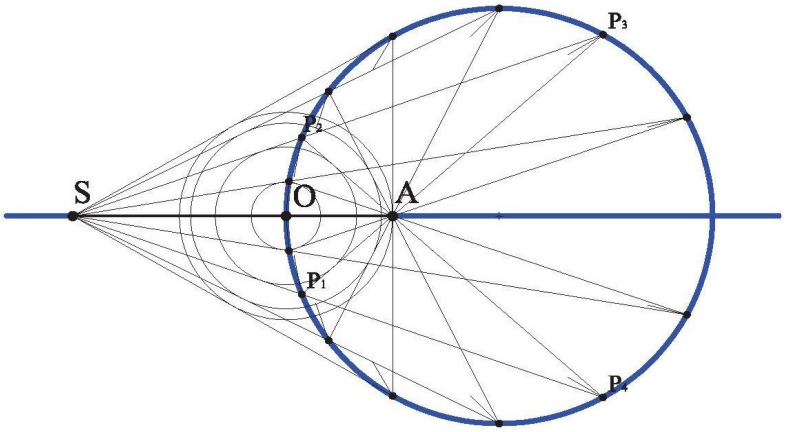
Rys. 3. Zależności *isoptic*i *supplementary*. Opracowanie autora



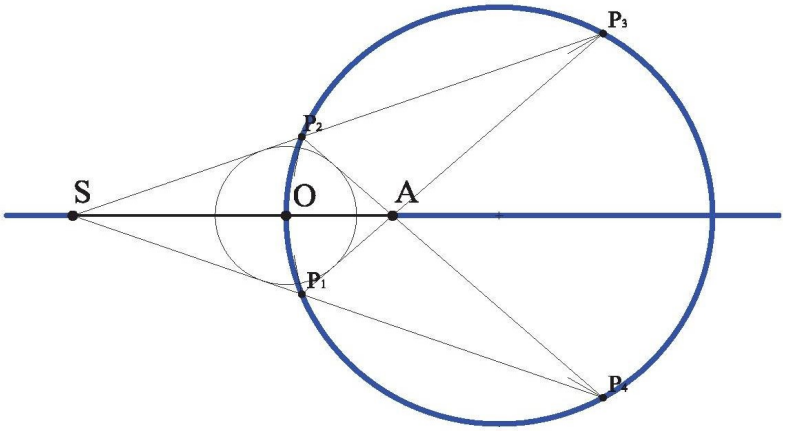
Rys. 4. Zależności *isoptic*i *supplementary*. Opracowanie autora



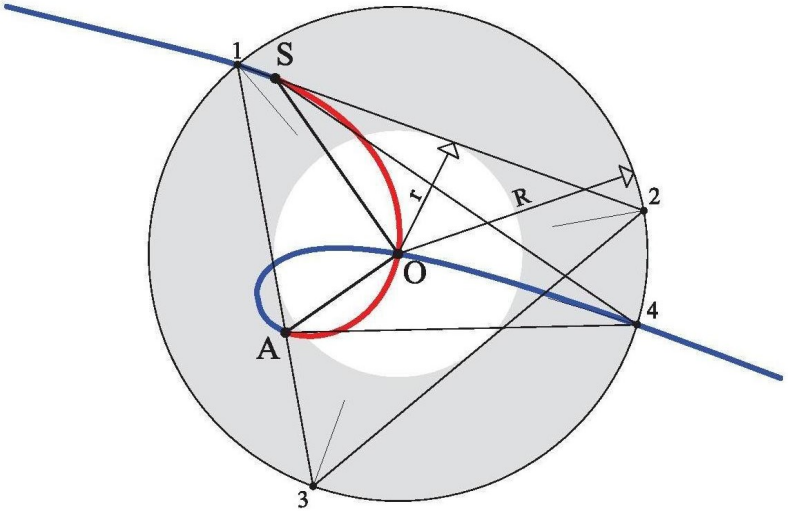
Rys. 5. Syntetyczne przedstawienie własności *Apolloniancurve*. Opracowanie autora



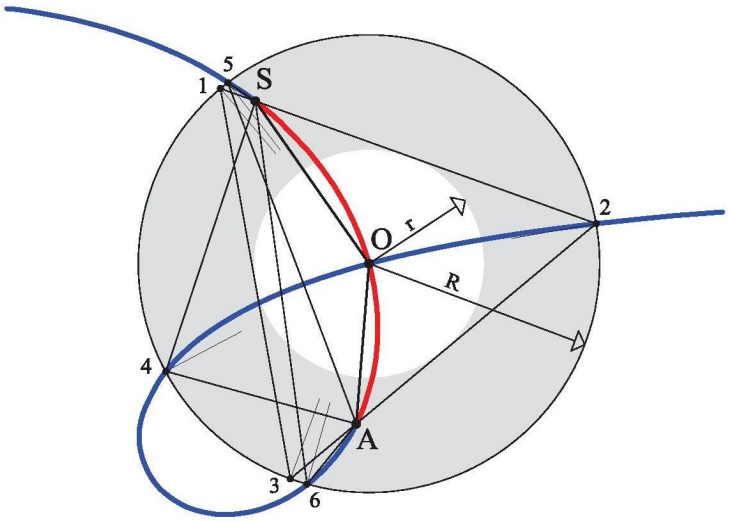
Rys. 6. Generowanie Okręgu Apolloniusza. Opracowanie autora



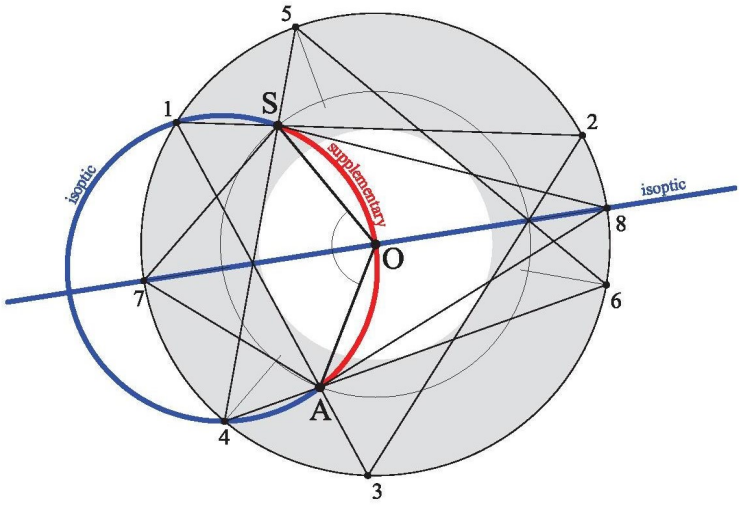
Rys. 7. Okrąg Apolloniuszajako krzywa*isoptic*. Opracowanie autora



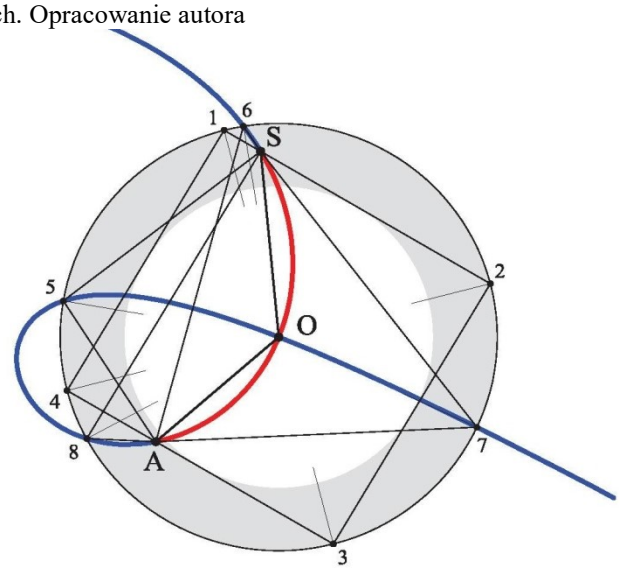
Rys. 8. Odbicia wielokrotne względem okręgu dla trójkąta foremnego. Punkty A i S leżą w obszarze ograniczonym okręgiem refleksyjnym o promieniu R i współśrodkowym z nim okręgiem o promieniu r. Istnieją 2+2 punkty odbicia w tym punkty nr 2 i nr 3 są punktami odbić wielokrotnych. Opracowanie autora



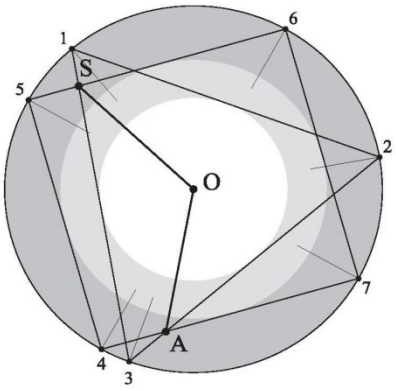
Rys. 9. Odbicia wielokrotne względem okręgu dla trójkąta foremnego. Istnieją 4+2 punkty odbicia w tym punkty nr *2* i nr *3* są punktami odbić wielokrotnych. Opracowanie autora



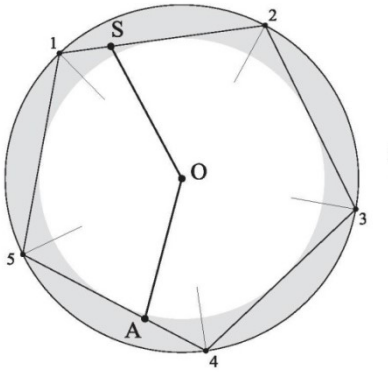
Rys. 10. Odbicia wielokrotne względem okręgu dla symetrycznego układu dwóch trójkątów foremnych wynikającego z symetrycznego układu A i *S.* Symetryczny układ *A* i *S* implikuje symetryczny przebieg *Apolloniancurve*– degenerującej się do okręgu i prostej. Istnieją 4+4 punkty odbicia, w tym punkty nr *2, 3* i nr *5, 6* są punktami odbić wielokrotnych. Opracowanie autora



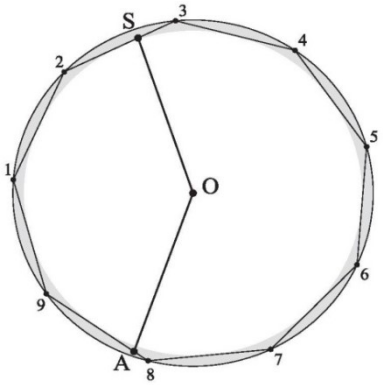
Rys. 11. Odbicia wielokrotne względem okręgu dla czworokąta foremnego. Istnieją 4+4 punkty odbicia w tym punkty nr *1, 2, 3, 4* są stałymi punktami odbić wielokrotnych. Opracowanie autora



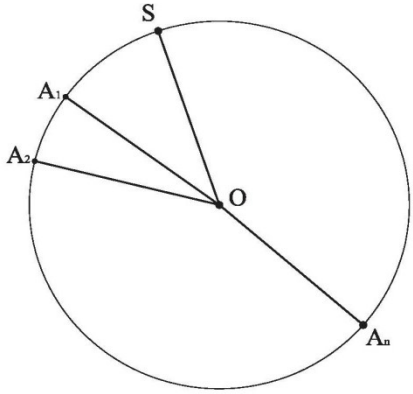
Rys. 12. Odbicia wielokrotne względem okręgu dla przyjętego złożonego układu trójkąta i czworokąta foremnego. Istnieją 3+4 punkty odbicia w tym punkty nr *1,2* i nr *5,6,7* są stałymi punktami odbić wielokrotnych. Opracowanie autora



Rys. 13. Odbicia wielokrotne względem okręgu dla pięciokąta foremnego. Dla przyjętego układu punktów *A* i *S* istnieje 5 punktów odbić wielokrotnych. Opracowanie autora



Rys. 14. Odbicia wielokrotne względem okręgu dla *n*-kąta foremnego. Opracowanie autora



Rys. 15. Odbicia wielokrotne względem okręgu dla n-kąta foremnego gdy $n = \infty$. Wielokąt foremny zjednoczy się z okręgiem na nim opisanym, ponieważ okrąg jest okręgiem refleksyjnym to w *n* wierzchołkach tego wielokąta istnieje nieskończona ilość punktówodbiciaA_f. Opracowanie autora

5. Literatura

Baltrusaitis J., *Anamorphoses les perspectives depravees*, Flammarion, Paris 1984

Glaeser G., *Reflections on Spheres and Cylinders of Revolution*, Journal for Geometry and Graphics Volume 3, No 2, 1999

Lapaine M., *Valentin's problem*, Eight international conference on engineering design graphics and descriptive geometry, Volume 1, Austin, Texas, USA, 1998

Russo L., *La rivoluzionedimenticata. Il pensieroscientifico Greco e la scienzamoderna,* Giangiacomo Feltrinelli Editore Milano. Terzaedizione 2003

Smith A. M., *Alhazen's Debt to Ptolemy's „Optics"*, w *Nature*, *Experiment and the Science*, edited by Trevor H. Levere and William R. Shea, Kluwer, Dordrechtr 1990

Szymański W., *Odwzorowanie punktów przestrzeni w rzucie środkowo-refleksyjnym na sferę*, Prace Naukowe Instytutu Architektury i Urbanistyki Politechniki Wrocławskiej No 23, Seria: Studia i Materiały No 6, Prace studialne Zakładu Geometrii Wykreślnej i Perspektywy Malarskiej, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1987

Szymański W., *Anamorfoza sferyczna jako szczególny przypadek rzutu środkowo-refleksyjnego na sferę,* Raport serii: SPR nr I-1/S-624/04, Politechnika Wrocławska, Wydział Architektury Zakład Geometrii Wykreślnej i Perspektywy Malarskiej, Wrocław 2004

Szymański W., *Rzut środkowo-refleksyjny na sferę a pewne rodzaje przekształceń anamorficznych,* Raport serii: SPR nr I-1/S-710/06, Politechnika Wrocławska, Wydział Architektury Zakład Geometrii Wykreślnej i Perspektywy Malarskiej, Wrocław 2006

Szymański W., *Rzut środkowo-refleksyjny względem sfery a pewne rodzaje przekształceń anamorficznych,* Raport serii: SPR nr I-1/S-722/06, Politechnika Wrocławska, Wydział Architektury Zakład Geometrii Wykreślnej i Perspektywy Malarskiej, Wrocław 2006

Szymański W., *Rzut środkowo-refleksyjny na sferę a pewne rodzaje przekształceń anamorficznych,* Raport serii: SPR nr I-1/S-836/08, Politechnika Wrocławska, Wydział Architektury Zakład Geometrii Wykreślnej i Perspektywy Malarskiej, Wrocław 2008

Szymański W., *Rzut środkowo-refleksyjny na sferę a pewne rodzaje przekształceń anamorficznych,* Raport serii: SPR nr I-1/S-866/09, Politechnika Wrocławska, Wydział Architektury Zakład Geometrii Wykreślnej i Perspektywy Malarskiej, Wrocław 2009

Szymański W., *Anamorfozy jako perspektywa zniekształcona, w kontekście odbić sferycznych oraz zagadnienia iluzji w sztuce ostatnich pięciu stuleci*, 108 Otwarte Seminarium Geometrii i Grafiki Inżynierskiej im. prof. M. Paleja, Ośrodek Geometrii i Grafiki Inżynierskiej Politechnika Śląska Polskie Towarzystwo Geometrii i Grafiki Inżynierskiej, Gliwice 2006

Ułamek K. M., *Konstruowanie odbić wielokrotnych od powierzchni wewnętrznych sfery i walca obrotowego,* Proceedings of 11thSeminar Geometry and Computer, Silesian University of Technology in Gliwice, Ustroń 2010

Wassenaar J., http://www.2dcurves.com/cubic/cubica.html

Nowa metoda perspektywy

Witold Szymański [(1)]

[1] Katedra Architektury Mieszkaniowej, Przemysłowej, Wnętrz, Ruralistyki, Krajobrazu, Sztuk Wizualnych i Systemów Konstrukcyjnych Politechniki Wrocławskiej, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
Witold Szymański: witold.szymanski@pwr.edu.pl

Streszczenie
W pracy została przedstawiona nowa, nieznana konstrukcja perspektywy i zbiegów perspektywicznych. Polega ona na zastosowaniu ilorazu dwóch liczb określających tangens kąta, jaki tworzy prosta przestrzeni z tłem perspektywicznym. Jednym z jej celów jest zastosowanie perspektywy w projektowaniu dowolnie złożonych układów przestrzennych, np. w architekturze, z pominięciem rzutów, które są niezbędne w tradycyjnym projektowaniu. Konstrukcja taka nie była opisana w literaturze przedmiotu. Uogólniając ją osiągnięto, niepostulowany wcześniej cel – geometryczną interpretację relacji ilorazu, inną od znanej. Należy przypomnieć, że geometryczne definicje działań arytmetycznych sięgają greckiej matematyki i geometrii pitagorejczyków.

Słowa kluczowe: geometryczna interpretacja ilorazu, perspektywa, układy przestrzenne, projektowanie

New Method of Perspective

Summary
The new, unknown previously, method of perspective construction and coincidence perspectives is presented in the chapter. This method is based on an application of quotient made by two values defining a tangent formed by the line in a space with a perspective background. The main aim of these methods is an application of a perspective in designing process of various spatial complexes, for example without projections being necessary in tradition architectural designing. This way of construction has not been described in a literature previously. The generalization of the construction allowed to discovering of the new interpretation of relationship, different from that known from the classical geometrical point of view, with its roots in ancient Greek mathematics.

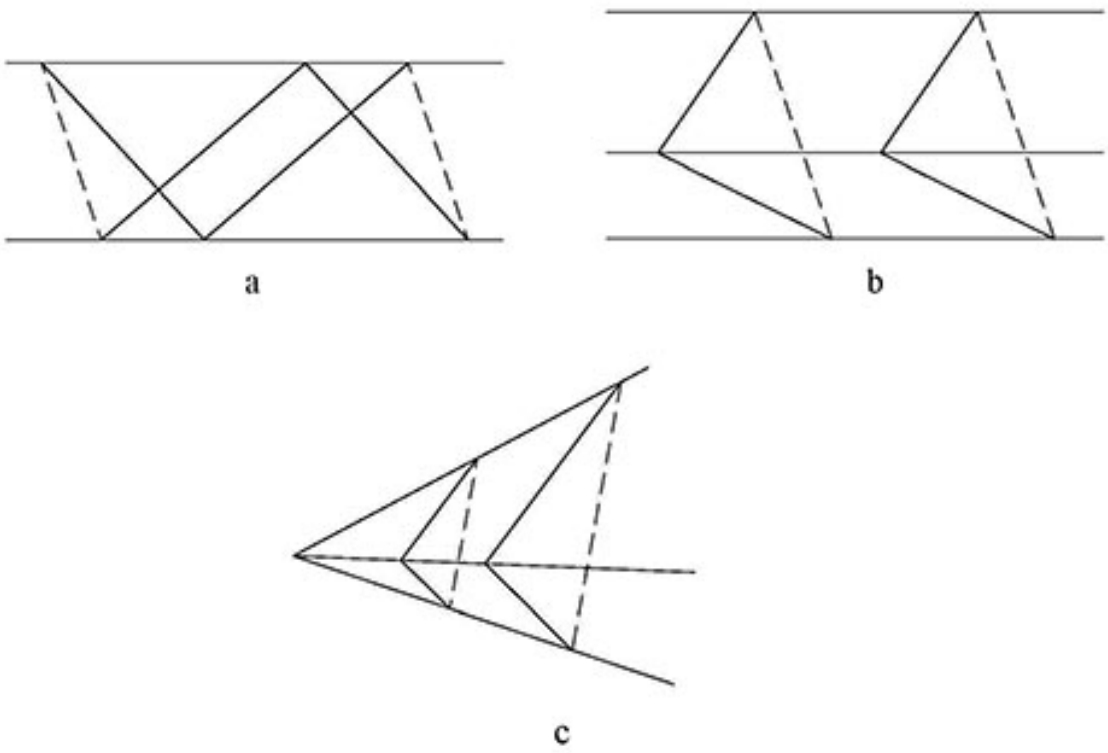
Keywords: geometrical interpretation, quotient, perspective, spatial set-up, design

1. Wstęp

W pracy została przedstawiona nowa, nieznana konstrukcja perspektywy i zbiegów perspektywicznych. Polega ona na zastosowaniu ilorazu par liczb określających tangens kąta, jaki tworzy prosta przestrzeni z tłem perspektywicznym. Jednym z jej celów jest zastosowanie perspektywy w projektowaniu dowolnie złożonych układów przestrzennych, np. w architekturze, z pominięciem rzutów, które są niezbędne w tradycyjnym projektowaniu. Konstrukcja taka nie była opisana w literaturze przedmiotu. Uogólniając tę konstrukcję osiągnięto, niepostulowany wcześniej cel – interpretację geometryczną relacji ilorazu.

Należy przypomnieć, że geometryczne definicje działań arytmetycznych sięgają geometrii pitagorejczyków, okresu helleńskiego kultury greckiej. Przytoczmy kilka przykładów:

„ A b y wykazać, że dodawanie jest przemienne potrzebne jest tzw. małe twierdzenie Pappusa: Jeżeli boki sześciokąta leżą na przemian na dwóch prostych równoległych i dwie pary boków przeciwległych tego sześciokąta są równoległe, to równoległa jest i trzecia para." (Kordos, Włodarski, 1981) - Rys. 1a.



Rys. 1. O geometrii dla postronnych. Źródło: Kordos i Włodarski

„Aby można było odejmować potrzebne jest małe twierdzenie Desargues'a:

Jeżeli odpowiednie wierzchołki dwu trójkątów leżą na prostych równoległych i dwie pary odpowiednich boków są równoległe, to równoległa jest i trzecia para." (Kordos, Włodarski, 1981) - Rys. 1b.

„Do wykonania dzielenia potrzebne jest duże twierdzenie Desargues'a, które uzyskujemy z poprzedniego przez zastąpienie zwrotu „na prostych równoległych" zwrotem „na prostych przecinających się w jednym punkcie (Rys. 1c).

Wreszcie przemienność mnożenia wymaga dużego twierdzenia Pappusa, które uzyskujemy z małego przez opuszczenie warunku, aby proste, na których leżą wierzchołki sześciokąta, były równoległe." (Kordos, Włodarski, 1981).

„Przytoczone cztery twierdzenia podane zostały w kolejności od najsłabszego do najmocniejszego (każde następne wynika z poprzedniego)... To jednak, że tak jest, jak też, że takie jest ich znaczenie dla zgeometryzowanej arytmetyki, ustalono dopiero w XX stuleciu." (Kordos, Włodarski, 1981).

W ciągu ostatnich kilku lat autor podjął eksperyment dydaktyczny, w którym część studentów I roku Wydziału Architektury Politechniki Wrocławskiej, realizowała tradycyjny program dydaktyki perspektywy, posługując się znanymi z literatury metodami. Pozostali

stosowali wyłącznie, wspomnianą na wstępie konstrukcję perspektywy i zbiegów perspektywicznych, Rys. 7–11. W niektórych przypadkach uzupełniali ją zdefiniowaną w innej pracy autora metodą przekształcenia perspektywy na tło pionowe w perspektywę na tło pochyłe co w wyniku określało zbieg kierunku pionowego (Szymański, 2006) - Rys. 12, 13. W wyniku uzyskano prace, które znacznie odbiegają poziomem zaawansowania od wykonanych tradycyjnymi metodami.

Jednym z powodów lepszych wyników studentów grup eksperymentalnych może być to, że zaproponowana metoda nie wymaga stosowania rzutów projektowanego układu przestrzennego. Czyni ona z perspektywy bardzo efektywne narzędzie do projektowania dowolnie złożonych obiektów. Wiele prac studentów zaprezentowano dotychczas na międzynarodowych wystawach sztuk wizualnych w kraju i za granicą oraz na międzynarodowych konferencjach geometrii.

2. O geometrycznej interpretacji relacji ilorazu

W *Elementach* Euklides zawarł słynny dowód nieskończoności zespołu liczb pierwszych:

„Jest więcej liczb pierwszych niż we wszelkiej oznaczonej [skończonej] ilości liczb pierwszych” (Russo, 2005).

Pojęcie nieskończoności było znane, choć niedostatecznie określone (świadczy o tym piąty aksjomat Euklidesa, zwany też postulatem równoległości).

Od czasów Euklidesa sądzono, że postulat równoległości musi wynikać z pierwszych, szukano, więc dowodów potwierdzających to przypuszczenie. W XIX wieku okazało się, że jest on niezależny od pozostałych, a zmiana tego aksjomatu daje inne geometrie. W 1822 roku ukazuje się pierwszy podręcznik geometrii rzutowej, stworzonej na podstawie perspektywy zbieżnej, poprzez uzupełnienie przestrzeni euklidesowej elementami niewłaściwymi.

Dotychczas znaną geometrię nazwano euklidesową, a nowe – nieeuklidesowymi. Jako pierwsze były geometria hiperboliczna oraz eliptyczna, geometrie przestrzeni „wypukłych" lub „wklęsłych". Geometria euklidesowa to geometria przestrzeni „płaskich", o zerowej krzywiźnie, nazywa się ją również geometrią paraboliczną.

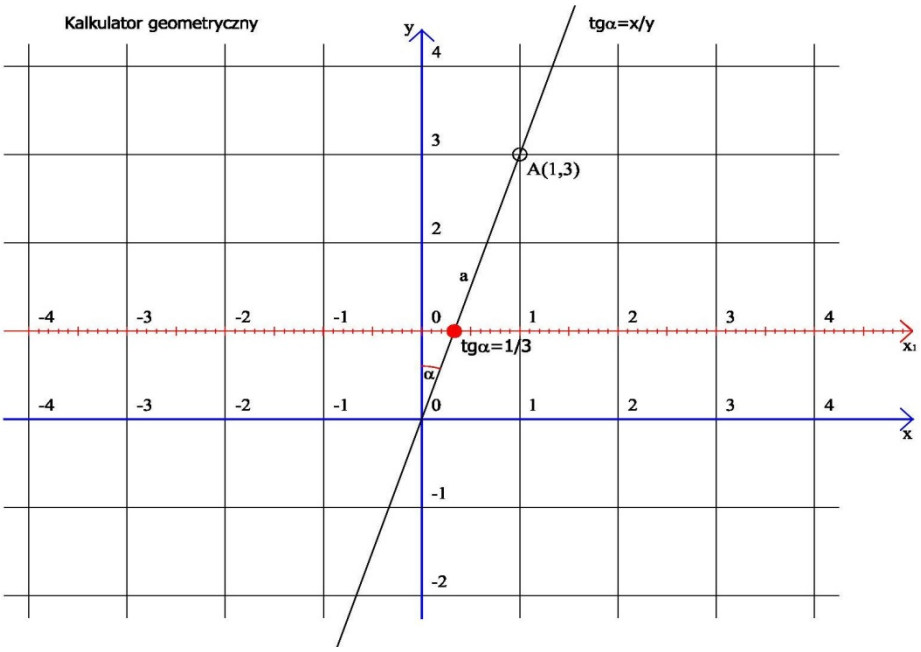
Grecy znali i stosowali perspektywę zbieżną, obrazującą kierunki przestrzeni za pomocą wiązki promieni widzenia. Pod koniec IV w.p.n.e. trwał proces doskonalenia perspektywy – wspomina o tym Lucio Russo, włoski fizyk i historyk nauki.

Pojęcie kierunku jest tożsame z pojęciem punktu niewłaściwego (punktu w nieskończoności), geometrycznego odpowiednika granicy niewłaściwej zbioru *R*. Perspektywiczny obraz tego punktu to perspektywa kierunku, potocznie jest ona nazywana punktem zbiegu prostej lub prostych do niej równoległych.

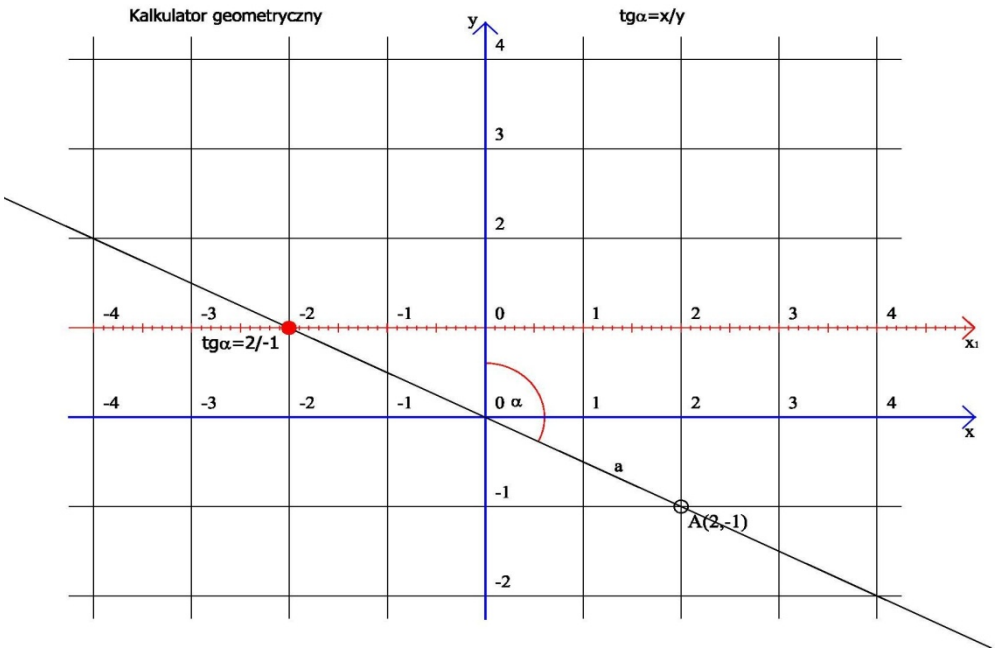
Rozważmy układ współrzędnych *OXY* przedstawiający płaszczyznę rzeczywistą R^2. Rozważmy prostą x_1: $(x,1)$, x należy do R i poprowadźmy prostą a o równaniu $y - y_0/x_0 \cdot x = 0$ przechodzącą przez punkt $A(x_0, y_0)$ i początek układu współrzędnych.

Prosta a przecina prostą x_1 w punkcie $(x_0/y_0, 1)$, Rys. 2–4. Przyjmijmy za α kąt jaki tworzy prosta a z osią OY. Tangens tego kąta wynosi x_0/y_0.

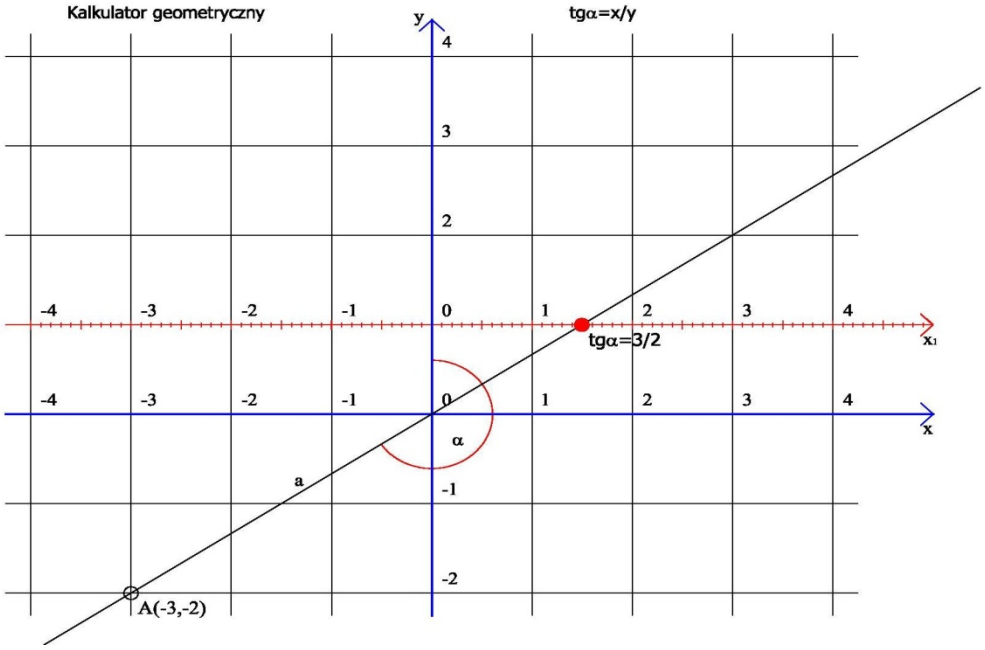
Jeśli prosta x_1 stanowi oś liczbową to prosta a przetnie x_1 w punkcie, któremu odpowie wartość ilorazu x_0/y_0.



Rys. 2. Źródło: opracowanie własne autora



Rys. 3. Źródło: opracowanie własne autora



Rys. 4. Źródło: opracowanie własne autora

3. O zastosowaniu geometrycznej interpretacji relacji ilorazu w teorii i dydaktyce perspektywy

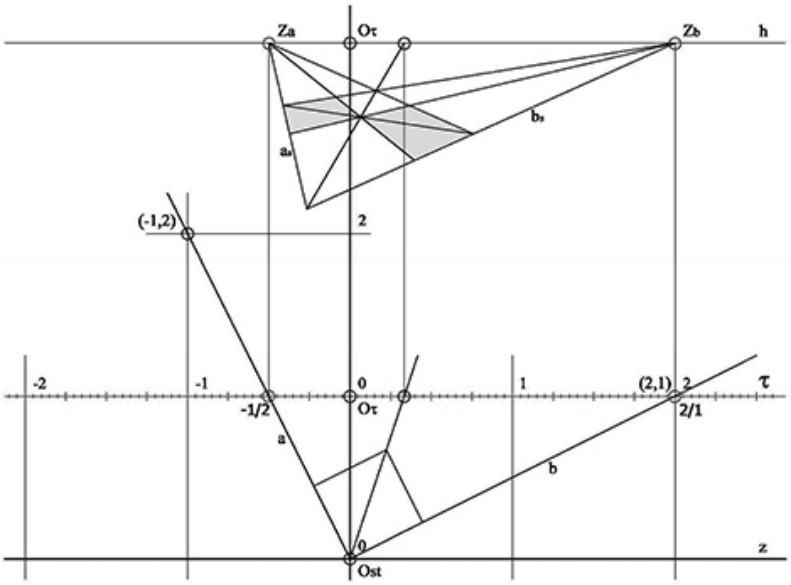
Uzyskane wyniki posłużyły do zastosowania ich w określaniu śladów zbiegów perspektywicznych, czyli perspektywicznych obrazów kierunków (punktów niewłaściwych płaszczyzny i przestrzeni).

W tym celu przyjmijmy układ perspektywy taki, że oś x_1 zastąpi linia tła – □ a punkt O osi x_1 – punkt O□□□ W układzie OXY punkt O zastąpi środek rzutów – O_{st} a oś OX – linia znikania z, Rys. 5.

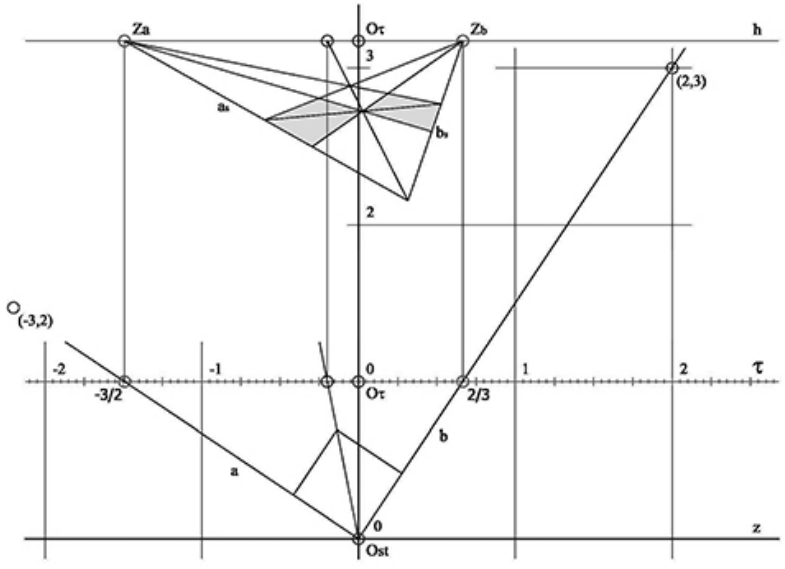
Przyjmijmy na płaszczyźnie dwie proste a i b wzajemnie prostopadłe: a □ b. Nazwijmy kierunki wzajemnie prostopadłe – kierunkami sprzężonymi. Niech proste a *i* b przecinają się w O_{st}. Proste a i b przetną □ w dwóch punktach Z_a i Z_b, leżących odpowiednio po lewej i prawej stronie punktu O□. Jeśli na □ przyjmiemy skalę liczbową, a miarę jednostki, jako równą odległości O_{st} względem □, to punktom Z_a i Z_b będą odpowiadały wartości liczbowe określone wartościami ilorazów utworzonych przez pary liczb x_0 i y_0. I tak odpowiednio dla: Z_a: $-x_0/y_0$, a dla: Z_b: + y_0/x_0. Ponieważ ślady zbiegów kierunków sprzężonych określone są odwrotnymi ilorazami: x_0/y_0 i $-y_0/x_0$, to przyjmując głębokość tłową (miarę jednostki) określimy perspektywę dowolnego układu prostokątnego: (a_s □□b_s), bez konieczności posługiwania się jego rzutem prostokątnym. Przedstawiają to Rys. 5, 6.

Ma to duże znaczenie w stosowaniu perspektywy, jako narzędzia użytecznego w projektowaniu układów przestrzennych, bowiem ułatwia posługiwanie się kierunkami sprzężonymi i kierunkami w ogóle.

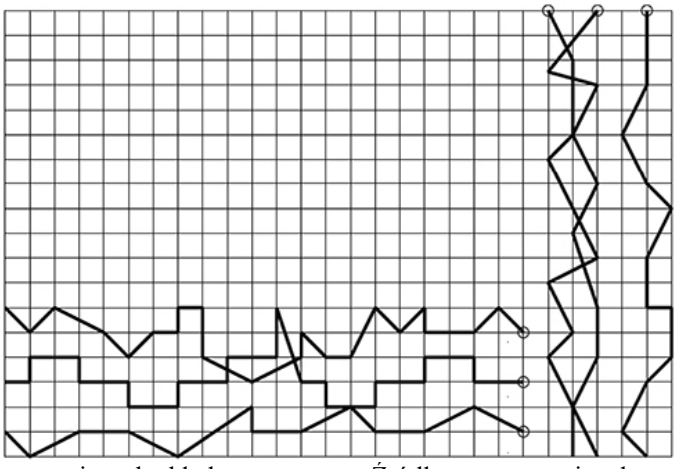
Należy zauważyć, że definiowanie kierunków za pomocą par liczb, pozwala na łatwe określanie relacji kątowych, przydatnych także w restytucji perspektywy, czyli określaniu układu stosunków przestrzennych na podstawie ich obrazów perspektywicznych, takich jak np. fotografie i Rys. układów architektonicznych, lub jakichkolwiek innych.



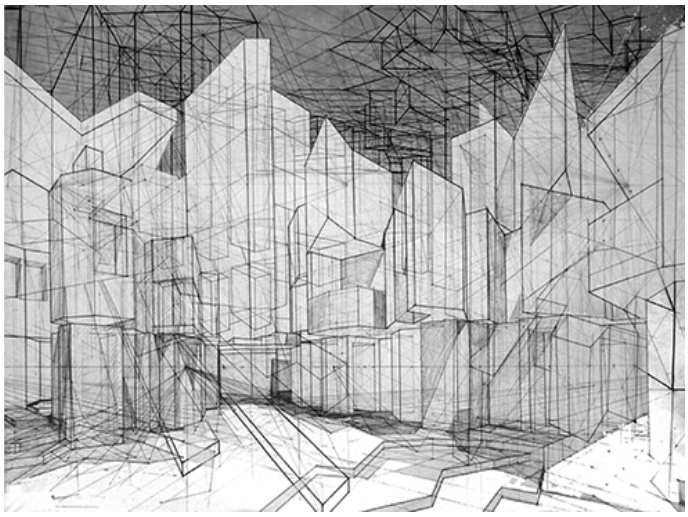
Rys. 5. Źródło: opracowanie własne autora



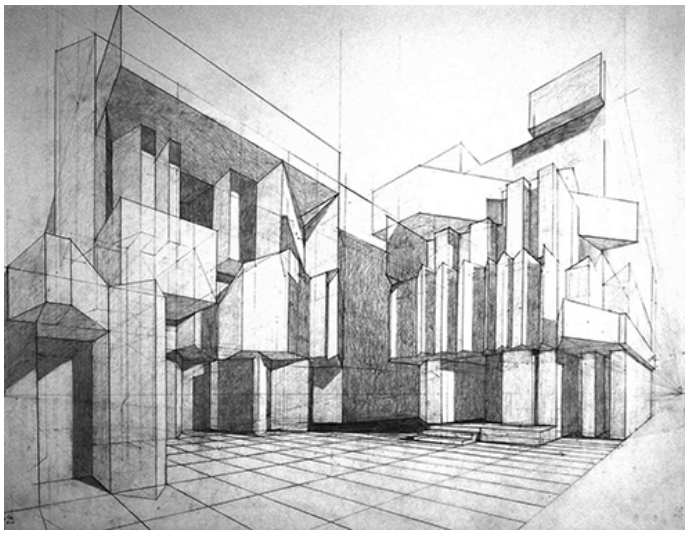
Rys. 6. Źródło: opracowanie własne autora



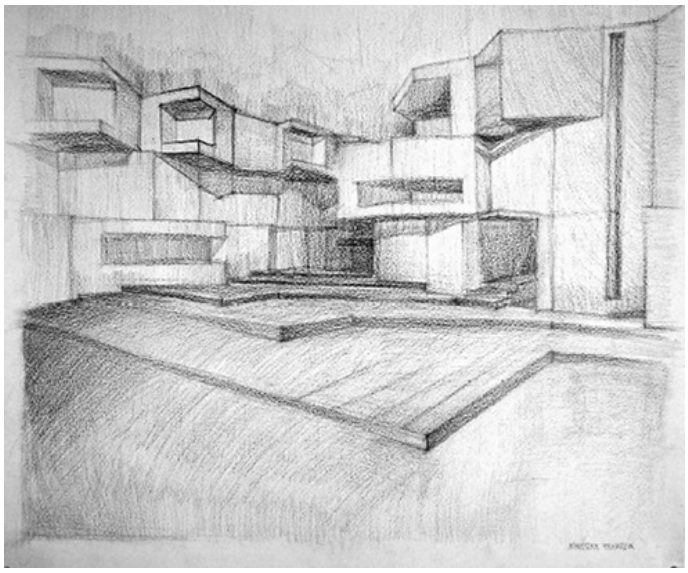
Rys. 7. Przykład krzywych generujących układ przestrzenny. Źródło: opracowanie własne autora



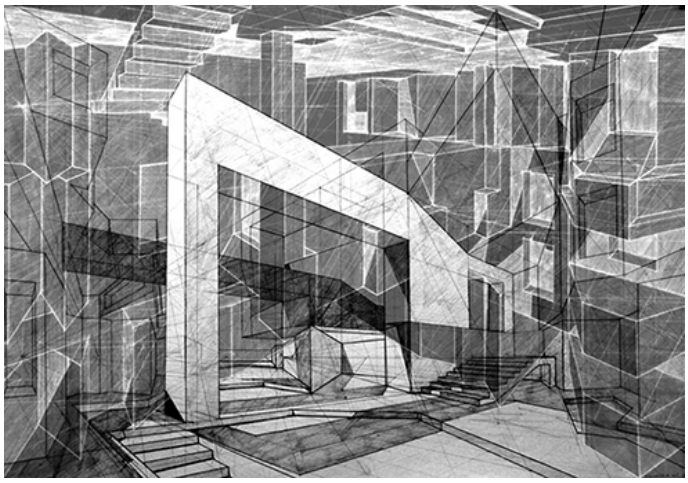
Rys. 8. Projekt układu przestrzennego wykonany z wykorzystaniem opisanej w artykule konstrukcji. Źródło: opracowanie własne autora



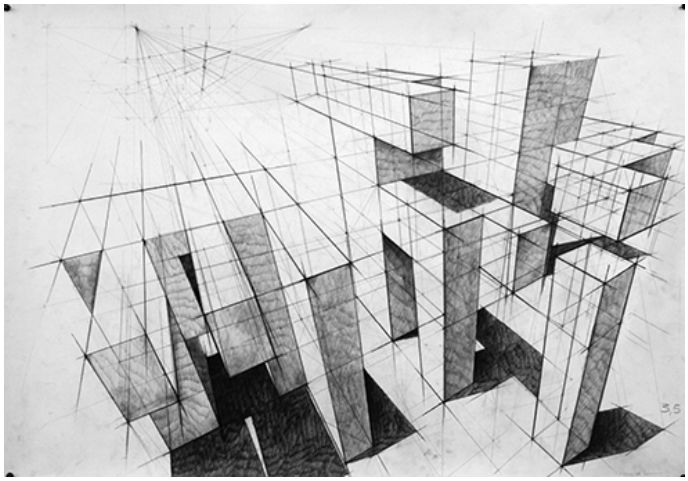
Rys. 9. Projekt układu przestrzennego wykonany z wykorzystaniem opisanej w artykule konstrukcji. Źródło: opracowanie własne autora



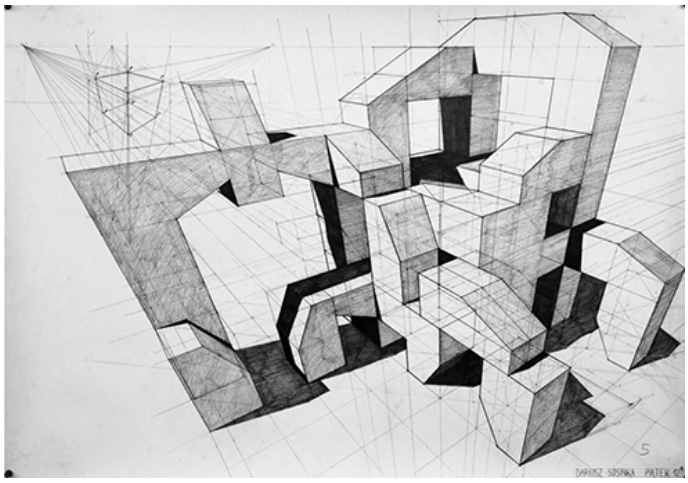
Rys. 10. Projekt układu przestrzennego wykonany z wykorzystaniem opisanej w artykule konstrukcji. Źródło: opracowanie własne autora



Rys. 11. Projekt układu przestrzennego wykonany z wykorzystaniem opisanej w artykule konstrukcji. Źródło: opracowanie własne autora



Rys. 12. Projekt układu przestrzennego w perspektywie na tło pochyłe uzyskanej z perspektywy na tło pionowe, oryginalną metodą, opracowaną przez autora w *O pewnym przekształceniu perspektywy na tło pionowe w perspektywę na tło pochyłe* (Szymański, 2006)



Rys. 13. Projekt układu przestrzennego w perspektywie na tło pochyłe uzyskanej z perspektywy na tło pionowe, oryginalną metodą, opracowaną przez autora w *O pewnym przekształceniu perspektywy na tło pionowe w perspektywę na tło pochyłe* (Szymański, 2006)

4. Różne interpretacje i ujęcia perspektywy

Wadą stosowanych powszechnie metod perspektywy jest to, że odnoszą się one zwłaszcza do prostych układów wielościanów, najczęściej prostopadłościennych, o trzech kierunkach zbiegów. Niedogodności tych metod ujawniają się wielostopniowo w dydaktyce perspektywy.

Po pierwsze, ukierunkowują one silnie uwagę na proste czy wręcz banalne formy prostopadłościenne i pochodne tych form.

Po drugie, utrwalają przekonanie, że perspektywa (zwłaszcza na tło pochyłe) o więcej niż trzech kierunkach zbiegu, jest trudna do wykonania znanymi metodami (w istocie jest niewykonalna metodą punktów mierzenia, stosowaną do konstrukcji perspektywy układów prostopadłościennych na tło pochyłe, wymaga ona, bowiem układu trzech, wzajemnie prostopadłych kierunków – dwóch poziomych i jednego pionowego). Brak prostego narzędzia do tworzenia perspektywy złożonych układów przestrzennych, utrudnia ich wyobrażenie i perspektywiczne przedstawienie.

Kierunek określa prosta. Ponieważ w przestrzeni istnieje nieskończenie wiele kierunków to istnieje co najmniej tyle samo prostych. Kierunkowi można przyporządkować nieskończenie wiele prostych wzajemnie równoległych. Ponieważ perspektywę kierunku określa jeden punkt, to obraz wszystkich kierunków przestrzeni wypełni całe tło perspektywiczne.

W literaturze spotyka się do dziś mocno ugruntowany błąd logiczny, którego wynikiem jest przekonanie o istnieniu perspektywy 1–, 2–, 3–zbiegowej.

Z „jakiegoś powodu”(?) nie opisywana jest w literaturze perspektywa np. 17–zbiegowa, itd., itp. Ale dlaczego? Owszem obraz perspektywiczny obiektów przestrzeni, czyli ich

perspektywa zawiera perspektywy kierunków ich liniowych krawędzi, (jeśli takie istnieją), ale np. sfera lub inna powierzchnia o nieliniowych brzegach nie reprezentują kierunku, i np. perspektywa kuli nie zawiera punktu zbiegu perspektywicznego.

Jeśli istniałyby perspektywy 1–, 2–, 3–zbiegowe, (czyli perspektywy zbiegów) to istniałaby też perspektywa n–zbiegowa, co oczywiście prowadzi to do absurdu. Określenia takie dowodzą niezrozumienia istoty i celu tego przekształcenia Można oczywiście stwierdzić, że dana perspektywa zawiera taką to a taką, liczbę punktów zbiegu, jednak aparat perspektywy nie warunkuje jakkolwiek punktów zbiegu perspektywicznego – może być ich dowolnie wiele.

Literatura przedmiotu często propaguje fałszywy obraz przekształcenia perspektywicznego, czyniąc z narzędzia cel sam w sobie. A wiadomo, że zasada obrazowania perspektywicznego jest niezmienna, forma odwzorowywanego obiektu nie ma znaczenia.

Taki sposób traktowania aparatu obrazowania perspektywicznego, w którym zasadniczą kategorię stanowi liczba punktów zbiegu (jeden, dwa, najwyżej trzy), każe dostosować układy przestrzenne do metod (takich jak np. metody punktów mierzenia), a nie metody do obiektów i układów przestrzennych. Nie sprzyja on rozwijaniu wyobraźni w dziedzinie projektowania form przestrzennych przyszłych architektów i artystów. Ci, którzy badając zjawiska skupiają się na ich wewnętrznej logice, pomijając związki istniejące zewnętrznie, popełniają błąd (…) często mylą przyczynę i skutek, wpadając w pułapkę formalizmów odległych od zasadniczej idei (na podst. przedmowy do *Dwa bieguny* T. Khuna (Khun, 1985).

„Wolność wątpienia jest konieczna do tego, by nauka się rozwijała. Wiemy, że to jest rzecz podstawowej wagi (...). Koniecznie trzeba wątpić, bo bez tego nie ma postępu i nie można się niczego nauczyć. Nie można zdobywać wiedzy bez stawiania pytań. A z pytaniem związane są wątpliwości” (Feynman, 2006).

Znane i tradycyjne ujęcia perspektywy wykreślnej posiadają jeszcze jedną cechę: podają kompletną odpowiedź na zadane pytanie. Brak w nich miejsca na wątpliwość i własną interpretację poznawczą. Tych cech nie powinno być pozbawione żadne poważne dokonanie. To, bowiem wątpliwość rodzi poznanie.

Powody, dla których tak właśnie jest, mogą być różne. Klasyczne dzieło nt. perspektywy, „Perspektywa malarska” K. Bartla (pierwsze wydanie we Lwowie w 1921 roku), jest raczej analityczną kompilacją wybranych przykładów i sposobów rysowania perspektywy prostych form, niż dziełem syntetycznym, podkreślającym to, że nie skupiając się na kolejnych przekształceniach a stosując ogólne zasady rzutu środkowego w przestrzeni

i na płaszczyźnie, można osiągać w tym zakresie dowolne cele geometryczne i praktyczne bardzo prostymi metodami. Praca ta stała się jednak do dziś obowiązującym wzorcem.

Autorzy późniejszych podręczników z zakresu perspektywy poruszali się już w obszarze tegoż paradygmatu. „Natomiast rozmaite podręczniki, z którymi studenci mają do czynienia, różnią się raczej spisem rzeczy niż prezentowanymi odmiennymi podejściami do tej samej problematyki (…). Nawet monografie, które współzawodniczą ze sobą o uznanie w procesie nauczania, różnią się od siebie głównie poziomem i szczegółami dydaktycznymi, a nie swą treścią czy strukturą pojęciową" (Feynman, 2006).

Wymagania współczesnego kształcenia w zakresie architektury (i sztuki) różnią się od tych sprzed wielu już lat. Niestety w praktyce kształcenia często obowiązuje swoiście pojęty redukcjonizm, wynika on w znacznym stopniu z charakteru obecnej kultury.

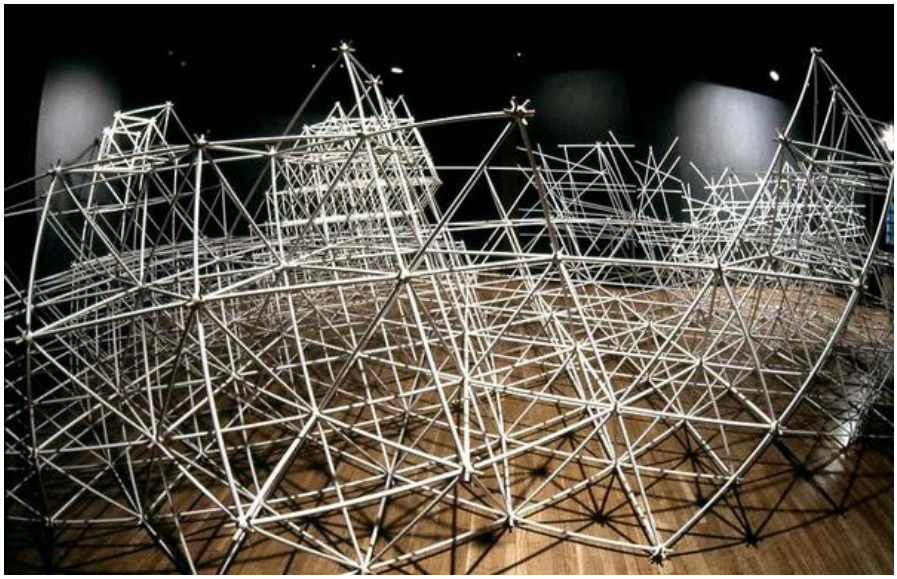
Przytoczmy kilka przykładów zjawisk istniejących we współczesnej kulturze.

„…Jednym z nich jest pojmowanie Kultury, jako destrukcji Kultury, czyli upatrywanie wartości w ich niszczeniu. Jednym z przykładów może być to, że jednym z głównych trendów kultury obecnej jest obalanie jeszcze nieobalonych zakazów kulturowych. Kolejnym zjawiskiem w kulturze jest Kultura jako ucieczka z kultury. A więc za dzieło sztuki podaje się dziś nie tylko to, co być nim tradycyjnie nie mogło, lecz i to, co jest wyzbyte wszelkiego sensu....Jeszcze innym jest komercjalizm w Kulturze (Lem, 1988).

W dydaktyce perspektywy zmiany są potrzebne. Podręcznikowe narracje perspektywy często zamykają czytelnika w ciasnych ramach definicji i proponowanych algorytmów. Co tyczy form przestrzennych, są to najczęściej prostopadłościany i formy pochodne. Ich wzajemne relacje przestrzenne i położenia względem układu odniesienia są trywialne. W znanych opracowaniach perspektywy brakuje przykładów bardziej złożonych układów stosunków przestrzennych. Nie można w nich znaleźć prostej konstrukcji perspektywy, np. prostopadłościanu, choćby foremnego, w położeniu dowolnym względem tła perspektywicznego. Wyjątek stanowi skomplikowany opis, nie metody a wykonania rysunku, perspektywy sześcianu o podstawie na płaszczyźnie dowolnej (w dowolnym położeniu względem rzutni) w „Perspektywie malarskiej " (Bartel, 1960).

W praktyce zajęć projektowych na wydziałach architektury student zmuszony jest coraz częściej (w zakresie stylów i nurtów współczesnej architektury – obecnie modne są; dekonstruktywizm i różne odmiany eklektyzmu zwane potocznie postmodernizmem) posługiwać się bardzo dowolnymi formami przestrzennymi w ich różnych konfiguracjach i położeniach, Rys. 8–11. Tradycyjne metody dydaktyki perspektywy i projektowania przestrzennego nie uwzględniają takich problemów i potrzeb.

Inna klasę przedstawień perspektywicznych stanowi perspektywa na tło pochyłe, w której układ odniesienia (pionowe tło), poddany jest transformacji. Złożona procedura metody „punktów mierzenia" nie zachęca do jej stosowania. Niemożliwe jest wykorzystanie tej metody do obrazowania dowolnych (poza prostopadłościennymi) układów przestrzennych, jak choćby wielościanów geodezyjnych, stosowanych w projektowaniu ustrojów prętowych, takich jak np. kopuły Fullera i innych, jak np. sztywne struktury wielościenne, generowane przez multiplikację trójwymiarowego simpleksu (czworościanu) – najprostszego wielościanu. Struktury tego rodzaju, w zastosowaniach inżynierskich, w budownictwie i architekturze, charakteryzuje wyjątkowo korzystny stosunek ich wagi do przenoszonych sił, Rys. 14.



Rys. 14. Struktura przestrzenna – multiplikacja trójwymiarowego simpleksu, praca wykonana przez autora i jego studentów. Źródło: archiwum własne autora, fot. J. Olek

Inną wadą stosowanych metod perspektywy jest to, że są one przeznaczone do wtórnego obrazowania form zaprojektowanych wcześniej. Natomiast projektowanie układów przestrzennych wyłącznie za pomocą ich dwuwymiarowych rzutów znacznie utrudnia i ogranicza ten proces, wyniki tych „dwuwymiarowych" poszukiwań można, bowiem w pełni oceniać i dostrzec dopiero później, w perspektywie. Gdy jednak okażą się one niezadowalające, wrócić musimy do dwuwymiarowych obrazów projektowanych form przestrzennych.

„Studenci, z czym wszyscy się zgodzimy, zaczynać muszą od przyswajania sobie tego, co już znane, ale kładziemy raczej nacisk, by kształcenie dawało im znacznie więcej. Powinni oni, powiadamy, nauczyć się rozpoznawać i oceniać zagadnienia, które nie uzyskały jeszcze jednoznacznego rozwiązania; trzeba ich wyposażyć w repertuar metod podejmowania przyszłych problemów i muszą się uczyć oceniać przydatność tych metod oraz szacować rozwiązania cząstkowe, jakich te mogą dostarczyć..." (Feynman, 2006).

Metody obrazowania perspektywicznego należy uzupełnić, więc o nowe, nieznane dotychczas własności, które nadadzą im rangę narzędzia projektowego.

5. Podsumowanie

Przedstawiona w artykule konstrukcja zbiegów perspektywicznych dowolnych kierunków poziomych, ale też dla wzajemnie prostopadłych par tych kierunków, dowodzi poprzez zaprezentowany materiał ilustracyjny, jej walorów zarówno dydaktycznych, jak też praktycznych. Poszerza wiedzę nt. perspektywy, uogólniając definiowanie zbiegów perspektywicznych. W rozwinięciu tej pracy autor przedstawi konstrukcję zbiegów perspektywicznych – perspektywy dowolnych kierunków przestrzeni, poprzez użycie trójek liczb. W przedstawionej tu konstrukcji, opartej o geometryczną interpretację ilorazu, użyto par liczb do określania kierunków poziomych. Studenci biorący udział w eksperymencie polegającym na zastosowaniu perspektywy, jako narzędzia do projektowania, obiektów i określających je układów stosunków przestrzennych, poprzez swoje projekty wykazali tę własność perspektywy, wychodząc tym samym poza obowiązujący paradygmat, zgodnie z którym, perspektywa jest jedynie obrazem tego co istnieje pierwotnie, poza nią. Paradygmat ten utrwalają w świadomości, studentów i czytelników opracowań poświęconych perspektywie, ich autorzy.

W procesie kształcenia dydaktyk winien za cel stawiać także kształtowanie wyobraźni ucznia, stwarzając sytuacje, w których talent, inwencyjny styl myślenia, nie będą ograniczone, konwencją, formalizmem.

Sięgając natury zjawisk, także takich jak perspektywa, poprzez ciekawość poznania, wątpliwość, która rodzi pytania, będą stwarzać warunki do inwencyjnego myślenia studentów, a poprzez to, będą wykształcać tę cechę osobowości i własność intelektu, jaką jest twórcza postawa.

6 Literatura

Arnhem R., *Sztuka i percepcja wzrokowa*, Gdańsk 2005

Bartel K., *Perspektywa malarska*, tom I, Warszawa 1960, [s. 37]

Bregman A. S., *Auditory Scene Analysis*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts 1990

Cole A., *Perspektywa*, Wrocław, 1993

Dyba K., *Perspektywa linijna*, Wrocław 1979

Feynman R. P., *Przyjemność poznawania*, Warszawa 2006 [s. 104, s. 321-322]

Gonbrich E., *Sztuka i złudzenie*, Warszawa 1981

Ingarden R., *Ze studiów nad zagadnieniem formy i treści dzieła sztuki*, Przegląd filozoficzny, Warszawa 1949

Kaufmann A., Fustier M., Drevet A., *Inwentyka – metody poszukiwania twórczych rozwiązań*, Warszawa 1975

Khun T. S., *Dwa bieguny*, Warszawa 1985, [s. 7–35]

Kordos M., Włodarski L., *O geometrii dla postronnych,* Warszawa 1981, [1, s. 33]

Lem S., *Filozofia przypadku, literatura w świetle empirii*, Kraków 1988, [s.78]

Ossowski S., *U podstaw estetyki*, Warszawa 1966

Paramón J. M., Calbó M., *Perspektywa w rysunku i malarstwie*, Warszawa 1993

Paramón J. M., *Jak rysować w perspektywie*, Łódź 2000

Read H., *O pochodzeniu formy w sztuce*, Warszawa 1973

Russo L., *Zapomniana rewolucja – grecka myśl naukowa a nauka nowoczesna*, Kraków 2005, [s. 61–62, 77–79]

Suzin L. M., *Perspektywa wykresowa dla architektów*, Warszawa 1998

Szymański W., *O pewnym przekształceniu perspektywy na tło pionowe w perspektywę na tło pochyłe*, w: Architektus 2006 nr 1(19), [s.107-113]

Thomae R., *Perspektywa i aksonometria*, 1998.

Określenie dynamiki ruchu powierzchni terenu na terenach górniczych przy wykorzystaniu danych z misji satelitarnej Sentinel

Alicja Tama [(1)], Artur Guzy [(1)] Agnieszka Malinowska [(1)]

[1] Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Akademia Górniczo – Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Alicja Tama: alicja.tama@gmail.com

Streszczenie:
Zmiany ukształtowania powierzchni terenu wywołane podziemną eksploatacją górniczą na obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego mają wpływ zarówno na przekształcenia w terenach zielonych jak i zurbanizowanych. Deformacje tego typu, które pojawiają się na obszarach intensywnie zabudowanych stanowią istotny problem, zarówno dla mieszkańców jak i przedsiębiorców górniczych. Bezpieczeństwo w tych rejonach, związane z dynamiką przekształceń powierzchni terenu, może być określane na podstawie odporności obiektów budowlanych jak i obserwowanych bądź prognozowanych deformacji powierzchni terenu. W świetle ogólnie dostępnych danych satelitarnych pojęcie monitoringu deformacji powierzchni terenu zmienia swój kontekst i znaczenie. W niniejszej publikacji zostały zaprezentowane możliwości wykorzystania danych satelitarnych z misji Sentinel do oceny ruchów powierzchni terenu w rejonie jednej z kopalń węgla kamiennego na terenie Górnego Śląska. W badaniach dowiedziono, że interferometria radarowa oraz dane satelitarne pochodzące z misji Sentinel pozwalają na określenie ruchów powierzchni terenu nawet w interwale dwu tygodniowym. Prezentowana metodyka może być wykorzystywana darmowo przez wszystkie kopalnie podziemne.

Słowa kluczowe: satelitarna interferometria radarowa, deformacje terenu, dynamika ruchów powierzchni terenu, osiadania górnicze

Determination the dynamics of terrain surface motion in mining areas with the use of data from Sentinel mission

Summary:
Changes of the terrain surface caused by underground mining exploitation in Upper Silesian Coal Basin, Poland affect both transformations in green and urban areas. Deformations of terrain surface area appearing in intensively built-up regions are significant problem regarding residents and mining entrepreneurs. Safety in these areas, related to the dynamics of surface area transformations, can be estimated on the basis of resistance of buildings to mining impacts as well as observed or forecasted deformations of surface area. In the light of publicly available satellite data, the concept of the monitoring of surface area deformation changes its context and meaning. This publication presents the possibilities of using satellite data from the Sentinel mission for assessing the movements of the surface area in the region of one of the coal mines in Upper Silesia. The conducted research has proveddata acquired from Sentinel mission allowed estimation of ground surface movements even in a two-week interval. The presented methodology canbe used free of charge by all underground mines.

Keywords: satellite radar interferometry, terraindeformation, dynamic of surfaceareamovements, miningsubsidence

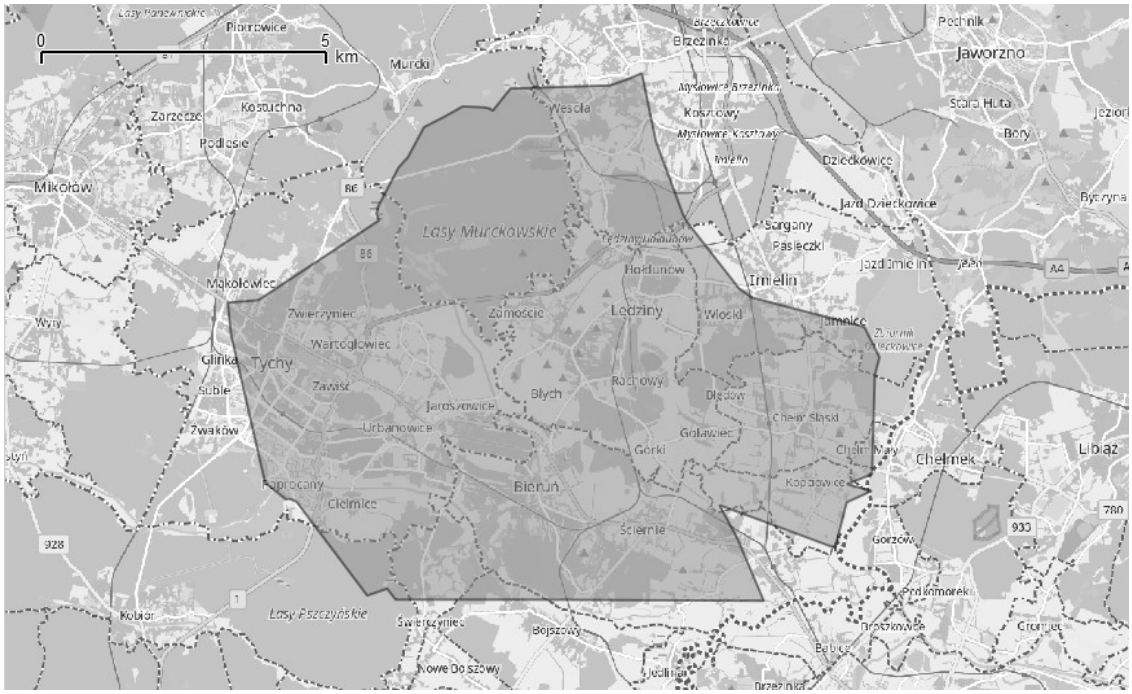
1. Wstęp

Określenie dynamiki ruchu powierzchni terenu na obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (Perskii in. 2018) możliwe jest m.in. przy wykorzystaniu metody satelitarnej interferometrii radarowej, która stosowana jest np. przy badaniu zjawisk o charakterze dynamicznym (Malinowska i in. 2017). Zjawiska te najczęściej ujawniają się w nieoczekiwanym momencie i z dużą prędkością, co skutkuje nagłymi zmianami w ukształtowaniu powierzchni terenu. Zdarzeniom tym towarzyszy pewna nieregularność

i losowość, która powoduje, że wykorzystywane w określeniu ich skutków geodezyjne pomiary klasyczne często okazują się niewystarczające (Krawczyk i in. 2012). Możliwość obserwowania zmian ukształtowania terenu (Sopata 2013) w przypadku wykorzystywania metody interferometrii radarowej nie wymaga czasochłonnego zakładania sieci punktów, wykonywania seryjnych pomiarów oraz wiąże się z możliwością częstego pozyskiwania informacji o przemieszczeniach pionowych terenu (Popiołek i in. 2008).

2. Obszar badań

Przedstawione w niniejszej pracy badania zrealizowane zostały na obszarze kopalni Ruch Ziemowit, która znajduję się na Wyżynie Śląskiej, w N-E części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Obszar górniczy przedmiotowej kopalni obejmuję powierzchnię ok. 65 km^2, a teren górniczy ok. 71 km^2 (Rys. 1). Pod względem administracyjnym, region ten obejmuje m.in. miasta: Katowice, Tychy, Mysłowice, Bieruń, Lędziny, Imielin i Chełm Śląski.



Rys.1. Obszar górniczy „Lędziny I" kopalni Ruch Ziemowit (Open Street Map, 2018)

Wydobycie węgla kamiennego w kopalni Ruch Ziemowit rozpoczęto w połowie XIX w. Aktualnie eksploatacja złoża nie metanowegoprowadzona jest w czterech rejonach wydobywczych, które zostały udokumentowane do głębokości 1000 m. Obszar eksploatacji górniczej obejmuje w ok. 85% tereny rolnicze i leśne, w mniejszej części tereny zurbanizowane.

Kopalnia znajduje się w strefie znacznego zagrożenia wodnego, z tego względu szczególną uwagę skupiono na warunkach hydrogeologicznych. W rejonie prowadzonego

wydobycia wyróżnia się trzy poziomy wodonośne: czwartorzędowy, trzeciorzędowy i triasowy (Jarząb i in. 2004). Czwartorzędowy poziom wodonośny posiada zwierciadło swobodne na głębokości od 0,2 do 2,0 m w rejonie dolin rzecznych oraz do 5,0 m w rejonach lokalnych wyniesień powierzchni terenu. Jego zasilanie odbywa się poprzez bezpośrednią infiltrację wód opadowych i rzecznych. W S części obszaru górniczego „Lędziny I" zaobserwowano lekko napięte poziomy wodonośne, natomiast w jego centralnej części, w wyniku oddziaływania leja depresji, poziom ten uległ zdrenowaniu. Trzeciorzędowy poziom wodonośny związany jest z warstwą nieprzepuszczalnych iłów i łupków o miąższości od 0,0 do 252,5 m.Zasilany jest on wodami opadowymi przez infiltrację z utworów czwartorzędowych i występuje w E i S części opisywanego obszaru górniczego. Ze względu na izolację, którą tworzy osad karbonu, jego wody nie mają wpływu na warunki hydrogeologiczne w rejonie prowadzenia eksploatacji. Wody triasowego poziomu wodonośnego są związane głównie z utworami retu i warstw gogolińskich. W N-W, centralnej i S-E części kopalni osady te występują w formie płatów i czap tektonicznych o miąższości od 0,0 do 70,0 m. Zasilanie tych utworów odbywa się głównie przez infiltrację wód opadowych lub poprzez piaszczyste utwory czwartorzędowe.

3. Metodyka badawcza

Satelitarna interferometria radarowa InSAR (ang. InterferometricSyntheticAperture Radar) jest techniką teledetekcyjną, za pomocą której można uzyskać m.in. informacje dotyczące przemieszczeń powierzchni terenu (Perski i in. 2008). Technika ta wykorzystuje różnicę faz sygnałów radarowych pochodzących z dwóch obserwacji typu SAR. Dotychczasowe badania wykorzystujące technikę satelitarnej interferometrii radarowej potwierdziły jej zastosowanie i przydatność do wyznaczania przemieszczeń pionowych na terenach górniczych (Witkowski i in. 2017).

W niniejszych badaniach wykorzystano zobrazowania satelitarne z misji Sentinel, które są nadzorowane przez Europejską Agencję Kosmiczną „ESA" (strona internetowa: www.esa.int/ESA). Operujące w ramach tego programu satelitySentinel 1A oraz 1B – z zainstalowanymi sensorami interferometrycznymi – wykonują zobrazowania radarowe powierzchni terenu odpowiednio od kwietnia 2014 r. oraz kwietnia 2016 r. Należą one do typów samodzielnych satelitów, które poruszają się po orbicie okołobiegunowej na wysokości około 800 km. Rejestracja obrazów SAR odbywa się z rozdzielczością 5 m, w pasie o szerokości 250 km. Głównym zadaniem misji jest monitoring obszarów lądowych i morskich, m.in. prowadzenie quasi-ciągłych obserwacji rozwoju terenów miejskich, stref brzegowych mórz i oceanów, obszarów leśnych, zasięgu powodzi i pożarów oraz

pozyskiwanie danych służących do zarządzania kryzysowego i bezpieczeństwa powszechnego.

Celem uzyskania informacji na temat dynamiki ruchu powierzchni na terenie górniczym kopalni Ruch Ziemowit wykorzystano ogólnodostępną platformę Open Access Hub oraz oprogramowania SNAP, SNAPHU, ArcMap i Surfer, w których wykonano niezbędne analizy. Zostały one wykonane osobno dla okresu trzech miesięcy i dwóch tygodni.

• Open Access Hub

Open Access Hub jest ogólnodostępną platformą zarządzaną przez Europejską Agencję Kosmiczną. Dane w postaci zobrazowań satelitarnych są w pełni bezpłatne dla każdego użytkownika i wybierane w kilku etapach. W pierwszym etapie należy określić obszar badań do dalszych analiz. Kolejnym etapem jest wybór konkretnej misji satelitarnej (Sentinel 1A i Sentine l1B). Następnie określany jest interwał czasu, w którym wykonane zostały zobrazowania satelitarne. Ze względu na pozyskane informacje o wstrząsie górniczym na terenie górniczym kopalni, który nastąpił początkiem listopada 2016 r., zadecydowano o wyborze dwóch okresów, tj. początek października i grudnia 2016 r. (interwał trzymiesięczny) oraz koniec października i połowa listopada 2016 r. (interwał dwutygodniowy). Pozyskane zobrazowania wykonane zostały z jednej orbity (nr 102) o tym samym kierunku przelotu (satelita wstępująca).

• Oprogramowanie SNAP i SNAPHU

Interfejs programów został opracowany w celu ułatwienia wykorzystania, przeglądania i przetwarzania różnych danych teledetekcyjnych. Praca w programie SNAP (ang. Sentinel Application Platform) polegała na odpowiednim przetworzeniu zobrazowań satelitarnych z danych czasookresów. Poniżej przedstawiono poszczególnefunkcje wraz z najważniejszymi parametrami charakteryzującymi uzyskany produkt z programu SNAP (Tab.1). Etapy te zostały powtórzone dla każdej pary obrazów satelitarnych.

W wyniku przeprowadzonych w programie SNAP obliczeń uzyskane zostały interferogramy prezentujące zmiany wysokości powierzchni terenu w badanych czasookresach w postaci różnic faz sygnałów fal radiowych w zakresie -2π do 2π. W celu uzyskania pełnej informacji o ruchach powierzchni, przeprowadzono proces tzw. rozwinięcia fazy, który zrealizowano przy pomocy oprogramowania SNAPHU. Finalnie, na podstawie wzoru (1), obliczone zostały wartości metryczne ruchów powierzchni terenu w kierunku przelotu satelity „LOS" (ang. Line of Sight).

$$h = \frac{\lambda \cdot R \cdot sin\theta}{B} \tag{1}$$

gdzie:

h – wyznaczana wysokość,

λ – długość fali radarowej,

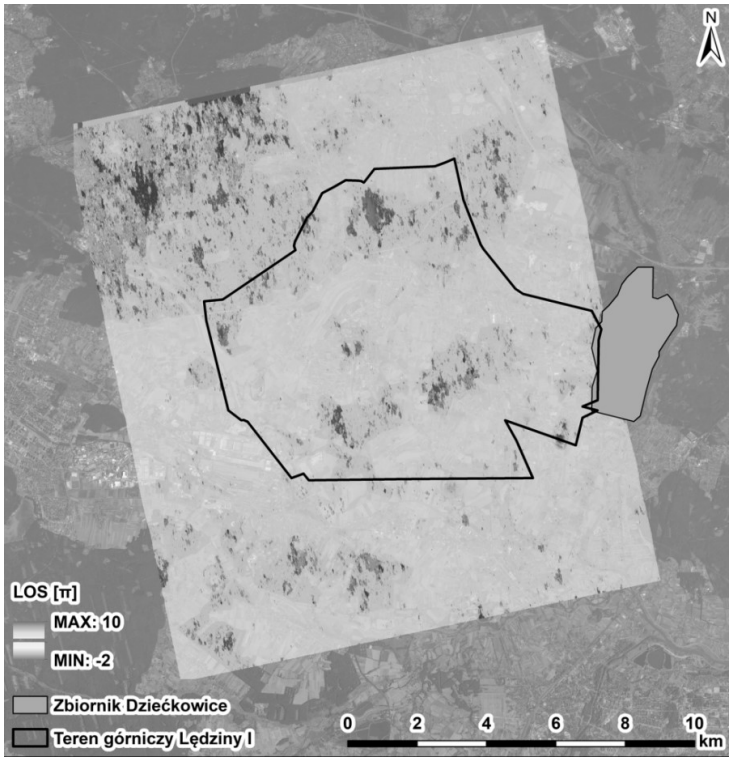
R – wysokość orbity,

θ– kąt padania wiązki radarowej,

B – odległość bazowa.

Tabela 1. Wykorzystane funkcje do analizy wraz z parametrami w programie SNAP (opracowanie własne)

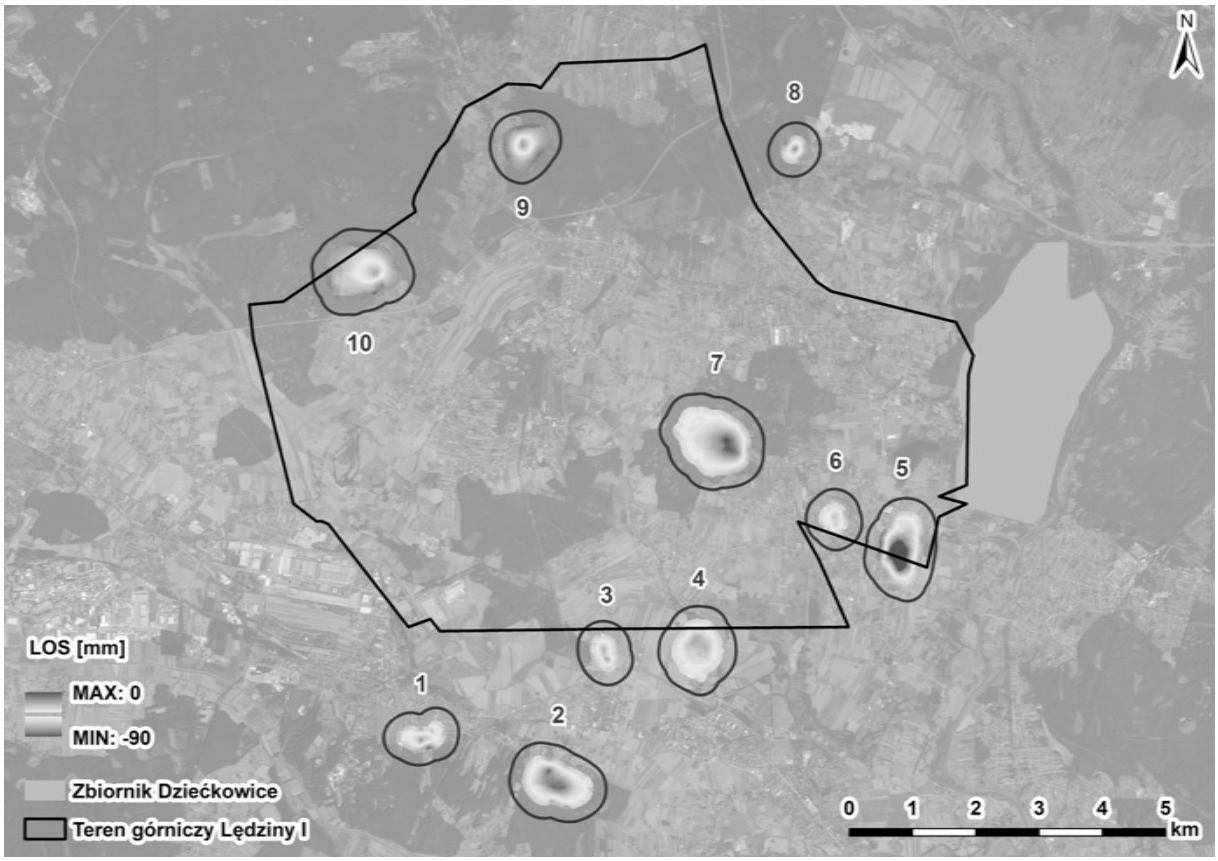
Nazwa funkcji	Parametry
Sentinel 1TOPS Split	Polarisations: VV Subswath: IW1 Burst: 6-9
Apply Orbit File	Orbit StateVectors: SentinelPrecise (Auto Download) PolynominalDegree: 3
S1 – BackGeocoding	DEM: SRTM 1Sec HGT DEM Sampling Method: Bisinc 5 Point Interpolation ResamplingType: BicubicInterpolation
S1 EnhancedSpectralDiversity	Windowoversamplingfactor: 256 CoherenceThreshold: 0.2
InterferogramFormation	domyślnie
S1 Deburst	domyślnie
TopographicPhaseRemoval	DEM: SRTM 1Sec HGT
Specify Product Subset	ograniczenie do obszaru badań
Goldstein PhaseFiltering	AdaptiveFilterExponent: 0.05



Rys.2. Interferogram po rozwinięciu fazy - funkcja Unwrapping, okres dwutygodniowy, oprogramowanie SNAP (opracowanie własne)

5. Wyniki prac badawczych

Dla okresu trzymiesięcznego (początek października -początek grudnia 2016r.) i dla okresu dwutygodniowego (koniec października-połowa listopada 2016r.) zaobserwowano znaczne różnice w wartościach przemieszczenia LOS. W przypadku okresu trzymiesięcznego wartości przemieszczeń LOS sytuowały się w granicach od -140 mm do +260 mm, natomiast dla okresu dwutygodniowegow granicach od -90 mm do +15 mm. Wykonane badania potwierdziły tezę, że zbyt długie okresy między kolejnymi zobrazowaniami mogą wpłynąć na zaburzenie sygnału radarowego oraz dokładność uzyskanych wyników (Porzycka i in. 2007). Znaczne różnice w wynikach mogły być wywołane przez wiele czynników, m.in. szumy występujące na interferogramie wynikające z zakłóceń atmosferycznych lub zbyt długi okres między analizowanymi zobrazowaniami (Weii in. 2017). Z tego względu, dalszym analizom poddano wyniki przemieszczeń powierzchni terenu uzyskane na podstawie interferogramów, które pozyskane zostały w interwale dwóch tygodni (Rys.3). Na analizowanym obszarze zaobserwowano powstanie 10 niecek obniżeniowych w okresie od 31 października do 12 listopada 2016 r.



Rys.3. Mapa w kierunku LOS dla okresu 31.10-12.11.2016 r.

Maksymalne wartości przemieszczeń LOSodczytano z mapy dla każdej niecki obniżeniowej, a wyniki przedstawiono w Tab.2.

Tab.2. Maksymalne wartości przemieszczeń pionowych występujących na obszarze niecek obniżeniowych

Numer niecki obniżeniowej	Maksymalna wartość przemieszczenia pionowego [mm]
1	-49
2	-55
3	-46
4	-44
5	-90
6	-42
7	-55
8	-45
9	-48
10	-43

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, żeniecki obniżeniowe powstały głównie w dwóch obszarach terenu górniczego kopalni: w południowej i północnej części. Niecki obniżeniowe nr 1 i 2 powstały poza granicami terenu górniczego, a wartości przemieszczeń pionowych osiągnęły wartości około 50 mm. Niecki obniżeniowe nr 3,4,5 i 6 powstały na granicy terenu górniczego. Osiadania na tym obszarze wyniosły ponad 40 mm (niecka nr 3,4 i 5), z czego największe zaobserwowano dla niecki nr 6 - aż 90 mm. W centralnej części obszaru badań zaobserwowano powstanie jednej niecki obniżeniowej – nr 7, dla której wartość przemieszczenia pionowego wyniosła ponad 50 mm. W północnej części terenu górniczego powstały trzy niecki obniżeniowe. Dla niecki nr 8, leżącej poza terenem górniczym, wartość osiadań wyniosła-45 mm. Dla niecki nr 9 przemieszczenia pionowe osiągnęły wartość do 50 mm. Dla ostatniej zaobserwowanej niecki nr 10, znajdującej się na granicy terenu górniczego, osiadania wyniosły ponad 40 mm. Dodatkowo stwierdzono, że niecki nr 3,4,5 i 6 powstały na terenie zabudowanym i zurbanizowanym w obszarze miejscowości Chełm Śląski i Bieruń. Natomiast pozostałe niecki tj. 1,2,7,8,9 i 10 na terenie leśnym i rolnym w miejscowościach Bieruń, Imielin, Lędziny i Mysłowice. Ważnym jest też zaobserwowanie dwóch niecek obniżeniowych nr 5 i 6 w południowo – zachodniej części zbiornika wodnego Dziećkowice. Właśnie na tym obszarze nastąpiły największe osiadania, co może mieć w dużym stopniu wpływ na stan techniczny zabezpieczeń zbiornika wodnego.

6. Dyskusja

Opierając się na uzyskanych w niniejszych pracach badawczych wynikach, można stwierdzić, że w przypadku terenów górniczych, dla których zachodzą dynamiczne ruchy powierzchni terenu technika InSAR jest jednym z lepszych rozwiązań, które pozwala na uzyskanie wyników dla konkretnego interwałuczasowego, na znacznym obszarze jednocześnie. Stosowane naziemne technologie pomiarowe nie umożliwiają wyznaczenia w podobnym interwale czasowym deformacji tego typu na obszarach o znacznych powierzchniach. Dla dwutygodniowego interwału przemieszczenia pionowe zachodzące

na terenie górniczym przedmiotowej kopalni dochodziły do wartości kilkudziesięciu mm. Otrzymane wyniki potwierdziły, że ujawniające się wpływy podziemnej eksploatacji górniczej mają charakter dynamiczny. Kolejnym pozytywnym aspektem wykorzystywanej metody jest także mała ilość informacji, jaka potrzebna jest do wykonywania specjalistycznych analiz. Należą do nich dane o lokalizacji w czasie danego zjawiska oraz przybliżone miejsce występowania. W przypadku omawianej kopalni, jednym z czynników, który decydował o uzyskanych wartościach przemieszczeń było pokrycie terenu (przeważające występowanie terenów rolnych i leśnych). Wobec powyższych, korzystniejszym rozwiązaniem byłoby wykorzystanie techniki interferometrii radarowej PSInSAR, która pozwala na wyeliminowanie wpływów tzw. szumów na wartość sygnału fazy fali radiowej utożsamianej z przemieszczeniem badanego obiektu, który nie jest możliwy do pełnej detekcji przy zastosowani techniki DInSAR. PSInSAR, opierając się na dodatkowych parametrach takich jak poprawka atmosferyczna, powoduje, że wyznaczane przemieszczenia powierzchni mogą być pozyskane z dokładnością pojedynczych milimetrów.

7. Wnioski

W przypadku analizowanego terenu górniczego kopalni węgla kamiennego RuchZiemowit stwierdzono, że technika satelitarnej interferometrii radarowej InSARpozwala na określenie dynamiki ruchów powierzchni terenu wraz z wyznaczeniem konkretnych wielkości i miejsc zmian. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że w analizowanym interwale czasowym, przemieszczenia powierzchni LOS zachodzące na terenie górniczym kopalni osiągnęły wartości do kilkudziesięciu mm. Tej wielkości zmiany dynamiczne mogą mieć istotny wpływ na ukształtowanie powierzchni terenu, ze względu na szybkość ich ujawniania się. Dzięki misji Sentinel zobrazowania radarowe są darmowe dla każdego użytkownika, istnieje również możliwość przetwarzania tych danych w oparciu o oprogramowania typu freeware. Tego typu rozwiązania mogą być wykorzystywane z powodzeniem na całym świecie pod warunkiem, że charakter występujących zjawisk jest dynamiczny oraz obszar, dla którego wykonywane są analizy posiada odpowiednie zagospodarowanie terenu (tereny zabudowane i zurbanizowane). Czynnikiem ukazującym zależność między pozyskaną dokładnością a pokryciem danego terenu jest współczynnik koherencji. Wyższa wartość tego parametru świadczy o większym stopniu zagospodarowania danego terenu oraz kompatybilności zobrazowań satelitarnych, co w sposób bezpośredni wpływa na uzyskaną dokładność wyników.

8. Literatura

Graniczny M., Przyłucka M., 2015. Kompleksowe wykorzystanie przetworzeń DInSAR i PSInSAR w badaniu pionowych przemieszczeń terenu w wybranych rejonach GOP. Przegląd Górniczy T.71, nr 3, 82.

Jarząb J., Jańczyk P., Chylak A., 2004. Program ochrony środowiska gminy Lędziny. Załącznik nr 1 do uchwały Rady Miasta Lędziny Nr XXV/141/04 z dnia 29 czerwca 2004., 20-21.

Krawczyk A., Sopata P., Stoch T., 2012. Ocena możliwości wykorzystania InSAR do monitoringu deformacji wywołanych eksploatacją ściany 335 pokładu 209 kopalni ZG „Sobieski". Przegląd Górniczy T.68, nr 68, 204 – 208.

Malinowska A., Witkowski W., Guzy A., Hejmanowski R., 2017. Badania dynamicznych zjawisk przemieszczeniowych z wykorzystaniem radarowych zobrazowań satelitarnych Sentinel. Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią, nr 101, 229 – 246.

Mleczko M., Mróz M., 2012. Ewolucja technik interferometrii radarowej – przegląd metod na przykładzie opracowania danych ERS-1/2 SAR. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji Vol.24, 221 – 229.

Perski Z., Krawczyk A., Marinkowic P., 2008. Satelitarna interferometria radarowa (InSAR) wysokiej rozdzielczości z wykorzystaniem danych TerraSar-X. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji Vol. 18, 3.

Perski Z., Mróz M., 2018. The integration of optical and InSAR data for land subsidence monitoring and itsimpact on environment of the Upper SilesianCoalBasin. Geoinformation for European-Wide Integration, 621 – 624.

Popiołek E., Bachowski C., Krawczyk A., Sopata P., 2004. Próba wykorzystania interferometrii radarowej InSAR do monitoringu wpływów eksploatacji złoża rud miedzi w LGOM. Szkoła Eksploatacji Podziemnej, Polska Akademia Nauk, AGH, 2.

Popiołek E., Sopata P., 2008. Możliwości wykorzystania metody InSAR w monitoringu zagrożenia terenów górniczych. Warsztaty Górnicze, 264 – 265.

Porzycka S., Leśniak A., 2007. Przetwarzanie obrazów radarowych techniką PSInSAR. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji Vol.17b, 662.

Sopata P., 2013. Wykorzystanie satelitarnej interferometrii radarowej InSAR w badaniach i prognozowaniu pogórniczych zmian powierzchni terenu. Rozprawy Doktorskie. Monografie / Akademia Górniczo – Hutnicza, 94 – 98.

Wei T., Ming-Sheng L., Li Z., Lu Z., 2017. Study on InSAR tropospheric correctionusingglobalatmosphericreanalysis products. ChineseJournal of Geophysics, Edition 60, 527 – 540.

Witkowski W., Malinowska A., Hejmanowski R., 2017. Rozważania nad dokładnością zobrazowań satelity Sentinel-1A wykorzystanych na terenach górniczych. Przegląd Górniczy T.73, nr 1, 78.

Strona internetowa: https://scihub.copernicus.eu

Strona internetowa: http://geoserwisy.pl

Strona internetowa: https://www.pgg.pl

Strona internetowa: http://step.esa.int/main/toolboxes/snap

Koncentracja na rynku morskich przewozów kontenerowych

Mateusz Truszczyński [(1)]

[1] Akademia Morska, Wydział Nawigacyjny
Mateusz Truszczyński: Mateusz.truszcz@gmail.com

Streszczenie
Praca ma charakter przeglądowy. Głównym tematem jest analiza koncentracji na rynku morskich przewozów kontenerowych. W pracy przeanalizowane zostały zmiany własnościowe i kooperacyjne z lat 2015-2018. Zmiany te miały kluczowe znaczenie dlakondycji rynku morskich przewozów kontenerowych, wymuszając reorganizację wśród terminali kontenerowych, załadowców, firm spedycyjnych i innych biorących udział w morsko-lądowych kontenerowych łańcuchach dostaw. W podsumowaniu wysnuto wnioski odnośnie dalszych tendencji panujących na rynku przewozów kontenerowych.

Słowa kluczowe: konteneryzacja, alians, koncentracja

Concentration on the container shipping market

Summary
The work is a review. The main topic is the analysis of concentration on the market of container shipping. Int the paper was analyzed the ownership and cooperative changes from period 2015-2018. These changes were crucial for the condition of the container shipping container market, enforce reorganization among container terminals, shippers, forwarding companies and others taking part in sea-land container supply chains. In conclusion, conclusions have been drawn regarding further trends prevailing in the container transport market. At the end was presented conclusions regarding trends in the container shipping market.

Keywords: containerization, alliance, concentration

1. Wstęp

Wygląd współczesnych morsko-lądowych kontenerowych łańcuchów dostaw jest wynikiem kilkudziesięciu lat ewolucji tego typu transportu. Początkowo przedsiębiorstwami wyspecjalizowanymi w transporcie kontenerów byli wyłącznie armatorzy, którzy wprowadzili nowy typ jednostki transportowej-kontenera. Efektywność transportu w nowej jednostce, przyczyniła się do coraz większego wzrostu jego popularności. Wzrost popularności przyczynił się do znacznego wzrostu wolumenu transportowanych w niej ładunków oraz rozszerzenia obszarów działania firm związanych z transportem kontenerowym.

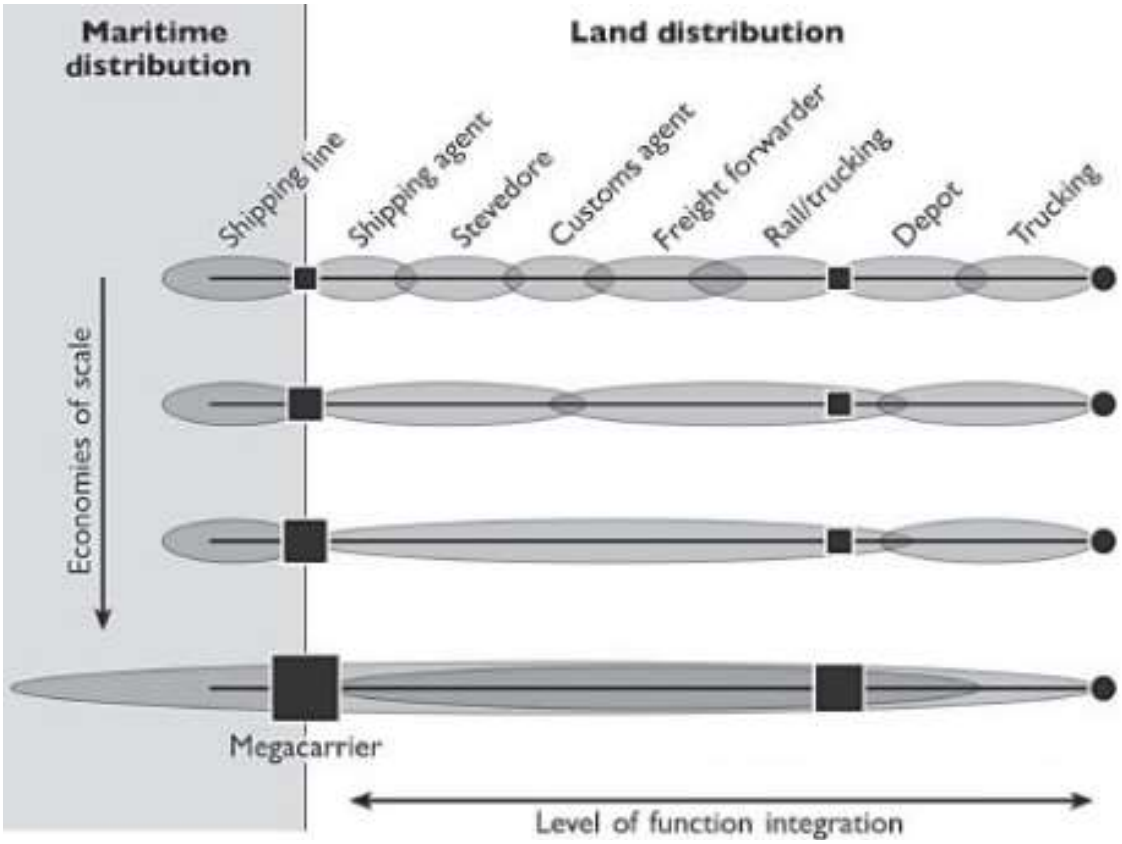
Obecnie w transporcie kontenerowym możemy wyróżnić, co najmniej kilkanaście typów zaangażowanych przedsiębiorstw. Przedsiębiorstwa te prezentuje Rys.1. Wśród nich możemy wyróżnić (Rodrique i in. 2013):

- przewoźników drogowych (ang. Trucking), realizujących przywozy/odwozy drogowe z terminali kontenerowych,
- depoty (ang. Depot), przedsiębiorstwa wspomagające logistykę pustych kontenerów. Depoty zajmują się składowaniem, naprawami i konserwacją pustych kontenerów. Składowanie kontenerów w 2 linii portowej przyczynia się

do lepszego wykorzystania zasobów posiadanych przez terminale, które mogą skupić się na operacjach przeładunkowych,

- przewoźników intemodalnych (ang. Rail/trucking), przedsiębiorstwa zajmujące się organizacją kolejowo-drogowych łańcuchów dostaw zajmujący się odwozów i przywozami kontenerów z terminalu morskich do klientów w głębi kraju. Przewozy intermodalne oparte są przede wszystkim o regularny harmonogram, który jest zintegrowany z zawijaniem statków kontenerowych do portów morskich. Aby zrealizować łańcuch dostaw w relacji drzwi-drzwi przewoźnicy intermodalni na „ostatniej mili" współpracują z przewoźnikami drogowymi ponieważ znikoma liczba przedsiębiorstw ma możliwość korzystania z własnej bocznicy kolejowej,
- spedytorów (ang. Freightforwarders), przedsiębiorstwa organizujące łańcuch dostaw. W kontenerowych łańcuchach dostaw spedytorzy pełnią rolę pośrednika pomiędzy klientami (producentami), a armatorami. Przedsiębiorstwa spedytorskie kumulują potencjał załadunkowy małych i średnich producentów dzięki czemu również oni są w stanie korzystać z usług armatorów kontenerów którzy sprzedają dostępne sloty na statkach w ilościach hurtowych,
- agencje celne (ang. Customs agent), firmy specjalizujące się w dopełnianiu wszelkich obowiązków celnych. Ich zadaniem jest wsparcie klienta w zapłaceniu wszystkich ceł i podatków zgodnie z obowiązującymi aktami prawnymi,
- pracowników portowych (ang. Stevedore), przedsiębiorstwa zajmujące się sztauowawniem ładunków na statkach, obecnie pełnią swoją rolę wykorzystując różne urządzenia takie jak dzwigi portowe czy suwnice. Poza załadunkiem i rozładunkiem statku, zajmują się również obsługą statków w porcie, tj. cumowaniem, odbiorem nieczystości itp.
- agentów statkowych (ang. shipping agent), przedsiębiorstwa, które reprezentują armatora wobec administracji państwowej, portów i terminali na określonym terytorium. Organizuje wszystkie potrzebne dokumenty niezbędne do obsługi w danym porcie/terminalu, dochodzi również wszystkich roszczeń armatora wobec innych podmiotów,
- armatorów (ang. Shippingline), eksploatatorów statków własnych lub wyczarterowanych, którzy udostępniają odpłatnie przestrzeń ładunkową, co

może być równoznaczne z usługą transportową świadczoną od portu załadunku do portu rozładunku. Obecnie jednak dążą, dzięki kooperacji z innymi uczestnikami kontenerowego łańcucha dostaw lub w oparcie o usługi posiadanych przedsiębiorstw, do oferowania transportu „door to door".



Rys.16. Koncentracja przedsiębiorstw w morskim systemie transportowym (źródło: (Rodrique i in. 2013)

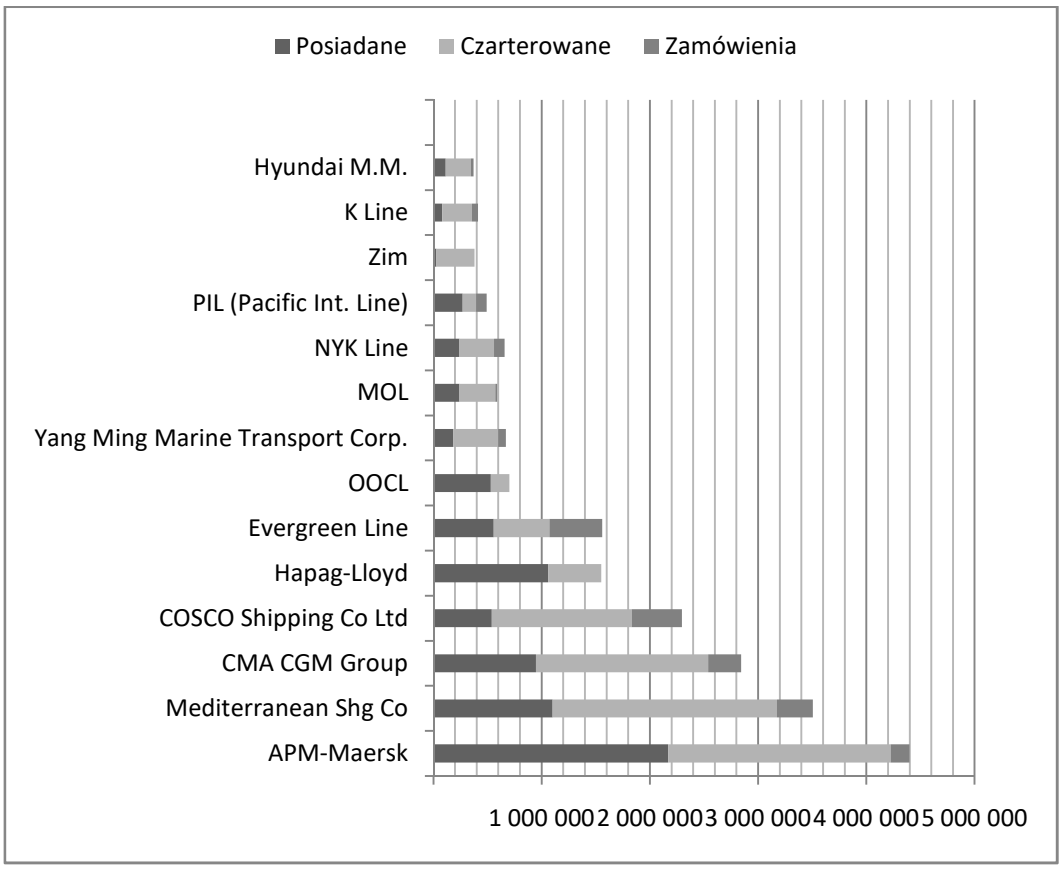
Jak możemy wyczytać z Rys 1. wyżej wymieni uczestnicy kontenerowych łańcuchów dostaw mogą przeprowadzać koncentracje o charakterze poziomą (dążenie do osiągnięcia efektu skali) lub pionową (koncentracja w zakresie zwiększania obszarów funkcjonowania). Koncentracja ogniw sprawia, że przedsiębiorstwo posiada coraz szersze kompetencje, dzięki którym może czerpać bardziej zróżnicowane korzyści. Jedną z nich jest fakt, że angażując klienta w jedną usługę dostarczoną przez dany podmiot gospodarczy, mamy większą szansę, że klient skorzysta również z innych usług przedsiębiorstwa. Można przedstawić to na przykładzie, gdzie klient, który kupuje od firmy X usługi spedycyjne, z większym prawdopodobieństwem zakupi od niej usługę odprawy celnej. Firma X posiadając własną flotę samochodową, będzie mogła zorganizować dostawę do klienta opierając się właśnie o nią. Co więcej, firma X może należeć do przedsiębiorstwa armatorskiego Y, dzięki czemu, również skorzysta właśnie z frachtu armatora Y. Skutkuje to tym, że poza zwiększeniem popytu na usługi danych firm, integracja sprzyja redukowaniu kosztów łańcucha dostaw. Firmy blisko ze sobą współpracujące, posiadające wspólnego właściciela zwiększają

przejrzystość łańcucha dostaw a ich systemy mogą być zintegrowane, dzięki czemu możliwa jest lepsza kontrola łańcuch dostaw. Zintegrowanie systemów informatycznych niesie możliwość lepszego zarządzania, gdzie z kontrolowania przepływu pełnych kontenerów, przechodzimy do kontroli przepływu dóbr bezpośrednio od klienta do odbiorcy. Umożliwia to także firmy transportowe posiadają systemy zintegrowane zarówno z systemami produkcji załadowcy jak również systemami handlowymi odbiorcy. Taka integracja pozwoliłaby na szybsze reagowanie łańcucha dostaw na zmiany zachodzące w handlu, pozwoliłaby również lepiej planować inwestycje w łańcuchu dostaw, dzięki czemu np. można by nie generować nadpodaży w frachcie kontenerowym, a zwiększyć efektywność np. przeładunków w terminalach (Rodrique i in. 2013). Niezależnie od tego w którym kierunku przedsiębiorstwo planuje się rozwijać, do rozwoju niezbędny jest znaczny kapitał, czy to w postaci zasobów pieniężnych czy w postaci odpowiedniego „knowhow". Jedynie odpowiednio duże przedsiębiorstwa, najczęściej przedsiębiorstwa armatorskie są w stanie dążyć do integracji.

2. Armatorzy w morskich łańcuchach dostaw

Na świecie funkcjonuje ponad stu armatorów kontenerowych. Według szacunków obecnie eksploatują 6 060 statków kontenerowych o łącznej ładowności 21 711 832 TEU. Na funkcjonowanie morskiego systemu kontenerowego główny wpływ mają armatorzy z pierwszej czternastki, licząc pod względem pojemności (w TEU) eksploatowanej floty. Pierwsza szesnastka armatorów operuje 3 250 statkami, co daje blisko 18 300 000 TEU pojemności. Ich model funkcjonowania można określić, jako oligopol, ponieważ kontrolują blisko 85% rynku kontenerowego (Alphaliner 2018). Wszyscy oferują konsumentom podobny produkt-frach kontenerowy. Działania inwestycyjne jednego armatora pociągają innych armatorów do podejmowania podobnych posunięć. Wielkość działalności, jaką udało im się uzyskać przez kilkadziesiąt lat funkcjonowania, sprawia, że rynek ten cechuje się bardzo wysokimi barierami wejścia (Morza i Oceany 2015). Nowi uczestnicy rynku, a nawet armatorzy działający od lat, ale będący przedsiębiorstwami małego lub średniego rozmiaru nie są w stanie konkurować globalnie, a mogą konkurować jedynie na runkach lokalnych. Globalnym potentatem w żegludze kontenerowej jest założona w 1928 roku duńska firma- Maersk Line. Początkowo zajmowała się żeglują trampową, pierwszego transportów kontenerów dokonała w 1968 roku, 12 lat po zapoczątkowaniu rewolucji kontenerowej (Maersk Line 2017). Obecnie firma operuje ponad 800 statkami kontenerowymi, o pojemności przekraczającej 4 200 000 TEU, co daje jej pozycję niekwestionowanego lidera z blisko 20% udziałem w runku. Drugą, co do wielkości firma – MSC, posiada ponad 500

statków, o łącznej pojemności blisko 3 200 000 TEU, co daje jej blisko 15% udziałów w rynku kontenerowym. Rozpoczynała ona działalność na rynku żeglugowym w latach 70. XX wieku w Brukseli od przewozu ładunków masowych (MSC 2017). Trzecia, co do wielkości, francuska firma CMA CGM została założona 1978 roku, operowała jednym statkiem na trasie pomiędzy Bejrutem, Latakią, Marsylią i Livorno (CMA CGM 2017). Obecnie operuje flotą ponad 500 statków, o pojemności ponad 2 500 000 TEU, co daje jej blisko 12% udziału w rynku. Inni armatorzy zazwyczaj mieli podobną historię, zaczynając swoją działalność w 2. połowie XX wieku bezpośrednio od żeglugi kontenerowej. Historia ta tyczy się przede wszystkim azjatyckich armatorów, którzy mieli obsługiwać lokalny eksport, takich jak Chiński - COSCO Shipping Co, tajwański Evergreen czy Yang Ming. Inni armatorzy zaczynali swój rozwój w żegludze kontenerowej, przechodząc od operowania konwencjonalnymi statkami drobnicowymi, do operowania statkami kontenerowymi. Ich przykładem są niemieckie przedsiębiorstwa Hamburg Sud, czy Hapag-Lloyd (Alphaliner 2018). Wielkości flot najważniejszych armatorów (posiadających pow. 1% udziału w światowym tonażu) prezentuje Rys. 2. Rysunek obrazuje obecny stan floty oraz jej perspektywy rozwoju po realizacji aktualnych zamówień na statki kontenerowe.



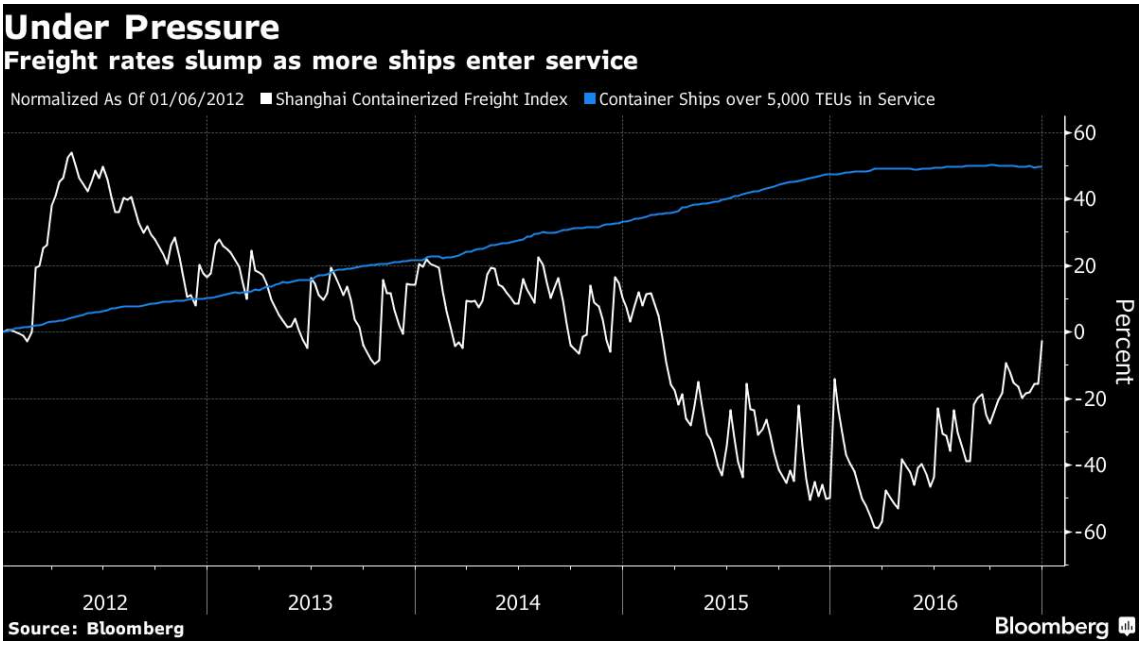
Rys. 17. Główni armatorzy kontenerowi świata, (o udziale powyżej. 1% udziału w światowym tonażu) ich aktualna wielkość floty posiadanej, czarterowanej i zamówienia. (źródło: opracowanie własne na podstawie Alphaliner 2018)

Jak widać największych przyrostów bezwzględnych w wielkości można oczekiwać od największych armatorów. Obecnie na realizację zamówień przekraczających 300 000 TEU oczekują następujący armatorzy: MSC, CMA CGM, COSCO Shipping, oraz Evergreen. Dla MSC i CMA CGM będą to przyrosty rzędu około 10% aktualnie posiadanej floty. Wśród największych najagresywniejszą polityką inwestycyjną charakteryzują się Cosco oraz Evergreen, którzy po realizacji oczekujących zamówień zwiększą swoje floty o odpowiednio 25,3% i 45,8%. Wśród największych armatorów, którzy są w stanie samodzielnie uruchamiać serwisy RTW jedynie Hapag-Lloyd i OOCL nie mają obecnie rozbudowanego portfela zamówień. W przypadku Hapag-Lloyd wynika to po części z realizacji jego planów inwestycyjnych, a z drugiej strony na zwiększaniu udziału w przewozach poprzez fuzje i przejęcia (ang. Merges&Aqquistion- M&A), w przypadku OOCL wynika to ze zrealizowania już w portfela zamówień. Spośród średnich armatorów (wielkość floty 300 000–1 000 000 TEU) najagresywniejszą politykę ma PIL, który z zamówieniami przekraczającymi 24,3% obecnie eksploatowanej floty, zniweluję różnicę i będzie mieć porównywalną flotę do Yang Ming, MOL czy NYK Line. Trzeba pamiętać, że przewidywania te są aktualne na styczeń 2018 roku. Porównując wielkość eksploatowanej floty wielu armatorów zwiększyło ją o ponad 20% w stosunku do wielkości z początku 2017 roku (Truszczyński i in. 2017) Zmiany na rynku żeglugowym w postaci np. spadku cen frachtowych, upadku jednego z głównych armatorów, spowolnienia wymiany handlowej, mogą znacząco zmienić wielkość inwestycji. Ważną cechą dla tej analizy jest również wskazanie, iż armatorzy nie są tożsami z właścicielem statku. Nawet w Polskich prawodawstwie podaje się, że „armatorem jest ten, kto we własnym imieniu uprawia żeglugę statkiem morskim własnym lub cudzym”(Wojewódzka-Król i in. 2016)

Oznacza to, więc, że wielkość floty obecnie i w przyszłości eksploatowanej może się zmieniać w sposób dość płynny i armatorzy mogą w znacznym stopniu dostosowywać wielkość eksploatowanej floty poprzez czarterowanie jednostek w chwilach większego zapotrzebowania. W przypadku spadających cen frachtowych armatorzy wolą odłożyć realizację własnych inwestycji w czasie, aby nie generować jeszcze większej nadpodaży mocy przewozowych. Z kolei w przypadku zwiększonego zapotrzebowania na transport armatorzy są gotowi składać nowe zamówienia na statki lub brać nowe jednostki w czarter, który jest dla nich dużo bardziej elastyczny i pozwala na bieżąco dostosowywać wielkość eksploatowanej floty do aktualnego zapotrzebowania.

Obecna sytuacja na rynku żeglugi kontenerowe w znaczącym stopniu jest wynikiem tego, jak armatorzy kształtowali swoją politykę inwestycyjną po kryzysie z 2008 roku. Od

kryzysu handel międzynarodowy nie rośnie w takim tempie, jakiego oczekiwaliby armatorzy. W związku, z czym ich polityka inwestycyjna nie jest dopasowana do przyszłych wymagań rynku. Przyrosty floty przez ostatnie lata był większe niż wzrost zapotrzebowania na transport kontenerowy. Świetnie to ilustruje Rys. 3. Rysunek ten ukazuję dywergencję, jaka istniała pomiędzy ilością eksploatowanych statków kontenerowych o pojemności powyżej 5 000 TEU, a stawkami frachtowymi na głównym szlaku handlowym świata. Kolejne jednostki były wprowadzane, by uzyskać efekt skali dzięki niższym kosztom jednostkowym, jednak nadpodaż wynikająca ze zwiększania się floty sprawiała, że statki, albo pływałyby niezapełnione ładunkiem, albo armatorzy musieli się decydować na odstawianie części statków na redy. Aby przyciągnąć do siebie klientów od konkurencji, armatorzy obniżali cenę frachtu do poziomów dumpingowych, które sprawiały, że biznes zaczynał przynosić straty. Nikt nie był gotowy do tego, aby podnieść stawki, ponieważ wtedy załadowcy wybraliby konkurencję.



Rys. 18. Dynamika cen transportu kontenera 20-stopowego z Azji do Europy (źródło: Bloomberg 2017)

Dalsze dążenie do wzrostu armatorów przez zatrudnianie nowych statków okazało się niemożliwe. Armatorzy kontenerowi musieli, więc wrócić modelu, który wykorzystywali już w latach 90. I na początku XX wieku. – wzrostu przedsiębiorstw przez liczne fuzje oraz przejęcia oraz nawiązywanie aliansów żeglugowych. Obecnie nikt nie pamięta o wielu firmach, które niegdyś grały znaczącą rolę na rynku żeglugowym. Wynika to z tego, że firmy te zniknęły z rynku w wyniku przejęcia przez inną linię lub zrezygnowania z działania na

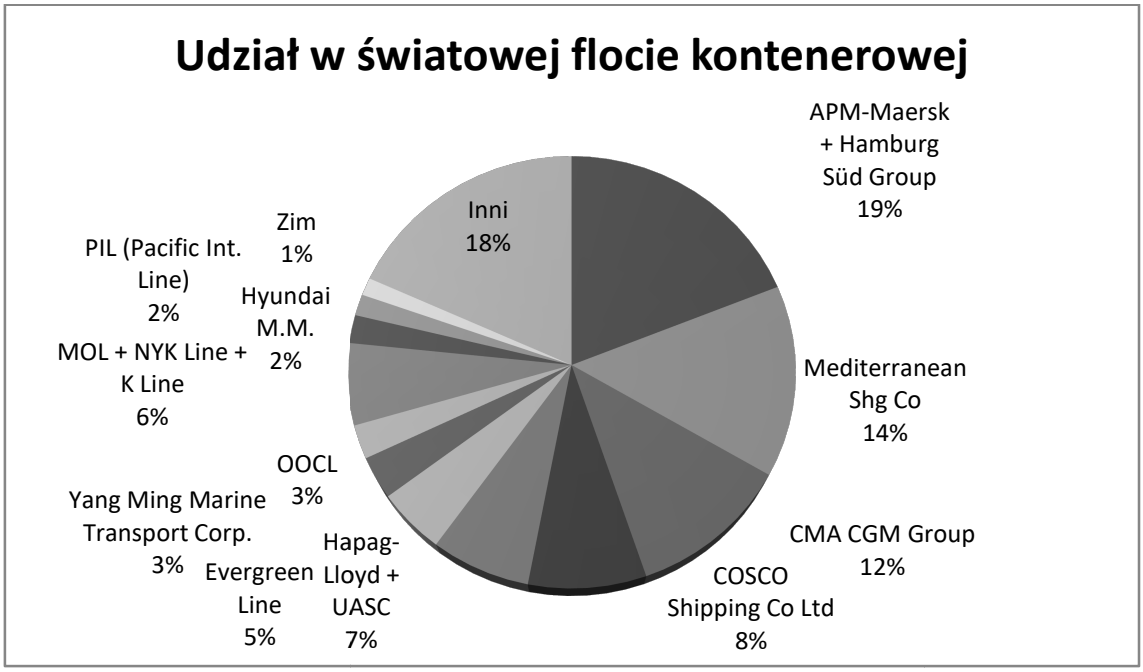
rynku żeglugi kontenerowej. Do głównych zmian, jakie miały miejsce w ostatnich latach lub są w toku należą (Bloomber 2017)

- fuzja China Ocean Shipping Group oraz China Shipping Group, która odbyłą się pod koniec 2015 roku w wyniku której powstał China Cosco Shipping Corp. – największy azjatycki armator,
- zakup na poczatku 2016 roku 2016 roku Neptune Orient Lines Ltd, posiadacza APL, przez trzeciego armatora świata CMA CGM,
- zakup w 2016 roku United Arab Shipping Co. przez największego niemieckiego armatora Hapag-Lloyd.
- w grudniu 2016 roku największy armator świata porozumiał się z drugim, co do wielkości niemieckim armatorem – Hamburg Sud odnośnie jego przejęcia przez Maersk Line.

Fuzjami i przejęciami, które dopiero nastąpią jest:

- fuzja japońskich armatorów – Nippon Ysusen KK, Mitsui O.S.K. Lines Ltd. oraz Kawasaki Kisen Kaisha Ltd. Najwięksi z japońskich armatorów utworzą przedsiębiorstwo, które zacznie działalność operacyjną od kwietnia 2018 roku,

Udział poszczególny firm, które powstaną po zakończeniu obecnej fali fuzji i przejęć przedstawia Rys. 4.



Rys. 4. Udział 16 głównych armatorów kontenerowych w świata po fuzjach i przejęciach (źródło: opracowanie własne na podstawie: Aplhaliner 2018 i Bloomber 2017)

Wraz ze wzrostem przedsiębiorstw armatorskich zmienia się wygląd morskich łańcuchów kontenerowych. Duże przedsiębiorstwa dążą nie tylko do generowania zysków i zaspokajania określonych potrzeb transportowych. Dla największych armatorów coraz ważniejszym czynnikiem jest udział przedsiębiorstwa w rynku. Wraz ze zwiększającym się udziałem w rynku przedsiębiorstwo ma coraz lepszą pozycję negocjacyjną wobec innych ogniw łańcucha, a w szczególności terminali kontenerowych. Terminale kontenerowe, nawet będąc zrzeszone w globalnych korporacjach, nie są w stanie kreować potoków ładunkowych przez nieprzepływających, natomiast mogą te potoki wspierać lub hamować. Potoki ładunkowe kreują armatorzy decydując się o utworzeniu lub zaniechaniu połączeń z danymi terminalami.

3. Alianse

Fuzji i przejęć nie należy utożsamiać z jedynym, ze sposobów zwiększenia konkurencyjność armatorów. Kolejnym, nie mniej ważnym rozwiązaniem jest współdziałanie linii żeglugowych w aliansach. Są one formą współpracy pomiędzy armatorami, w której członkowie zachowując odrębność instytucjonalną tj, prowadząc własne biura obsługi klienta, własną sieć sprzedaży, odrębne działy operacyjne, zgadzają się na działanie na zasadach vesselshareagrement. (VSA). VSA oznacza, że serwisy, na których alians zdecydował się współpracować, są obsługiwane wspólnie przez wszystkich członków z aliansu. Dzięki temu armator wprowadzając do serwisu tylko cześć z wszystkich statków go obsługujących może wysyłać swoje towary na każdym ze statków go obsługujących. Zdarza się, że podział jest inny i jeden z armatorów w całości obsługuje dany serwis, użyczając miejsce na swoich statkach, za co w zamian ma możliwość z korzystania z serwisów obsługiwanych przez inne przedsiębiorstwa. Oczywiście alokacja, jaka jest zarezerwowana dla danego armatora jest zależna od wielkości jego wkładu w funkcjonowanie aliansu oraz wielkość obsługiwanych przez niego potoków ładunkowych (Morza i oceany). Dzięki działaniu w aliansach armatorzy mogą zapewnić swoim klientom większą liczbę portów, do których pływają, a także większą częstotliwość rejsów. Zmiany własnościowe, jakie miały i będą miały miejsce wśród armatorów kontenerowych wymusiły również zmiany wśród aliansów żeglugowych. Od 2. kwartału 2015 roku, sytuacja wśród aliansów była stała, od wtedy na runku funkcjonowały 4 alianse. Były nimi (PortEconomics 2017):

- G6 allience – współtorzony przez NOL (APL), MOL, HMM, Hapag-Lloyd, NYK Line oraz OOCL,
- CYKHE – tworzonyprzezHanjin, K-Line, Yang Ming, Coscooraz Evergreen,
- M2 – tworzony przez MSC i Maersk Line

– Ocean Three – tworzony przez CMA CGM, China Chipping oraz UASC.

Warto zaznaczyć, że wspomniane wyżej połączenia amatorów spowodowały, udział w różnych aliansach takich armatorów jak: Hapag-Lloyd oraz posiadany przez niego UASC, CMA oraz przejęty przez niego NOL, połączone Cosco oraz China Shipping. Dla aliansu CYKHE problemy ponadto wywołał upadek Hanjin'a. Zmiany te wymusiły na armatorach zawiązanie nowych porozumień. Nowymi aliansami jakie zaczęły operować od 1 kwietnia 2017 roku są (PortEconomics 2017):

– The Allience współtorzony przez+: MOL, K-Line, Nyk Line, Yang Ming, oraz Hapag-Lloyd z UASC,
– Ocean Allience współtworzony przez CMA CGM, COSCO CS, OOCL i Evergeen.

Zmiany zajdą również w Aliansie M2, do którego mimo wcześniej prowadzonych rozmów nie dołączy Hyndai, a Hamburg Sud. Alians M2 nie zdecydował się na współdzielenie slotów z Hyndai'em z obawy z kondycję koreańskiego armatora. Z kolei porozumienie z Hamburg Sud, ułatwia współpracę na rynku shippingowym, jaka ma miejsce między Maersk Line i Hamburg Sud po przejęciu. Pomimo braku udziału Hundai w M2, osiągnął on za to porozumienie z aliansem w sprawie wynajmowania miejsca na statkach aliansu. Dzięki temu Hundai nie wprowadzając własnych jednostek na liniach aliansu M2 uzyska dostęp do sieci połączeń obsługiwanych przez M2. Oznacza to wzmocnienie pozycji konkurencyjnej Hyundai'a na trasach Daleki Wschód - Europa gdzie dotychczas armator miał słabą pozycję (Hamburg Sud 2017)

4. Wnioski

Obecnie niemal cały rynek przewozów kontenerowych jest zintegrowany. Wszyscy znaczący armatorzy oceaniczni operują w oparciu o współpracę przez zawiązywanie aliansów oraz porozumień. Współpraca ta jest dla nich konieczna, aby umożliwić oferowanie bogatej siatki połączeń przy jednoczesnych niskich jednostkowych kosztach transportu i odpowiednio zutylizowanej flocie. Jednak przyczynia się ona do powstawania runku oligopolistycznego. Armatorzy chcą dalej zwiększać swoje zyski będą podejmowali coraz śmielsze kroki w zakresie koncentracji pionowej i będą wchodzić w obszary dotycz as obsługiwane przez inne przedsiębiorstwa, które świadczyły niejako swe usługi na rzecz przedsiębiorstw armatorskich.

5. Literatura

Rodrique J.P., Nottebom T., Shaw J.: *The SAGE Handbook of Transport Studies*. SAGE Publications Ltd, London 2013

Wojewódzka-Król K., Załoga E.: *Transport Nowe wyzwania*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2016, s 176

Morza i Oceany, Alianse przewoźników kontenerowych - zło konieczne czy choroba rynku przewozów kontenerowych?http://morzaioceany.pl (data dostępu 28.01.2018 r.)

Truszczyński M, Pezała A., Development Investments at Container Terminals in the Case of Cargo Congestion, CRC Press 2017, s 255-262

https://www.bloomberg.com (data dostępu 18.02.2017 r.)

https://www.alphaliner.com/top100/ (data dostępu 28.01.2018 r.)

http://www.hamburgsud.com (data dostępu 11.01.2018 r.)

http://www.maerskline.com/ - Maersk Line (data dostępu 11.01.2018 r.)

https://www.cma-cgm.com – CMA CGM (data dostępu 11.01.2018 r.)

https://www.msc.com – MSC (data dostępu 11.01.2018 r.)

http://www.porteconomics.eu (data dostępu 29.12.2018 r.)

Znaczenie telepracy w gospodarce opartej na wiedzy

Michał Trziszka [(1)]

[1] Katedra Zarządzania i Systemów Informatycznych, Wydział Inżynierii Zarządzania, Politechnika Poznańska
Michał Trziszka: michal.trziszka@put.poznan.pl

Streszczenie
Telepraca jest metodą organizacji pracy, która wykorzystuje nowoczesne technologie, redukuje koszty oraz poprawia dostępność i efektywność wielu usług. Nowoczesna firma, a przede wszystkim konkurencyjna, powinna szybko reagować na zmieniające się potrzeby rynku, ciągle zdobywać nową wiedzę, zwiększać szybkość dostarczania swoich usług, być w stałej komunikacji z klientem i optymalnie wykorzystywać umiejętności pracowników. W większości przypadków proces doskonalenia przedsiębiorstwa nie byłby możliwy bez wykorzystania nowoczesnych technologii. Ich rozwój spowodował, iż tradycyjne biuro można zamienić na stolik czy pokój w hotelu, skąd można mieć bezpieczny i szybki dostęp do sieci informacyjnej swojej firmy i wykonywać na odległość codzienną pracę. Upowszechnienie telepracy, ściśle związane jest z zastosowaniem nowych technologii informatycznych, wiąże się z możliwością ich rozpowszechnienia również na regiony słabiej rozwinięte. Zapotrzebowanie na telepracowników będzie się rozwijać i zmieniać, powstaną nowe zawody uprawiane na odległość.

Słowa kluczowe: telepraca, praca zdalna, gospodarka oparta na wiedzy

The importance of teleworking in a knowledge-base economy

Summary
Telework is a method of work organization that uses modern technologies, reduces costs and improves the availability and efficiency of many services. A modern company, and above all a competitive one, should quickly respond to changing market needs, constantly gain new knowledge, increase the speed of delivery of its services, be in constant communication with the client and optimally use the skills of employees. In most cases, the process of improving the enterprise would not be possible without the use of modern technologies. Their development has meant that a traditional office can be exchanged for a table or a room in a hotel, from where you can have a safe and quick access to your company's information network and do day-to-day work from a distance. Dissemination of telework is closely related to the use of new information technologies, it is associated with the possibility of their dissemination also to less developed regions. The demand for telecommuters will develop and change, new professions will be grown at a distance.

Keywords: telework, remote work, knowledge-base economy

1. Wstęp

Telepraca jest nowoczesną formą zatrudnienia występującą w krajach, które osiągnęły pewien minimalny poziom rozwoju informacyjnego. Liczne korzyści ekonomiczne dla pracodawcy i wyższy komfort pracy dla pracownika stanowią jej podstawowe zalety. Istotą telepracy jest zatrudnianie pracowników w miejscu ich przebywania zastępującego tradycyjnie rozumianą pracę w siedzibie lub zakładzie pracy. Jest się to możliwe dzięki wzrostowi znaczenia informacji, jako towaru oraz dematerializacji dużej części prac wchodzących w zakres czynności związanych z procesami biznesowymi. Z drugiej strony przyczynił się do tego postęp telekomunikacji i informatyki umożliwiający w tani i prosty sposób przesyłanie dóbr niematerialnych na dowolne odległości (Wachowicz 2001).

2. Rozwój telepracy

Pierwszą z przyczyn rozwoju pracy zdalnej można dostrzec w rozwoju technologii informatycznych, który pozwolił na gwałtowny wzrost objętości gromadzonych i przetwarzanych danych. Działo się to w połączeniu z próbami coraz dokładniejszego opisywania rzeczywistości oraz tworzenia coraz bardziej efektywnych procesów gospodarczych. Działania te miały na celu zapewnienie przedsiębiorstwom przewagi konkurencyjnej i w efekcie sukces gospodarczy.

Znaczenie telepracy, wiąże się ze wzrostem elastyczności wszelkich procesów i ludzi. By konkurować i zaistnieć na rynku globalnym, należy należycie respektować zasadę planowania produkcji i dystrybucji według logiki just in time. Wymaga to wielkiej elastyczności systemów produkcyjnych. Dostosowanie się do wymagań rynku, czyli owa „elastyczność", zaczyna zarazem w coraz większym stopniu dotyczyć, nie tylko elastyczności pracy systemów technicznych, lecz także ludzi. Współcześnie przedsiębiorcom poddawanym konkurencji globalnej coraz trudniej zapewnić wymaganą elastyczność tylko dzięki automatyzacji systemów produkcyjnych (Matczewski 2003).

Rozwój pracy w sieci wykazuje, iż forma ta objęła praktycznie wszystkie obszary aktywności zawodowej i gospodarczej człowieka, choć w różnym zakresie i z różnym nasyceniem. Wśród społeczeństwa telepraca kojarzona jest z pracą świadczoną z domu oraz z dwiema grupami społecznymi: inwalidami ruchowymi oraz z kobietami. W obu przypadkach jest to daleko idące zawężenie (Szewczyk 2002).

Telepraca jest sposobem na tworzenie rozproszonych zespołów pracowników, którzy przebywają w różnych miejscach. Pracują oni jednak w tej samej przestrzeni wirtualnej, widząc nawzajem wyniki swojej pracy i komunikując się na bieżąco za pomocą różnych mediów – poczty elektronicznej, czatu, telefonu, wideokonferencji itp. Dzięki temu bez jakichkolwiek ograniczeń geograficznych możliwe jest wykorzystanie najcenniejszej i najbardziej doświadczonej kadry. Przedsiębiorstwo stosujące telepracę ma możliwość rekrutowania kadry z rozszerzonego obszaru geograficznego, co prowadzi do pozyskania lepszych specjalistów przy zachowaniu mniejszych kosztów zatrudnienia ponoszonych przez pracodawcę. Otwiera, zatem przed pracodawcą możliwość zatrudnienia ludzi o rzadkich kompetencjach i przebywających często poza możliwościami ich zatrudnienia (na przykład z prawnikami zza oceanu), którzy nie zaakceptowaliby współpracy, gdyby wiązała się z czasochłonnymi podróżami, i na którą nie byłoby przedsiębiorstwa stać, gdyby miało opłacić koszty podróży i pobytu. Telepraca wprowadza możliwość organizacji przedsiębiorstwa nie wokół miejsc, lecz wokół najbardziej wartościowej siły roboczej,

pozwalając na zatrudnienie wykwalifikowanych i kompetentnych pracowników w zespołach rozproszonych i tym samym uwolnienie zespołów od ograniczeń geograficznych (Makowiec 2002). Stosując telepracę zwiększa się elastyczność w organizowaniu pracy. Praca może pojawić się w takim miejscu, czasie, a także przybierać taką formę, jakiej oczekuje telepracownik (Szewczyk, 2002).

Inną formą organizacji telepracy są rozproszone zespoły pracowników, którzy mimo tego, że są geograficznie zlokalizowani w różnych miejscach, pracują w tej samej przestrzeni wirtualnej, komunikując się za pomocą różnych środków technologicznych mogą na bieżąco śledzić wyniki pracy w ich kręgu zainteresowań. Telepracę można bezproblemowo łączych z pracą lokalną. Przykładem może być praca radców prawnych, którzy po dokładnym określeniu problemu, zwykle w czasie bezpośredniego spotkania, analiza problemu i jego aspektów prawnych realizowana jest poza siedzibą pracodawcy, a jej wyniki są przekazywane telekomunikacyjnie (Makowiec 2002).

3. Telepracownicy – przykłady wykonywanej pracy

Do najczęstszych prac wykonywanych na odległość z użyciem nowoczesnych technologii teleinformatycznych należą: komputerowy skład tekstów, opracowywanie graficzne i projektowanie stron www, tworzenie baz danych, wyszukiwanie informacji, działalność marketingowa i sprzedaż przez telefon, obsługa klienta, księgowość, tłumaczenia, przeprowadzanie ankiet, wykonywanie analiz, redagowanie tekstów, raportów, sprawozdań, kompilowanie i pisanie tekstów, nauczanie na odległość itp. Wymienione formy telepracy wykorzystywane są w poszczególnych działach firm. W dziale produkcji telepraca może być zastosowana tylko w procesie produkcji zasobów cyfrowych i informacyjnych. W administracji może być wykorzystywana telekooperacja, zaś w dziale kadr jest wykorzystywana do przeprowadzania szkoleń na odległość (e-learning) oraz poprzez stałe połączenie z siecią pracodawcy umożliwia wymianę danych i stałą obsługę pracowników. Dział IT to administrowanie sieciami, tworzenie oprogramowania, tworzenie stron www, które może odbywać się spoza siedziby firmy. W dziale rozwojowo-badawczym telepraca ułatwia pracę grupową nad projektami. Dział marketingu z kolei wykorzystuje telepracowników do przeprowadzania badań ankietowych czy wprowadzania danych (Dziuba 2005).

Jak wskazują obserwacje, telepracowników zatrudniają najczęściej duże firmy o ustabilizowanej pozycji rynkowej w sektorze usług finansowych i informatycznych. Najwięcej telepracowników jest w Europie Północnej, w krajach Skandynawii, gdzie jest bardzo wysokie nasycenie rynku komputerami w przeliczeniu na osobę i niezbyt wysokie

koszty połączenia z Internetem. Mniejszy stopień zastosowania telepracy spotykamy w krajach Południowo-Wschodniej Europy, w których jest mniejsze nasycenie komputerami przypadającymi na osobę oraz występuje większa biurokracja.

4. Współczesne metody pracy

Współczesne czasy można nazwać erą informacji. Dawniej większość ludzi pracowała fizycznie, w przemyśle, rolnictwie, zajmowała się rzemiosłem lub walką, prowadzeniem gospodarstw domowych. Współcześnie dużą część pracy fizycznej wykonują maszyny. Znacznie większa liczba ludzi zajmuje się pracą intelektualną, koncepcyjną, biurową. Lecz i w tych zadaniach coraz szerzej wykorzystywane są maszyny. Wspomagają one pracę człowieka, ułatwiają przygotowanie dokumentów, projektów, raportów, analiz, statystyk. Umożliwiają też w prosty sposób wymianę danych, komunikację, wspólną pracę nad zadaniem rozproszonej grupie ludzi. Coraz częściej zdarza się, iż ludzie pracujący w odległych od siebie punktach współpracują ze sobą, wymieniają doświadczenia, informacje, dążą do osiągnięcia wspólnego celu. Wykorzystuje się w tym celu narzędzia pracy grupowej (Szewczyk 2004).

Możliwość pracy w każdym miejscu i o dowolnej porze to jedna z największych korzyści dla pracowników, zwłaszcza dla osób posiadających wysokie i specjalistyczne kwalifikacje. Elastyczne warunki pracy sprzyjają również na podejmowanie wielu kontraktów jednocześnie, co znacząco wpływa na wysokość zarobków (Stawicka 2002). Pracobiorcy samodzielnie ustalają sobie plan pracy. Niektóre firmy pomagają im rozgraniczyć czas poświęcony dla domu, biura i klientów. Istnieje też dużo lepsza możliwość planowania wypoczynku według własnych potrzeb. Telepraca najlepiej sprawdza się w warunkach, gdzie rezultaty są łatwo mierzalne, obszary indywidualnej odpowiedzialności precyzyjnie zdefiniowane, a wymagania nadzoru niewielkie. Dotyczy to przede wszystkim pracy z informacją i danymi, w związku z tym telepracę należy zastosować do nadających się do niej stanowisk. Telespotkania można traktować głównie, jako tymczasowy sposób włączenia do konferencji ludzi, którzy inaczej nie mogliby w niej uczestniczyć. Można je traktować także, jako świetny sposób na zebranie ludzi przy innych, bardziej rutynowych okazjach; ludzi, którzy zazwyczaj nie uczestniczyliby w naradzie ze względu na niezbędne straty czasu na podróż (Kraus, 2002).

5. Przedsiębiorstwa oparte na wiedzy

Współczesne przedsiębiorstwa, z uwagi na sygnalizowaną dynamikę zmian występujących w ich otoczeniu, wciąż znajdują się w obliczu niepewności. Takie czynniki, jak nasilająca się presja konkurencyjna na rynkach (a właściwie na rynku globalnym,

ponieważ obecnie w zasadzie nie ma barier dla prowadzenia działalności w dowolnym miejscu, co sprawia, iż wszystkie firmy w mniejszym czy większym stopniu są uczestnikami rynku globalnego), zmiany potrzeb, oczekiwań i preferencji konsumentów, wciąż przyspieszający rozwój techniki i technologii sprawiają, iż przedsiębiorstwa nieustannie są czymś zaskakiwane. To znajduje przełożenie na organizację pracy, tj. na warunki, w jakich odbywa się wykonywanie zadań. Właściciele i kadra kierownictwa firm – występujący w roli pracodawców – pod wpływem uwarunkowań zewnętrznych podejmują często nieoczekiwane decyzje odnoszące się m.in. do sposobów pracy czy zmian składu personelu. W efekcie niepewność stanowi obecnie element życia organizacji oraz pracujących w nich ludzi (Bieńkowska 2014).

Coraz więcej przedsiębiorstw umiejętnie buduje przewagi konkurencyjne opierając się na właściwym i efektywnym wykorzystywaniu zasobów wiedzy i kapitału intelektualnego (Okoń-Horodyńska 2009). Ściśle związana jest z tym elastyczność produkcji (tak materialnej, jak też niematerialnej), która wymusza zmienną dyspozycyjność i bardziej elastyczne podejście do kwestii funkcjonowania przedsiębiorstwa, również w obszarze zarządzania zasobami ludzkimi. Przedsiębiorstwa potrzebują „nowych pracowników" – ludzi o wysokich kompetencjach i wiedzy. Prezentują oni w dużej mierze odmienne postawy w środowisku pracy w porównaniu z pracownikami należącymi do poprzednich generacji. Dlatego firmy muszą się zmienić w zakresie swych strategii zarządzania zasobami ludzkimi.

Zauważalny w ostatnich kilku dekadach dynamiczny rozwój nauki, przyspieszający postęp technologiczny i łatwa dostępność informacji doprowadziły do tego, iż zaistniały warunki dla społeczeństwa informacyjnego. Za skutek tego można uznać fakt, iż informacja i dostęp do niej zdominowały obecnie sposób funkcjonowania gospodarki i stały się kolejnym swoistym czynnikiem produkcji. Zdaniem M. Nycza, „w społeczeństwie informacyjnym rozwija się nowy typ gospodarki, jaką jest gospodarka oparta na wiedzy (GOW). Głównym zasobem GOW stają się wiedza i informacja (obok surowców, kapitału i pracy)" (Hales 2011). Należy podkreślić, iż w realiach gospodarki opartej na wiedzy za jej filary są uznawane: technologie informacyjno-telekomunikacyjne, kapitał ludzki, kapitał społeczny (zaufanie, kooperacja i sieci społeczne) oraz zarządzanie wiedzą na poziomie organizacji (Skrzypek 2011). Jednocześnie nie jest już możliwe utrzymanie dotychczas stosowanych narzędzi zarządzania, ponieważ nie przystają one do obecnych uwarunkowań prowadzenia biznesu, a tym samym nie pozwolą na zbudowanie i utrzymanie przewag konkurencyjnych.

W opinii T. Listwana, gospodarka oparta na wiedzy zakłada tworzenie, przyswajanie, przekazywanie i zastosowanie wiedzy w celach ekonomicznych i społecznych, a rolę wiodącą

odgrywają organizacje i zatrudnieni w nich pracownicy – stają się oni „pracownikami wiedzy" (Listwan 2016). W efekcie nie ulega wątpliwości, to właśnie ludzie – wraz z zasobami wiedzy (Fitz-Enz 2001), którą posiadają – stanowią siłę napędową gospodarki opartej na wiedzy. Następuje przy tym zmiana metod zarządzania nimi, co bezpośrednio rzutuje na stosowane formy zatrudniania pracowników w przedsiębiorstwach. Ważne jest zwrócenie uwagi, iż nie tylko warunki prowadzenia działalności gospodarczej, ale też cechy „pracowników wiedzy" wywierają wpływ na zmiany zachodzące w formach organizowania pracy. Telepraca jest tego doskonałym przykładem, aktywizując wysokiej klasy specjalistów, którzy nie muszą być już skazani na często męczący dla nich reżim pracy na etacie, lecz zyskują niezbędną im autonomię działania i mogą samodzielnie wybierać projekty, zapewniając tym samym unikalne zasoby wiedzy, dające realną podstawę budowania konkurencyjności przez firmy zatrudniające ich do realizacji owych projektów (Saivadain2003).

6. Wymiana informacji w telepracy

Istotnym elementem wspomagającym dzielenie się wiedzą jest istniejąca w przedsiębiorstwie infrastruktura informatyczna, która zapewnia wszystkim pracownikom, także tym zatrudnionym w oddziałach terenowych, możliwość swobodnej wymiany informacji oraz korzystania ze skodyfikowanych firmowych zasobów wiedzy. Duża mobilność pracowników oraz ich rosnące potrzeby dostępności do zasobów wiedzy również spoza przedsiębiorstwa wymusiły na organizacji implementację bezpiecznych połączeń opartych na protokole VPN (Virtual Private Network). Dzięki temu rozwiązaniu firma zapewnia upoważnionym pracownikom możliwość zdalnego korzystania z firmowych zasobów wiedzy (Wiśniewski 2007).

Podstawowym założeniem dobrego transferu wiedzy jest to by osoby, które wykonują określone zadania w organizacji miały nieograniczany żadnymi przeszkodami dostęp do przydatnej wiedzy w najdogodniejszej dla siebie formie. Odpowiednie rozwiązania organizacyjno-techniczne, wykorzystywanie nowoczesnych programów komputerowych, dobrze dopasowana infrastruktura techniczna nie będzie właściwie służyć transferowi wiedzy, bez stworzenia odpowiedniej kultury organizacyjnej w przedsiębiorstwie, dzięki której wszyscy zatrudnieni będą chętni i gotowi do dzielenia się posiadaną wiedząz innymi.

Systemy informatyczne mogą w znacznym stopniu sprzyjać i pomagać w tworzeniu i transferze wiedzy, a procesy te są uznawane przez większość autorów za najważniejsze w całym modelu zarządzania wiedzą. Wzrost ilościowych i jakościowych parametrów sieci komputerowych przenosi się na odpowiednie modele intranetów, ekstranetów, elektronicznej

wymiany dokumentów (EDI), systemów przepływu pracy, systemów zarządzania treścią (CMS). Do przesyłania wiedzy na potrzeby zarządzania strategicznego i taktycznego szczególnie nadają się globalne sieci komputerowe i portale internetowe. Internet daje szansę na szybką wymianę informacji z otoczeniem przy praktycznie nieograniczonej dostępności tego medium. W istotny sposób poszerza dotychczasową przestrzeń informacyjną o nowe kanały przekazu informacji i wiedzy, za pomocą, których przedsiębiorstwa udostępniają informacje o sobie i swoich produktach. Za pośrednictwem Internetu przeprowadza się wiele transakcji finansowych i handlowych (Olczak 2007).

W organizacjach sprawnie działająca komunikacja wewnętrzna w połączeniu z wewnętrznymi sieciami komputerowymi, tzw. intranetami, umożliwiają wspólne korzystanie z wiedzy i jej wykorzystywanie w praktyce do rozwiązywania szeregu różnorodnych problemów. W rozwiązaniach tych stosuje się technologię sieci lokalnych (LAN), elektroniczną wymianę dokumentów (EDI), pocztę elektroniczną, transfer plików, standardowe przeglądarki www oraz specjalistyczne programy izolujące od Internetu. Jak pokazuje praktyka, intranety pozwalają znacznie usprawnić wewnętrzną komunikację, wspólnie wykorzystywać informacje i wiedzę w całym przedsiębiorstwie (poprzez dostęp do wspólnych katalogów, baz danych, baz wiedzy, serwisów informacyjnych itp.) (Olczak 2007).

Aplikacje CRM (CustomerRelationship Management) dają możliwość efektywnego zarządzania kontaktami z klientami firmy. Systemy CRM zawierają najczęściej moduły: zarządzanie sprzedażą, korespondencja, marketing, obsługa zgłoszeń handlowych, telemarketing, serwis i wsparcie klientów po sprzedaży, integracja z systemami ERP, e-commerce i callcenter. Moduły CRM można przedstawić w grupie czterech jednostek organizacyjnych związanych z działalnością każdej firmy o charakterze biznesowym, są to: marketing, sprzedaż, serwis, zarządzanie wiedzą. W systemie CRM można wyróżnić trzy systemy funkcjonalne traktowane komplementarnie:

- operacyjny - dane dotyczące transakcji, klientów, produktów, personelu firmy, konkurencji;
- analityczny - obejmują strefę hurtowni danych i aplikacji analizujących dane pochodzące z systemów ERP;
- interakcyjny - rozwiązania komunikacyjne z klientami i partnerami biznesowymi.

Elektroniczna wymiana danych EDI (Electronic Data Interchange) – to skrót określający elektroniczną wymianę danych lub elektroniczną wymianę dokumentów. EDI jest technologią obiegu i wymiany dokumentów w transporcie, edukacji, bankowości, administracji, handlu i usługach bezpośrednio między aplikacjami partnerów biznesowych.

Rozwiązanie to eliminuje dokumenty papierowe, zwiększając efektywność wszystkich działań związanych z prowadzeniem biznesu (Olczak 2007).

W obszarach sprzedaży i obsługi klienta obserwuje się najbardziej spektakularne efekty zarządzania wiedzą. Bazy wiedzy oraz e-learningu skracają proces szkoleń produktowych i proceduralnych, pozwalają zapewnić szybki dostęp do informacji szerokiemu gronu odbiorców, bez konieczności angażowania wielu zasobów wewnątrz organizacji. Można też w łatwy sposób wybrać specyficzną grupę docelową i szybko przekazać jej np. prośbę o wykonanie pewnego działania. Systemy informatyczne pozwalają na zbieranie informacji o sposobie wykorzystania baz wiedzy, ilości czasu spędzonego na e-learningu oraz uzyskanych efektach (Olczak 2007).

7. Wnioski

Zdaniem części autorów, rozwijanie koncepcji gospodarki opartej na wiedzy stanowi też swoistą odpowiedź na problemy globalizacji i niedomagania tradycyjnych modeli gospodarki rynkowej w zakresie zmian wywołanych tym procesem (Skrzypek 2011). Jednocześnie GOW wskazuje na istotę globalizacji i jej przenikanie przez wszystkie obszary życia gospodarczego. Należy podkreślić, iż gospodarka oparta na wiedzy wywiera wpływ na funkcjonowanie poszczególnych osób, a w tym na ich zachowania w pracy, w domu, w trakcie codziennych czynności, ale również oddziałuje na postrzeganie przez ludzi swych praw i na rosnące wymagania, zmiany prowadzonego stylu życia itd. Przy czym część tych zmian inicjuje sam konsument, który wykazuje świadomość globalizacji i wiążącej się z nią łatwości dotarcia do dóbr i usług. W tych uwarunkowaniach człowiek ma większą świadomość generalnie o wszystkim, co wokół niego się dzieje, staje się bardziej autonomiczny.

Telepraca to odpowiedź na wyzwania, jakie pojawiają się w związku z rozproszonym biznesem XXI w. To sprawia, iż ważną rolę odgrywa tu budowanie sprawnie działających zespołów zadaniowych. Coraz większa dostępność do Internetu umożliwia osobom, które mieszkają w różnych miastach, państwach, a nawet kontynentach, podejmowanie współpracy ze sobą w postaci wirtualnych zespołów zadaniowych. Cenną cechą zespołów zadaniowych jest możliwość dowolnego kształtowania ich składu, a zatem kombinacji zasobów wiedzy, a także występowania szczególnych efektów synergii, czego nie daje się osiągnąć stałymi zespołami pracowników w tradycyjnym zatrudnieniu.

8. Literatura

Bieńkowska J., 2014, Problemy kształtowania sytuacji pracy w warunkach niepewności, „Humanizacja Pracy” 2014, nr 1, s. 83-84

Dziuba D., 2005, Telepraca – fantazja czy rzeczywistość, Infoman, s.8
Fitz-Enz J., 2001, Rentowność inwestycji w kapitał ludzki, Oficyna Ekonomiczna, s. 269
Hales C., Mikuła B. (red.), 2011, Społeczeństwo informacyjne. Gospodarka, technologie, procesy, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego, s. 15
Harasim W. (red.), 2013, Człowiek i organizacja XXI wieku, Wyd. Naukowe Wyższej Szkoły Promocji, s. 11-12
Kraus A., Kasprzyk B., Chorób R., 2011, Innowacyjne formy wykorzystania nowych technologii informacyjnych na rynku pracy: prognozy i perspektyw, Wydawnictwo Uniwersytetu Rzeszowskiego, s.74-76
Listwan T. (red.), Sułkowski Ł., 2016, Metody i techniki zarządzania zasobami ludzkimi, Wyd. Difin, s. 92
Makowiec M., 2006, Metodyka humanizowania telepracy, Wyd. Uniwersytetu Ekonomicznego, s. 56-61
Matczewski A., 2003, Praca i zarządzanie w sieciach, Śląskie Wydawnictwo Naukowe, Wyższa Szkoła Zarządzania i Nauk Społecznych w Tychach, s.32
Mączka L., 2003, Gospodarka globalna u progu XXI wieku, Wyd. Akademii Ekonomicznej, s. 40-41
Okoń-Horodyńska E., Wisła R. (red.), 2009, Kapitał intelektualny i jego ochrona, Instytut Wiedzy i Innowacji, s..219-229
Pocztowski A. (red.), 2007, Funkcja personalna. Diagnoza i kierunki zmian, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego, s. 142
Saiyadain M.E., 2003, Human Resources Management, Tata McGraw-Hill Education, s. 361
Skrzypek E., 2011, Nierówności społeczne a wzrost gospodarczy, z.23, s. 27
Stawicka B. (red.), 2002, Każdy może telepracować, s. 67
Szewczyk A. (red.), 2002, Telepraca – szansą czy zagrożeniem na rynku pracy?, Wyd. Hogben, s. 21, s. 61, s.125, s. 196,
Szewczyk A., 2004, Teleworking jako alternatywna forma pracy, PWN, s.12
Wachowicz J., 2001, Wirtualne organizacje – geneza, charakterystyka i zalety, Electronic Commerce – gospodarka XXI wieku, Wyd. MKN E-C, Politechnika Gdańska, s.125
Wiśniewski J., 2007, Zatrudnianie pracowników w formie telepracy, Dom Organizatora, s. 112

New equipment for CO_2 removal from flue gases

Justyna Wojtasik [1,2]

[1] Lodz University of Technology, Faculty of Process and Environmental Engineering, Department of Environmental Engineering, Wólczańska 213, Łódź 90-924, Poland
[2] TU Dortmund University, Department of Biochemical and Chemical Engineering, Laboratory of Fluid Separations, Emil-Figge-Straße 70, Dortmund 44227, Germany
Justyna Wojtasik: justyna.wojtasik@edu.p.lodz.pl

Summary
Most of CO_2 emitted to the atmosphere is produced in industrial processes based on fossil fuelscombustion as in the chemical industry, conventional power plants. The most important issue in the process of CO_2 removal producing in combustion process is selective separation and it removal from the exhaust gas stream. Therefore, it is necessary to develop new technologies which will provide better efficiency and which allow reducingmagnitude of the installation. Rotating Packed Beds (RPB) technology includes those features.
Such a new solution allows obtaining intensification of mass transfer and decreasing of magnitude of RPB compared to a traditional packed column for the same liquid and gas flow rates (Rao, 2004).

Keywords: CO_2 absorption, carbon dioxide, Rotating packed bed (RPB), amine

Nowe urządzenia do wychwytywania CO_2 z gazów spalinowych

Streszczenie
Większość CO_2 emitowana do atmosfery jest produkowana w procesach przemysłowych bazujących na spalaniu paliw kopalnych m.in. w przemyśle chemicznym, elektrowniach konwencjonalnych. Najważniejszym zagadnieniem w procesie usuwania CO_2 powstałego w wyniku spalania, jest jego selektywna separacja a następnie usunięcie go ze strumienia gazów spalinowych. Zatem potrzebny jest rozwój nowych technologii, zapewniających większą efektywność procesu wychwytywania CO_2 oraz zmniejszenie wymiarów instalacji. Zalicza się do nich technologię rotującego wypełnienia (RotatingPackedBeds – RPB). Jest to rozwiązanie w dziedzinie inżynierii chemicznej polegające na wykorzystaniu siły odśrodkowej,co pozwala na intensyfikację wymiany masy oraz kilkukrotne zmniejszenie rozmiarów RPB w stosunku do tradycyjnej kolumny wypełnionej przy tych samych natężeniach przepływu cieczy i gazu (Rao, 2004).

Słowa kluczowe:absorpcja CO_2, dwutlenek węgla, rotujące wypełnienie (RPB), aminy

1. Introduction

Chemical absorption is crucial to the production process in many branches of industry. In packed columns, bubble columns, scrubbing tower and the like chemical absorption process is realizing. In the chemical absorption process, either the gas stream is purified from harmful substances, or valuable substances are captured.In many cases, due to the economical factor capability of designing and building large chemical installation is pointless. Such a unfavourable conditions are present in CO_2 absorption process from flue gases.

Nowadays CO_2 absorption is very important issue. The problem with carbon dioxide is the fact that it is currently recognized as one of the main causes of global warming, not including water vapour. What should be notice that main part CO_2 emitted into the atmosphere is produced in industrial processes which are based on fossil fuel combustion (Friedlingstein and Prentice, 2010).

Due to this fact, importance of carbon capture and storage (CCS) issues increase in recent years. The literature recognizesthreemain approaches according to the CO_2 capture process: pre-combustion capture, post-combustion capture, and oxy-combustion capture. Captured gas is compressed and transported to selected underground geological rock formations, where it is permanently stored (Kuckshinrichs and Hake, 2015). To realize CO_2 capture process reactive absorption in aqueous amine solutions has been employed, as the technology with the greatest potential for industrial applications among currently available processes(Yang et al., 2008). The main issue in CO_2 absorption process is selective separation and removing it from flue gases stream. To realize those goal intensified technology, appropriate amine solvent and novel material should be blended and employed.

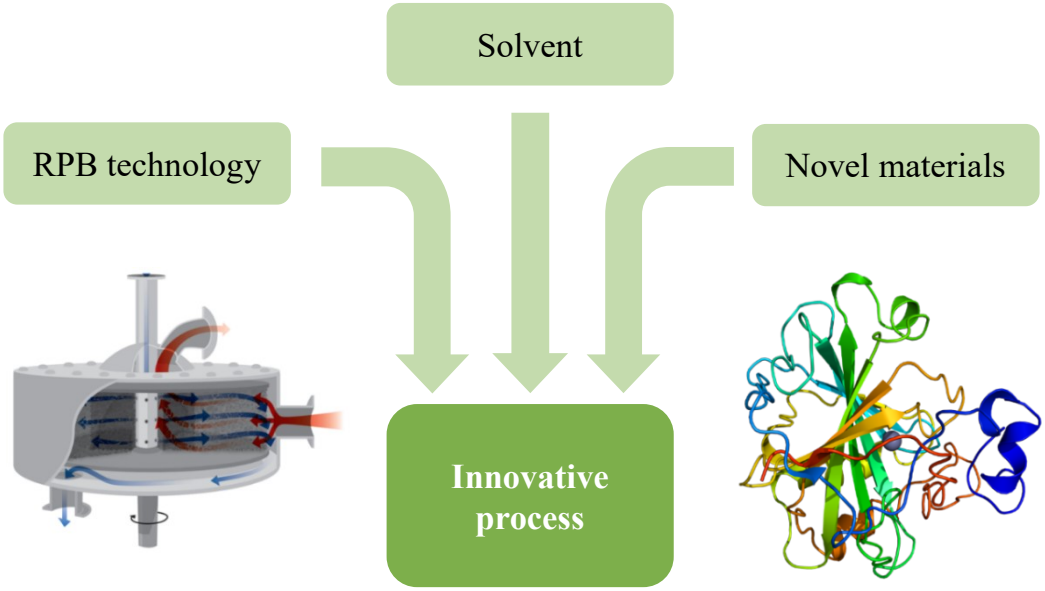


Fig. 1. Main factors to create innovative process to CO_2 capture.

2. Rotating Packed Bed technology

In 1981, Ramshaw and Mallinson filed a patent on Rotating Packed Beds (RPB), which was invented to improve the mass transfer coefficient by overcoming the limiting parameter occurs in conventional packed columns – gravity force (Ramshaw and Mallinson, 1981). That allows for a volume reduction by 2 – 3 orders of magnitude compared to conventional packed columns (Ramshaw, 1983).

The industrial demand for more efficient technologies, which allow reducing energy demands and improve process efficiency, has increased. Another crucial issue for industry is flexibility of apparatus. To address both concerns, it is expected that RPB technology should have all of these features:

- modular construction,
- high flexibility due to large operating window,

- intensified mass transfer,
- high throughput,
- compact design when compared to traditional columns.

All these features may result in potential savings in operation and investment costs. What is more, these features have a positive influence on the environment by reducing energy and solvents consumption. What is more rotating packed bed technology can be used for a few processes, like absorption, distillation, heat transfer, reactive precipitation, enzymatic absorption, etc. (Rao et al., 2004) which makes this construction viable as a multi-purpose unit.

- Principle of operation

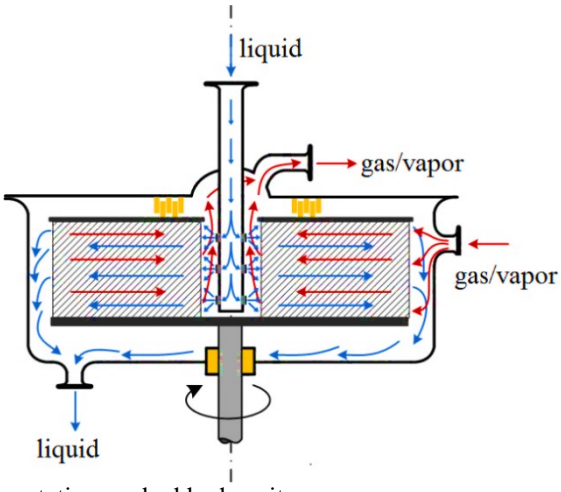


Fig. 2. Scheme of phases flow in rotating packed beds unit.

Inside the RPB unit is placed annular rotor on either the horizontal or vertical axis. The maximum angular velocity of rotor depends on the given RPB unit and can be up to 10000 rpm.The centrifugal force (F) in RPB depends on angular velocity $\left[\frac{rad}{s}\right]$ (Ω) and rotor radius (r) accordingly to equation 1. The centrifugal force can be 10 – 1000 times greater thanthe gravity force (Rao et al., 2004).

$$F = r \cdot m \cdot \Omega^2 \tag{1}$$

To improve mass transfer in such a intensified devices a wide range of packings can be applied such as metal wire-mesh, metal foam, plastic packing, plastic beads and disks. The porosities of the listed packing are in the range of 0.4 – 0.95. Phases flow can be realizeeither in co-current or counter-current regimes. In the counter-current flow, gas is provided from the outer edge of the rotor and liquid is fed from the centre of the rotor. In the co-current flow, both liquid and gas are provided from the centre of the rotor. Liquid is distributed onto inner periphery of packing by stationary distributors such as nozzles.

Depending on the type of nozzles liquid can have the form: spray of droplets, jets or broken jets. Due to the centrifugal force, liquid flows radially from the center of the packing to its exterior periphery. Liquid phase can leave the packing in a few forms which depends from such a parameters as the angular velocity, gas and liquid flow rates. Those forms are as follows: thin film, film covering the pores of packing, flying droplet and rivulets. The main part of the mass transfer takes place inside the packing. The small parts of mass transfer take place at the casing surface where liquid collected and flow down as a film to the outlet. This part have more significant impact on total mass transfer for rotors with smaller diameter (Rao et al., 2004).

Figure 2 shows an exemplary RPB unit with the rotor on vertical axis and operated in a counter-current regime.

3. CO_2 absorption process

The most suitable solution which should be used for CO_2 capture process is reactive absorption in aqueous amine solutions, which has the greatest potential for industrial applications(Abanades et al., 2015; Yang et al., 2008). To enhance reactive absorption efficiency the most suitable solvent have to be used. As such a solvent tertiary N-methyldiethanolamine (MDEA) is recognized. MDEA a few very important advantages over another primary and secondary amine solvents, like high absorption capacity and low heat of reaction(Afkhamipour and Mofarahi, 2014; Ávila et al., 2015). Figure 3 presents the scheme of absorption and desorption processes with amine solvent.

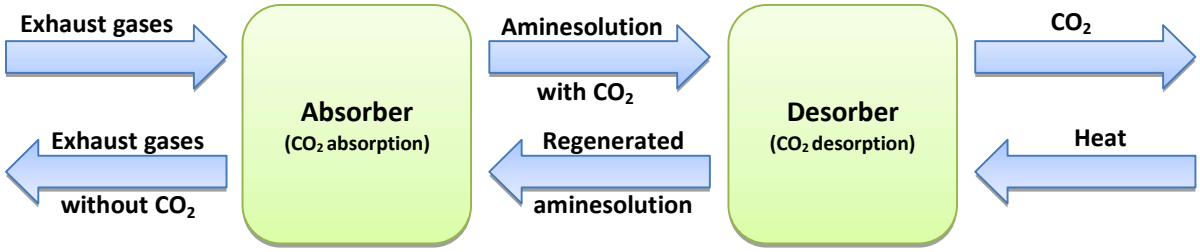


Fig. 3. Scheme of absorption and desorption processes with amine solvent.

Very important factor when selecting a solvent is regeneration energy, which has significant influence on total energy demand in process. This energy can in range 70%-80% of total energy cost in whole CO_2 absorption process (Nwaoha et al., 2016). The total regeneration energy for the CO_2 desorption process from a CO2-amine-water solution is a sum of 3 energies (eq. 2): heat of absorption $(E_{heatofabsorpti}\ )$, sensible heat $(E_{sensiblehea}\ )$ and heat necessary to evaporate the aqueous amine solution $(E_{heatofvaporization})$. It should be notice

that the higher water contents of the absorbent solution, the greater its energy consumption. All of these energies are associated with the mass of steam which should be supplied to heat up the solution in CO_2 desorption process(El Hadri et al., 2017).

$$E_{regenaration} = E_{heatofabsorption} + E_{sensibleheat} + E_{heatofvaporization} \quad (2)$$

Due to the fact that main part of CO_2 is produced in industrial processes based on fossil fuel combustion the chemical absorption with amine solvents is suggested as the best technology for industrial application. The concentration of CO_2 in those flue gases is low. The aqueous solutions of alkanolaminesare the most commercially available and sufficiently active chemical absorbents which can be used for CO_2 absorption process from such flue gases. Amines which are used in the absorption process of acidic gases have at least one hydroxyl group and one amino group. The hydroxyl group is responsible for reducing vapor pressure and increasing the solubility of gases in water. The amino group is responsible for the alkalinity of the solution, which is crucial in the acidic gas absorption process (Więcław-Solny and Ściążko, 2014).

4. Amine solvents

The absorption process with amine solvents is widely applied in industry for the CO_2 capture process from flue gases. This is able thanks to ability of amines to reverse reactions with CO_2. What should be notice the amine absorption process is the most mature technology used for the selective CO_2 absorption (Ünveren et al., in press).

There is a number of amines which are known, but it is possible to divide those range of amines into 3 main group which present similar features. Due to the number of atoms of hydrogen in the amino group are replaced by alkyl or aromatic group, 3 main groups can be listed: primary amines (e.g. monoethanolamine (MEA)), secondary amines (e.g. diethanolamine (DEA)) and tertiary amines (e.g. N-methyldiethanolamine (MDEA)).

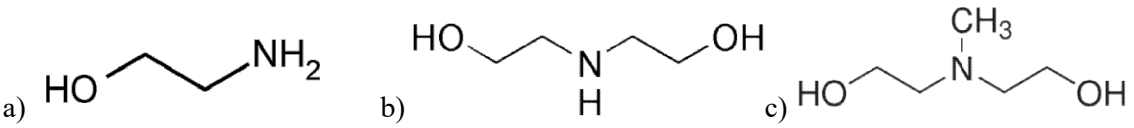


Fig. 4.Structural formula of: a) primary amine – MEA, b) secondary amine – DEA, c) tertiary amine MDEA.

Features of amine have significant influence on the CO2 capture process. Some of features are characteristic for given type of amines. Table 1 presents comparison of some important factors that influence on CO_2 absorption process. The ideal amine solvent should have: high CO2 loading capacity, low heat of absorption, low regeneration energy and high reaction kinetic of CO2 (El Hadri et al., 2017; Quang et al., 2013).

Table 1. Features of primary, secondary and tertiary amines (Bougie and Iliuta, 2012; El Hadri et al., 2017; Quang et al., 2013).

Feature	Primary amine	Secondary amine	Tertiary amine
Heat of CO_2absorption	High	High/Medium	Low
Regeneration energy	High	High	Low
Maximum CO_2loading	0.5 mole of CO_2/mole of amine	0.5 mole of CO_2/mole of amine	1 mole of CO_2/mole of amine
Reaction rate with CO_2	High	High	Low
Absorption capacity	High	High	Low
Reaction kinetic of CO_2	High	High	Low

The state-of-the-art is using primery amine monoethanolamine (MEA) as solvent for CO_2 absorption process in conventional packed column. Another important amine solvents are: diethanolamine (DEA), N-methyldiethanolamine (MDEA), N,N-dimethylethanolamine (DMEA), N,N-diethylethanolamine (DEEA), and 2-amino-2-methyl-1-propanol (AMP). To enhance absorption process efficiency blended amine solvents are used.

The reaction mechanism between amines and carbon dioxide based on the reversible reaction between weak base and acid gases. This mechanism for primary and secondary amines is a two-step reaction mechanism, where as a result carbamate is formed. One of the possible reaction mechanism is presented below (Arstad et al., 2007):

$$CO_2 + R_1R_2NH \rightleftarrows R_1R_2NCOOH \tag{3}$$

$$R_1R_2NCOOH + B \rightleftarrows R_1R_2NCOO^- + BH^+ \tag{4}$$

R_1 and R_2 represent substituents which are attached to the nitrogen atom of the amino group, whereas B represents a base, e.g.: OH-, amine, water. In the second reaction (eq. (4) (4)) an intermediate product, carbamic acid, is transferred to the base via proton transfer. The first reaction (eq. (3)) is considered as to be rate determining (Arstad et al., 2007).

The tertiary amines react with CO_2 only in the presence of water, according to equation (5). As a result, a carbonate product is formed (El Hadri et al., 2017).

$$R_1R_2R_3N + CO_2 + H_2O \rightleftarrows R_1R_2R_3NH^+ + HCO_3^- \quad (5)$$

5. Amine activator

To obtain maximal enhancing of process efficiency, it is necessary to use additional amine activators. To do this, it can be use either chemical or biological activator.

- Chemical activator

The most popular and important among chemical activators ispiperazine (PZ), which is diamine consists of a six-membered ring with two secondary amino groups placed in opposite positions. A blended solution of piperazine and amine is characterized by higher reaction rates, higher solubility, lower heat of absorption, and as a result, less energy for the regeneration process (Sodiq et al., 2014). Very important feature of piperazine is negligible degradation in the regeneration process (desorption) (Norouzbahari et al., 2015).

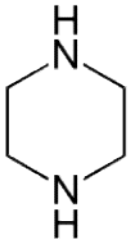


Fig. 5. Structural formula of piperazine (PZ).

- Biological activator

The state of the art is to use biological activators that increase the reaction rate significantly at moderate process conditions. What is more, enzymes are renewable, biodegradable and non-volatile (Kunze et al., 2015).The most important among biological activators is carbonic anhydrase (CA), which is considered one of the fastest and most selective bioactivators from known enzymes that carry out hydration of CO_2. What is more, carbonic anhydrase actually handlesthe CO_2 in the human body and other organisms (Kunze et al., 2015).

Enzyme carbonic anhydrase occurs in 3 isoforms (α, β, and γ) and a number of genetically distinct isozymes with various locations. The highestreaction rateis recorded for the human type carbonic anhydrase II (CA II), which is located in red blood cells (Ye and Lu, 2014). There is the possibility of using modified enzyme in post-combustion CO_2absorption process with amine solvents from flue gases. What is more, the addition of carbonic anhydrase to the solvent solution hasno influence on the physical and chemical features of the solvent (Penders-van Elk and Versteeg, 2016). The most suitable solvent to carbonic anhydrase are

amines that provide good CO_2 absorption capacity. Such a solvents are tertiary amines for which can be obtained significantly enhance of reaction rate.

Reaction mechanism of CO_2 hydration, catalyzed by carbonic anhydrase, depends onthe pH of the solution.For pH<8, the dominant reaction (eq. 6) is the hydration of the CO_2 with rapid dissociation of the bicarbonate ion. In this reaction the carbonic anhydrase converts the water molecule to an active hydroxyl; as a result, a bicarbonate ion is formed and a proton is released. For pH>10, the dominant reaction (eq. 7) is a formatted bicarbonate ion from the CO_2 and the hydroxyl ion (Kunze et al., 2015). This reaction has commonly been defined as a pseudo-first order reaction and not involved with water (zeroth order) (Kern, 1960). Nevertheless, in the latest literature it is confirmed that this is a second order reaction in research on enzyme kinetics over a wide range of water concentrations (Wang et al., 2010; Penders-van Elk et al., 2012). In commercial CO_2 absorption processes with an MDEA solvent, reactions with pH>10 (eq. 7) are the most important.

$$CO_2 + H_2O \rightleftarrows H_2CO_3 \rightleftarrows HCO_3^- + H^+ \tag{6}$$

$$CO_2 + OH^- \rightleftarrows HCO_3^- \tag{7}$$

The complete cycle of carbonic anhydrase reactions is presented in figure 6, where B is the base that is used for enzyme regeneration. The base can be carbonate ion, hydroxide ion, alkaloamine, or bicarbonate ion (Penders-van Elk et al., 2016).

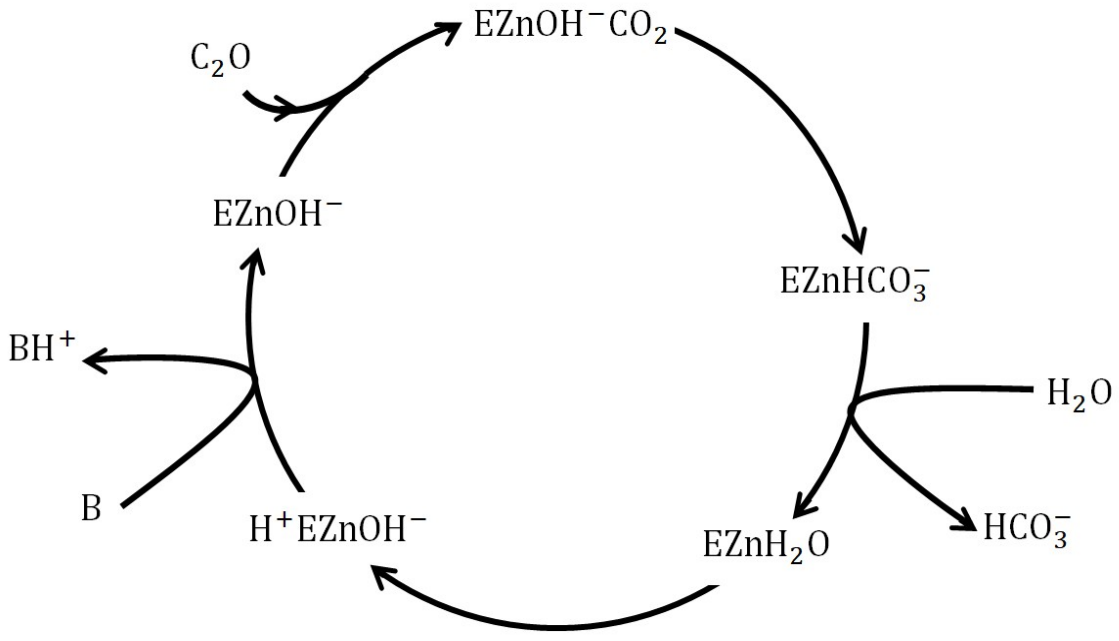


Fig. 6. Wheel of carbonic anhydrase reaction (Penders-van Elk et al., 2016).

Acknowledgement

The author acknowledge the financial support provided by theNational Centre for Research and Development for Innovative Equipment for Intensified Recovery of $CO_2$from Flue Gases – INVITES research project under grantagreement number STAIR/2/2016.

6. References

Abanades J. C., Arias B., Lyngfelt A., Mattisson T., Wiley D. E., Li H., Ho M. T., Mangano E., Brandani S., 2015. Emerging CO2 capture systems. Special Issue commemorating the 10th year anniversary of the publication of the Intergovernmental Panel on Climate Change Special Report on CO2 Capture and Storage, 40, 126–166.

Afkhamipour M., Mofarahi M., 2014. Sensitivity analysis of the rate-based CO2 absorber model using amine solutions (MEA, MDEA and AMP) in packed columns. International Journal of Greenhouse Gas Control, 25, 9–22.

Arstad B., Blom R., Swang O., 2007. CO2 absorption in aqueous solutions of alkanolamines: Mechanistic insight from quantum chemical calculations. Journal of Physical Chemistry A, 111(7), 1222–1228.

Ávila S. G. de, Logli M. A., Matos J. R., 2015. Kinetic study of the thermal decomposition of monoethanolamine (MEA), diethanolamine (DEA), triethanolamine (TEA) and methyldiethanolamine (MDEA). International Journal of Greenhouse Gas Control, 42, 666–671.Friedlingstein P., Prentice I. C., 2010. Carbon–climate feedbacks: a review of model and observation based estimates. Current Opinion in Environmental Sustainability, 2(4), 251–257.

Bougie F., Iliuta M. C., 2012. Sterically Hindered Amine-Based Absorbents for the Removal of CO2 from Gas Streams. Journal of Chemical & Engineering Data, 57(3), 635–669.

El Hadri N., Quang D. V., Goetheer E. L., Abu Zahra M. R., 2017. Aqueous amine solution characterization for post-combustion CO2 capture process. Clean, Efficient and Affordable Energy for a Sustainable Future, 185, Part 2, 1433–1449.

Kern D. M., 1960. The hydration of carbon dioxide. Journal of Chemical Education, 37(1), 14–23.

Kuckshinrichs W., Hake J. F., 2015. Carbon Capture, Storage and Use: Technical, Economic, Environmental and Societal Perspectives, 1st edn. Springer International Publishing, Cham

Kunze A.-K., Dojchinov G., Haritos V. S., Lutze P., 2015. Reactive absorption of CO2 into enzyme accelerated solvents: From laboratory to pilot scale. Applied Energy, 156, 676–685.

Norouzbahari S., Shahhosseini S., Ghaemi A., 2015. CO2 chemical absorption into aqueous solutions of piperazine: modeling of kinetics and mass transfer rate. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 26, 1059–1067.

Nwaoha C., Saiwan C., Tontiwachwuthikul P., Supap T., Rongwong W., Idem R., AL-Marri M. J., Benamor A., 2016. Carbon dioxide (CO2) capture: Absorption-desorption capabilities of 2-amino-2-methyl-1-propanol (AMP), piperazine (PZ) and monoethanolamine (MEA) tri-solvent blends. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 33, 742–750.

Penders-van Elk N. J., Derks P. W., Fradette S., Versteeg G. F., 2012. Kinetics of absorption of carbon dioxide in aqueous MDEA solutions with carbonic anhydrase at 298 K. International Journal of Greenhouse Gas Control, 9, 385–392.

Penders-van Elk N. J., van Aken C., Versteeg G. F., 2016. Influence of temperature on the kinetics of enzyme catalysed absorption of carbon dioxide in aqueous MDEA solutions. International Journal of Greenhouse Gas Control, 49, 64–72.

Penders-van Elk N., Versteeg G. F., 2016. 10 - Enzyme-enhanced CO2 absorption A2 - Feron, Paul H.M. In: T1 - 10 - Enzyme-enhanced CO2 absorption A2 - Feron, Paul H.M (ed) Absorption-Based Post-combustion Capture of Carbon Dioxide. Woodhead Publishing, pp 225–258

Quang D. V., Rabindran A. V., El Hardi N., Abu Zahra M. R., 2013. Reduction in the regeneration energy of co2 capture process by impregnating amine solvent onto precipitated silica. European Scientific Journal, 30(9)

Ramshaw C, Mallinson RH, 198). Mass transfer process(4283255)

Ramshaw C., 1983. “HiGee” Distillation – an example of process intensification. Chemical Engineering, 389.

Rao D. P., Bhowal A., Goswami P. S., 2004. Process intensification in Rotating Packed Beds (HIGEE): An Appraisal. Industrial & Engineering Chemistry Research(43 (4)), 1150–1162.

Sodiq A., Rayer A. V., Abu-Zahra M. R., 2014. The Kinetic Effect of Adding Piperazine Activator to Aqueous Tertiary and Sterically-hindered Amines Using Stopped-flow Technique. 12th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, GHGT-12, 63, 1256–1267.

Ünveren E. E., Monkul B. Ö., Sarıoğlan Ş., Karademir N., Alper E. (in press). Solid amine sorbents for CO2 capture by chemical adsorption: A review. Petroleum

Wang X., Conway W., Burns R., McCann N., Maeder M., 2010. Comprehensive study of the hydration and dehydration reactions of carbon dioxide in aqueous solution. The journal of physical chemistry. A, 114(4), 1734–1740.

Więcław-Solny L., Ściążko M., 2014. Absorpcyjne usuwanie CO2 ze spalin kotłowych. Energetyka(2), 9–14.

Yang H., Xu Z., Fan M., Gupta R., Slimane R. B., Bland A. E., Wright I., 2008. Progress in carbon dioxide separation and capture: A review. Journal of Environmental Sciences, 20(1), 14–27

Ye X., Lu Y., 2014. CO2 absorption into catalyzed potassium carbonate–bicarbonate solutions: Kinetics and stability of the enzyme carbonic anhydrase as a biocatalyst. Chemical Engineering Science, 116, 567–575.

Prototyp ekologicznej lodówki zasilanej panelem fotowoltaicznym

Bartosz Zdeb [(1)], Łukasz Stępień [(1)]

[1] Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski
Bartosz Zdeb: bartosz.zdeb@urz.pl

Streszczenie
Celem niniejszej pracy badawczej jest stworzenie prototypu lodówki zasilanej panelem fotowoltaicznym w instalacji off-grid. Oznacza to, że w dni słoneczne będzie można schłodzić dowolną rzecz (np. napój, kanapkę) bez użycia zasilania zewnętrznego. W tym celu skorzystano z dwóch głównych podzespołów: modułu Peltiera, które posłuży do chłodzenia wnętrza lodówki oraz modułu PV, które będzie źródłem zasilania dla całego urządzenia. Do odprowadzania ciepła, użyto dwóch radiatorów umiejscowionych po obu stronach ogniwa Peltiera. Radiator zamontowany wewnątrz prototypu odbiera ciepło, natomiast radiator zamontowany na zewnątrz, oddaje ciepło do otoczenia. Dodatkowo dla wyższej sprawności odprowadzania ciepła użyto wentylatorów. Eko-lodówka została zbudowana z tanich materiałów termoizolacyjnych, łatwo dostępnych. W ostatnim etapie przedstawiono wyniki pomiarowe możliwości prototypowej lodówki ekologicznej.

Słowa kluczowe: fotoogniwo, zjawisko Peltiera, ekologiczna lodówka

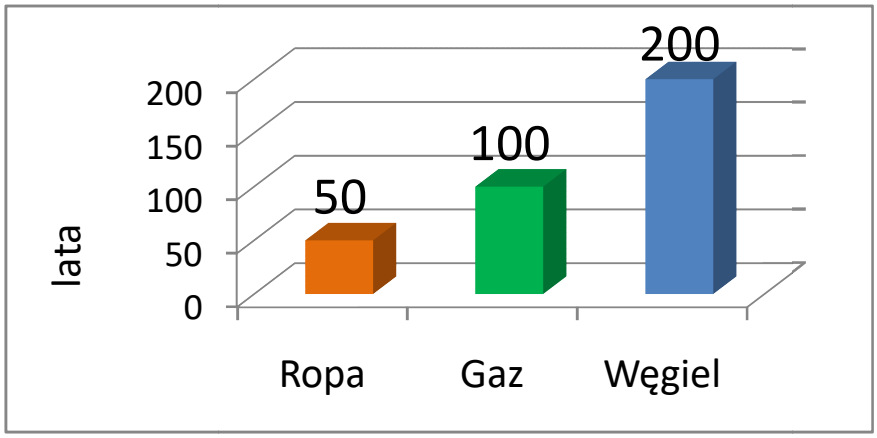
The prototype of an ecological refrigerator powered by a photovoltaic panel

Summary
The purpose of this research work is to create a prototype of a refrigerator powered by photovoltaic panel in an off-grid installation. This means that on sunny days you will be able to cool anything (eg. drink, sandwich) without using an external power. For this purpose, two main units were used: the Peltier module, which will be used to cool the interior of the refrigerator, and the PV module, which will be the source of power for the whole device. For heat dissipation two heat sinks located on both sides of the Peltier cell were used. The heat sink mounted inside the prototype receives heat, while the heat sink mounted outside exposes heat to the environment. In addition, for higher efficiency of heat removal fans were used. The eco-fridge was built from cheap, thermo-insulating, easily accessible materials. The last stage of this work presents the measurement results of the prototype ecological refrigerator.

Key words: photovoltaic cell, Peltier phenomenon, ecological refrigerator

1. Wstęp

Ciągły rozwój cywilizacji wiąże się ze wzrostem zużycia energii na jednostkę społeczeństwa i czasu. Bardzo ważne jest, więc ciągłe doskonalenie metod konwersji energii (najlepiej odnawialnych) na energię elektryczną. Od kilkuset lat do masowej produkcji energii ludzkość stosowała głównie metody konwencjonalne, korzystając z paliw stałych (np. węgiel kamienny, brunatny, torf), paliw płynnych (np. ropa naftowa, olej Diesla, benzyna) oraz paliw gazowych (np. gaz ziemny). Metody te mają swoje zalety, do których należy niski koszt, dostępność, duża energia skumulowana w jednostce masy. Z przewidywań specjalistów wynika, że konwencjonalne źródła energii wyczerpią się w ciągu najbliższych kilkuset lat. Szacunkowo określa się, że zasoby węgla zostaną wyczerpane ok. 2200 roku, gazu ziemnego ok. 2120 roku, a ropy naftowej ok. 2070 roku (rys. 1). W tym celu wielu krajach wprowadzono programy oszczędnościowe wykorzystywania paliw naturalnych (Jastrzębska 2009).



Rys. 1. Światowe zasoby energii (opracowanie własne na podstawie Lewandowski 2017)

Obecnie przewiduje się, że w okresie najbliższych stu lat nastąpi wzrost zużycia energii o nawet 300%. W związku z tym, już teraz kraje dobrze rozwinięte prowadzą prace nad wdrożeniem systemów pozyskiwania energii z odnawialnych źródeł energii. Do odnawialnych źródeł energii należą: promieniowanie słoneczne, wiatr, wewnętrzne ciepło Ziemi, przepływ wody, biomasa, które mogą zostać wykorzystane do produkcji energii elektrycznej, ale również ciepła oraz magazynowania energii (Lewandowski i in. 2017).
Potencjał zawarty w odnawialnych źródłach energii zapewnia wielokrotnie wyższe zasoby niż wynosi obecne całkowite zużycie. Biorąc pod uwagę samą energię słońca docierającą do powierzchni Ziemi, przekracza ona 15 tys. razy ilość energii obecnie produkowanej z konwencjonalnych źródeł energii. Szacuje się, że za kilkadziesiąt najbliższych lat połowa energii będzie pochodzić z odnawialnych źródeł energii (Jastrzębska 2009).

Niniejsza praca jest przykładem zastosowania odnawialnych źródeł energii (promieniowania słonecznego) w urządzeniu codziennego użytku, czyli ekologicznej lodówce. Zbudowana jest ona z materiałów termoizolacyjnych, a czynnikiem chłodniczym jest moduł Peltiera. Źródłem zasilania jest panel fotowoltaiczny o mocy szczytowej 10 W.

2. Moduły fotowoltaiczne oraz efekt Peltiera

Bardzo powszechnym źródłem energii elektrycznej są dzisiaj ogniwa fotowoltaiczne (PV), które dzięki absorpcji i konwersji promieniowania słonecznego wytwarzają prąd elektryczny. Porównując produkcję energii elektrycznej opartej na paliwach kopalnych oraz energię powstałą w fotoogniwach można stwierdzić, że instalacja fotowoltaiczna ma duży wpływ na ochronę środowiska. Każdy kW instalacji pozwala zaoszczędzić rocznie nawet 16 kg NO_x i 9 kg SO_x, a jednocześnie do 2300 kg CO_2 (Lewandowski i in. 2017).

Człowiekiem, który jako pierwszy odkrył, że światło może stać się źródłem prądu był Edmund Becquerel. W 1839r. badał on właściwości ciał stałych w elektrolicie. Podczas

naświetlania jednej z dwóch elektrod (stworzonych z jednakowego metalu) zanurzonych w elektrolicie, zaobserwował, że między nimi powstaje napięcie. Spowodowało to, że już cztery lata później wyprodukowano pierwsze ogniwo słoneczne (cynowo-selenowe). Jego producentem był Charles Fritts, który już wtedy przewidział przyszłe zastosowanie fotoogniw do produkcji energii elektrycznej na światową skalę. Do jego eksperymentów sceptycznie podchodzili ówcześni badacze i dlatego efekt fotowoltaiczny nie został wyjaśniony aż do narodzin mechaniki kwantowej. Dopiero w połowie XX wieku, kiedy powstały diody i tranzystory krzemowe, nastąpił przełom w dziedzinie ogniw słonecznych. W roku 1954 Chapin, Pearson i Fuller stworzyli moduł o sprawności 6%, którego produkcją zajęły się dwie komercyjne firmy. W tym samym czasie Reynolds skonstruował pierwsze ogniwo heterozłączowe (siarczek kadmu/siarczek miedzi). W 1954r. Allison i Lindmayer uzyskali ogniwo ze sprawnością 16% (Wacławek, Rodziewicz 2014).

W ogniwach fotowoltaicznych energia promieniowania słonecznego jest zamieniana w energię elektryczną. Proces tej zamiany nazywamy mianem konwersji fotowoltaicznej. Pojedyncze ogniwo składa się z płytki krzemowej, która posiada barierę potencjału (pole elektryczne), w postaci złącza p-n (positive-negative). W monecie, kiedy na fotoogniwo pada promieniowanie słoneczne, ze struktury półprzewodnika zostają wybite elektrony, które tworzą pary nośników o ładunkach przeciwległych (ładunkiem ujemnym jest elektron, natomiast dodatnim „dziura" powstała po jego wybiciu). Pole elektryczne, istniejące na złączu p-n rozdziela te ładunki i sprawia, że na wyjściu ogniwa pojawia się napięcie. Kiedy podłączymy do ogniwa urządzenia, które pobiera energię, następuje przepływ prądu elektrycznego. Wykonując ogniwa fotowoltaiczne najczęściej używa się krzemu, który jest drugim po tlenie najbardziej powszechnym pierwiastkiem na Ziemi, występującym m. in. w piasku (Klugmann-Radziemska 2010).

Technologie fotowoltaiczne obecnie dzielimy na trzy grupy:

- pierwszej generacji,
- drugiej generacji,
- trzeciej generacji.

Technologie pierwszej generacji - ogniwa wykonane z krzemu krystalicznego. Krzem jest najczęściej stosowanym materiałem do wyrobu ogniw PV (90% produkcji światowej wykorzystuje krzem do budowy ogniw fotowoltaicznych). Jest on dostępny w bardzo dużych ilościach, ponieważ jest drugim, co do powszechności występowania pierwiastkiem na Ziemi. Występuje zarówno w związkach chemicznych jak i w czystej postaci. Produkując ogniwa PV w technologii pierwszej generacji wykorzystuje się krzem krystaliczny (monokrystaliczny,

polikrystaliczny lub multikrystaliczny) oraz złącze p-n. Redukując krzemionkę (SiO_2) węglem, otrzymuje się czysty krzem metalurgiczny (98-99% czystości). W wyniku tej reakcji powstaje również dwutlenek węgla (CO_2). Krzem metalurgiczny oczyszcza się dodatkowo w procesie Siemensa. Dopiero krzem w tak czystej postaci, może zostać wykorzystany do produkcji modułów fotowoltaicznych. Technologie generacji pierwszej obejmują obecnie 89% światowego rynku (Lewandowski 2017).

Ogniwa na bazie krystalicznego krzemu klasyfikowane są w trzech grupach:

- monokrystaliczne (Sc-Si); do wytwarzania krzemu monokrystalicznego stosuje się metodę Czochralskiego lub proces topnienia strefowego,
- polikrystaliczne (pc-Si) lub multikrystaliczne (mc-SI),
- folie i taśmy krzemowe, które otrzymuje się metodą EFG (polega ona na wyciąganiu taśmy z roztopionego krzemu).

Technologie drugiej generacji - aby zredukować zużycie drogich materiałów i poprawić stosunek ceny ogniwa do jego mocy zaczęto stosować cienkowarstwowe ogniwa słoneczne. Rozwój technologii spowodował ich wytwarzanie na coraz większą skalę. Teoretycznie mogą one zapewnić niższe koszty pozyskiwania energii elektrycznej w porównaniu z ogniwami na bazie krystalicznego krzemu. Ogniwa cienkowarstwowe zbudowane są z cienkich warstw o grubości 1-4 μm, które osadza się na ogólnie dostępnym, tanim podłożu, jakim jest szkło, metal albo polimer. Rezultatem jest znacznie mniejsza ilość materiału półprzewodnikowego do zamiany energii słonecznej w energię elektryczną przy tym samym nasłonecznieniu. W porównaniu do krystalicznych ogniw słonecznych jest to nawet 99% mniej zużytych drogich materiałów półprzewodnikowych. Drugą zaletą jest możliwość produkowania lekkich, elastycznych konstrukcji, które wykorzystuje się, jako elementy budowlane tzw. BIPV (*Building Integrated Photovoltaics*).

Obecnie stosuje się trzy główne typy ogniw cienkowarstwowych:

- ogniwa z krzemu amorficznego (a-Si),
- ogniwa z tellurku kadmu (CdTe),
- ogniwa z selenku miedziowo-indowego ($CuInSe_2$, CIS) oraz selenku miedziowo-indowo-galowego ($CuInGaSe_2$, CIGS).

Technologie trzeciej generacji ogniw fotowoltaicznych obejmuje następujące technologie:

- Concentrated Photovoltaics (CPV) – W tej technologii wykorzystuje się koncentratory promieniowania (soczewki i zwierciadła), które skupiają promienie słoneczne na

ogniwie fotowoltaicznym. Dzięki temu uzyskuje się koncentrację nawet 1000 razy większą niż w normalnych ogniwach.

- Ogniwa fotowoltaiczne Grätzela (*Dye-sensitized Solar Cells*) – Są to tanie, lecz mało efektywne ogniwa. Nazwane zostały ogniwami fotoelektrochemicznymi, ponieważ konwersja energii następuje w nich podobnie jak w roślinach i algach.
- Organiczne ogniwa słoneczne (*Organic Photovoltaics*) – Zbudowane z materiałów organicznych.
- Nowe koncepcje, które potrzebują czasu, aby się rozwinąć (Lewandowski 2017).

Porównanie sprawności ogniw fotowoltaicznych wykonanych w różnych technologiach przedstawiono w tab. 1.

Tabela 17. Sprawność ogniw fotowoltaicznych poszczególnych technologii (opracowanie własne na podstawie Jastrzębska, 2009)

Technologia	I Generacja		II Generacja			III Generacja		
	sc-Si	mc-Si pc-Si	a-Si	CIS/CIGS	CdTe	CPV	DSSC	Organiczne
Sprawność STC [%]	20-24	14-18	6-8	10-12	8-10	36-41	8,8	8,3

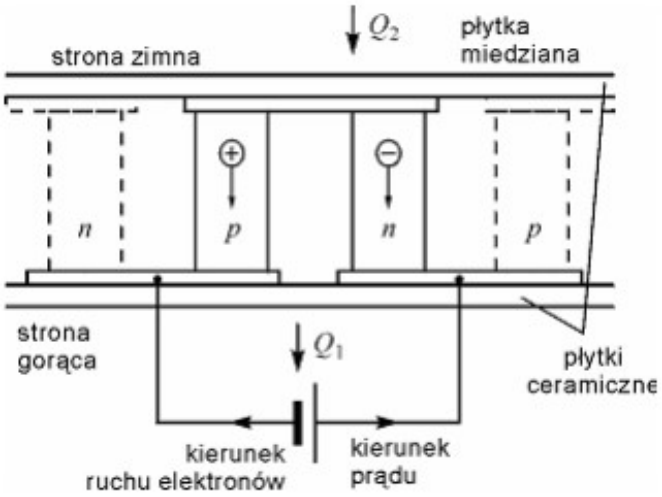
gdzie: STC (Standard Test Conditions): natężenie promieniowania słonecznego wynosi 1000 W/m^2, masa powietrza AM 1,5, a temperatura ogniowa 25°C.

Technologie fotowoltaiczne bazujące na krystalicznym krzemie utrzymują ciągle swą wiodącą pozycję na światowym rynku. Niemniej jednak w przyszłości możemy się spodziewać rosnącej ekspansji technologii drugiej generacji. Również nowe koncepcje, będące obecnie w etapie rozwoju, mogą w przyszłości stać się wiodącymi (Lewandowski 2017).

Zastosowanie efektu Peltiera:

Ogniwa Peltiera, od wielu lat są obiektem zainteresowań elektroników na całym świecie. Jeszcze do niedawna zainteresowanie to było czysto teoretyczne, ze względu na ograniczony dostęp do tego rodzaju urządzeń. Obecnie na rynku istnieje wiele ogniw dostępnych w przyzwoitych cenach, co umożliwia wykorzystanie oraz przetestowanie ogniwa do własnych potrzeb. Kiedy włączymy je w obwód elektryczny, występuje grzanie lub chłodzenie (w zależności od kierunku przepływającego prądu). Moduł Peltiera, wykorzystuje efekt Peltiera, który jest zjawiskiem termoelektrycznym występującym w ciałach stałych. Polega on na pochłanianiu, względnie wydzielaniu energii pod wpływem przepływu prądu elektrycznego przez złącze. Aby na jednym złączu wydzieliła się energia (w postaci np. ciepła) musi ona zostać pobrana z drugiego złącza. Tak właśnie powstaje różnica temperatur pomiędzy złączami. Efekt Peltiera powstaje na granicy dwóch różnych półprzewodników – typu „p" oraz typu „n" połączonych dwoma złączami. Gdy do modułu zostanie dostarczony

prąd elektryczny jedno ze złącz nagrzewa się, drugie zaś ochładza. Złącze, w którym elektrony przechodzą z przewodnika o niższym poziomie Fermiego do przewodnika o poziomie wyższym ulega ochłodzeniu. Zjawisko ulegnie odwróceniu, kiedy zmienimy kierunek przepływu prądu na przeciwny. Dzieje się tak, ponieważ istnieje symetria złącz. Zjawisko to jest odwrotne do efektu Seebecka, który polega na powstawaniu siły elektromotorycznej w obwodzie składającym się z dwóch półprzewodników, podczas gdy znajdują się one w różnych temperaturach. Ogniwo Peltiera jest, więc elementem półprzewodnikowym składającym się z dwóch cienkich płytek (ceramicznych). Pomiędzy tymi płytkami szeregowo ułożone są półprzewodniki, naprzemiennie typ „n" i „p". Półprzewodniki te są połączone miedzianymi ścieżkami znajdującymi się na wewnętrznych powierzchniach płytek obudowy ceramicznej, tak jak na rysunku 2 (Pniewski 2016).



Rys. 2. Budowa modułu Peltiera (Górecki 1996)

Istotnymi cechami modułów Peltiera są:

- wysoka wytrzymałość mechaniczna,
- brak ruchomych elementów (sztywna konstrukcja),
- możliwość pracy w każdej pozycji położenia,
- wysoka żywotność (do 200 tys. godzin),
- możliwość stosowania w strefach zagrożonych wybuchem,
- dzięki płytkom ceramicznym, są odizolowane elektrycznie,
- brak czynnika chłodzącego,
- małe rozmiary, ułatwiające transport i przechowywanie,
- możliwość łączenia pojedynczych modułów w celu zwiększenia ogólnej wydajności (Pniewski 2016).

3. Budowa ekologicznej lodówki

W niniejszym projekcie głównym założeniem jest, aby prototypowe urządzenie było samowystarczalne pod względem energetycznym. W takim przypadku najważniejszym elementem i sercem ekologicznej lodówki jest panel fotowoltaiczny, który w słoneczny dzień będzie w stanie dostarczać niezbędnej mocy do poszczególnych modułów urządzenia. Odpowiednim rozwiązaniem okazał się panel MWG 10 o mocy 10 W i napięciu 12 V. Zbudowany jest on z trzydziestu sześciu ogniw wykonanych z wysokiej jakości krzemu (polikrystalicznego) o sprawności 13,7%, które zostały umieszczone na lekkim i sztywnym podłożu kompozytowym. Ich powierzchnia zabezpieczona jest twardym, ultra przeźroczystym szkłem antyrefleksyjnym przed uszkodzeniami mechanicznymi. Kontakty są wyprowadzone w formie wodoodpornej puszki znajdującej się z tyłu panelu. Moduł został zamontowany do górnej powierzchni kolumny (za pomocą zawiasów) w taki sposób, aby była możliwość zmiany kąta od 0 do 90°.

Tabela 2. Specyfikacja panelu fotowoltaicznego (opracowanie własne)

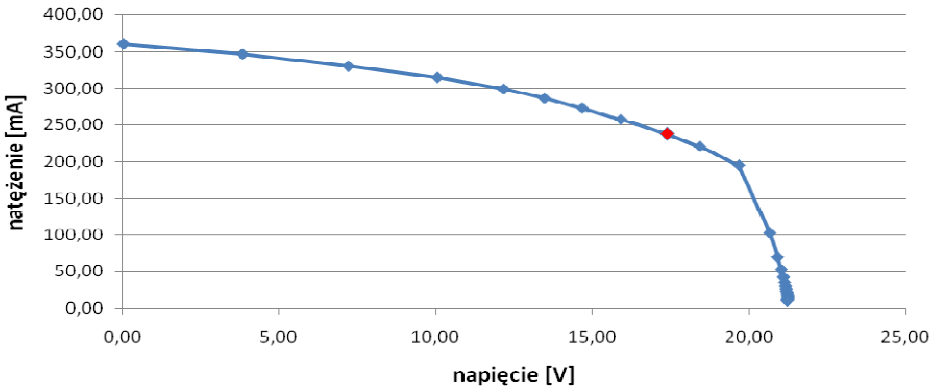
Producent	MW GREEN POWER
Typ elementu fotowoltaicznego	Fotoogniwo
Masa	1,5 kg
Materiał	Krzem polikrystaliczny
Wymiary zewnętrzne	290 x 330 x 25 mm
Napięcie przy mocy maksymalnej	17,49 V
Prąd przy mocy maksymalnej	0,58 A
Prąd zwarcia	0,61 A
Moc maksymalna	10 W
Zakres temperatury pracy	Od -40 do 85 °C

Drugim ważnym elementem konstrukcji jest obudowa, w której zamontowane zostały wszystkie podzespoły urządzenia. Powinna ona być odpowiednio sztywna, szczelna i wytrzymała. Obudowa ekologicznej lodówki została zbudowana ze sklejki wodoodpornej o grubości 13 mm. Ściany obudowy są połączone wkrętami oraz klejem. Dodatkowo zabezpieczono je materiałami termoizolacyjnymi. Jej wymiary – 330x290x200 mm zostały tak dobrane, aby górna powierzchnia lodówki była tej samej wielkość jak panel fotowoltaiczny. Na każdej ze ścian obudowy zostały umieszczone różne komponenty lodówki. Masa całego zestawu wynosi ok. 7 kg (rys. 3). W projekcie wykorzystano jeden moduł Peltiera, który został zamontowany do górnej powierzchni obudowy. Po obu stronach modułu przyklejono radiatory za pomocą kleju termoprzewodzącego. Dodatkowo dla lepszej wymiany ciepła do radiatorów zamontowano wentylatory.

Rys. 3. Ekologiczna lodówka (opracowanie własne)

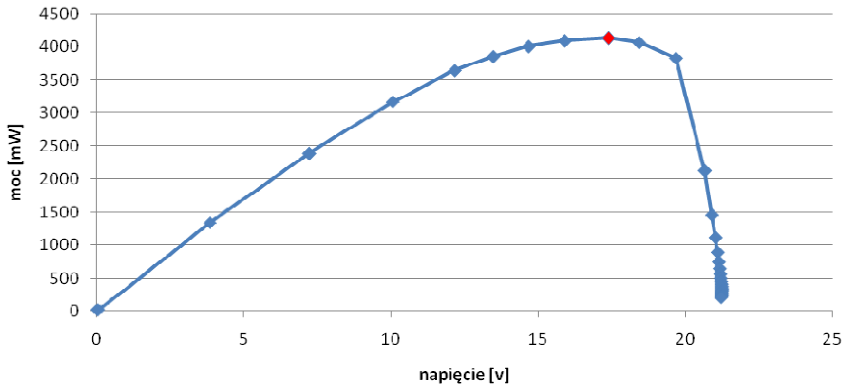
4. Badania pomiarowe

Panel fotowoltaiczny został poddany badaniom w celu sprawdzenia, czy jest w stanie wygenerować odpowiednią ilość prądu potrzebną do zasilania ekologicznej lodówki. Badania przeprowadzono w styczniu (w miejscowości Rzeszów, współrzędne geograficzne: 22°01'E 50°03'N), kiedy ilość energii słonecznej docierającej do powierzchni Ziemi jest najmniejsza. Dzięki pomiarom napięcia i natężenia prądu, przy różnej rezystancji odbiornika powstała charakterystyka prądowo-napięciowa fotoogniwa (rys. 4). Pomiary zostały wykonane w słoneczny dzień, przy oświetleniu (15000 lx).



Rys. 4. Charakterystyka prądowo-napięciowa panelu fotowoltaicznego (opracowanie własne)

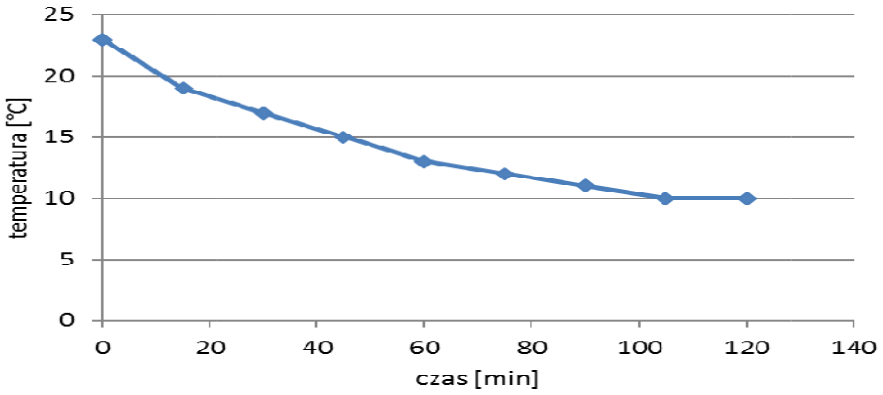
Na podstawie przeprowadzonych badań dla natężenia promieniowania światła 15000 lx ekologiczna lodówka w pełni spełniała swoje funkcje. Na wykresach kolorem czerwonym zaznaczono punkt mocy maksymalnej.



Rys. 5. Stosunek mocy do napięcia ogniwa (opracowanie własne)

Moc maksymalna panelu fotowoltaicznego w warunkach natężenia promieniowania w zimie wyniosła nieco ponad 4 W. Jest to wystarczająca moc do zasilania urządzenia.

Na rys. 6 zostały przedstawione wyniki spadku temperatury we wnętrzu lodówki w funkcji czasu.



Rys. 6. Spadek temperatury wewnątrz lodówki (opracowanie własne)

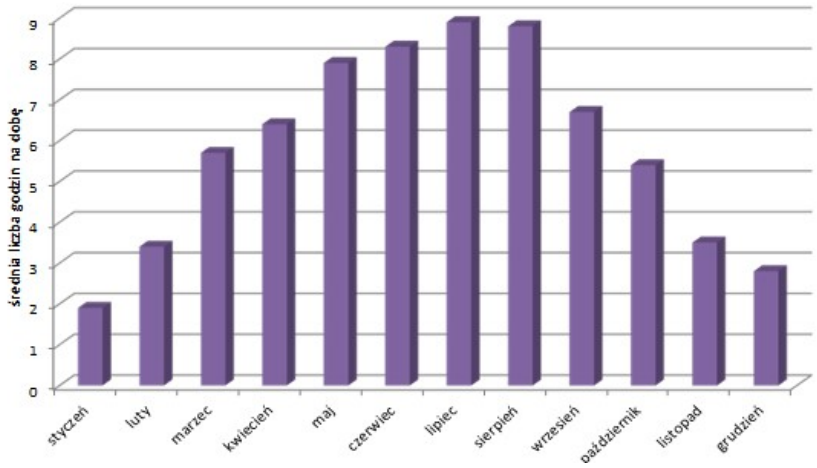
Początkowo wewnątrz urządzenia temperatura wynosiła 23°C. Po włączeniu zasilania, w odstępach, co 15 minut sprawdzano temperaturę. Po niecałych dwóch godzinach udało się uzyskać 10°C. Dzięki zastosowaniu materiałów termoizolacyjnych ta temperatura utrzymywała się przez następne 15 minut po wyłączeniu zasilania.

5. Podsumowanie i wnioski

Na rys. 7 przedstawiono średnią ilość godzin słonecznych w ciągu doby w mieście Rzeszów w okresie od stycznia 2010 roku do grudnia 2015 roku. Dane pochodzą ze strony internetowej www.weatheronline.pl.

Ze względu, że ekologiczna lodówka działa tylko w czasie, gdy świeci słońce (rys. 7), zastosowanie jest mocno ograniczone, natomiast brak konieczności zasilania sieciowego oraz brak negatywnych odziaływań dla środowiska znacznie przewyższa jej wadę. Najmniej godzin słonecznych w ciągu dnia przypada w zimie, a najwięcej w lecie. Średnia ilość godzin

słonecznych na dobę w ciągu roku pozwalająca na korzystanie z ekologicznej lodówki wynosi 5,8 godz.



Rys. 7. Średnia liczba godzin słonecznych na dobę w ciągu roku (opracowanie własne na podstawie www.weatheronline.pl)

Praca przedstawia najważniejsze informacje na temat budowy ekologicznej lodówki w instalacji off-grid. Odpowiedni dobór komponentów ekologicznej lodówki: fotoogniwa, modułu Peltiera oraz obudowy pozwolił osiągnąć główny cel pracy, czyli samowystarczalność urządzenia pod względem energetycznym. Do zasilania ekologicznej lodówki wykorzystany został panel fotowoltaiczny, który przetwarza energię promieniowania słonecznego na energię elektryczną. Celem urządzenia jest chłodzenie napojów i żywności w dowolnym miejscu w dni słoneczne. Panel fotowoltaiczny przetestowany został pod względem pracy w warunkach natężenia oświetlenia w pełnym słońcu (15000 lx).

Zrealizowany projekt podyktowany był coraz większą popularnością odnawialnych źródeł energii, a zwłaszcza paneli fotowoltaicznych, które w przyszłości ograniczą negatywny wpływ na środowisko obecnych form przetwarzania energii. Wykorzystanie modułu PV ukazuje nowe perspektywy ich zastosowania w przyszłości.

6. Literatura

Bogdanienko J., 1989. Odnawialne źródła energii. Wydawnictwo Naukowe PWN, s. 59

Górecki P., 1996. Ogniwa Peltiera. Elektronika Praktyczna, nr 1/96 s. 64, nr 2/96 s. 77 i nr 3/96 s. 65

Hawlader M. N., Brinkworth B. J., 1981. Solar Energy. Vol. 27, s. 195

Jastrzębska G., 2009. Odnawialne źródła energii i pojazdy proekologiczne. Wydawnictwo Naukowo- Techniczne, s. 31, 34

Klugmann-Radziemska E., 2010. Fotowoltaika w teorii i praktyce. Wydawnictwo BTC, s. 44-47

Lewandowski W. M., Klugmann-Radziemska E., 2017. Proekologiczne Odnawialne Źródła Energii. Wydawnictwo Naukowe PWN, s. 129

Pniewski R., 2016. *Wykorzystanie ogniw Peltiera w układach chłodzących pojazdów autobusowych*. Instytut Naukowo-Wydawniczy "SPATIUM", s. 1-6

Wacławek M., Rodziewicz T., 2014. Ogniwa słoneczne – wpływ środowiska naturalnego na ich pracę. Wydawnictwo WNT, s. 37

www.weatheronline.pl dostęp z dnia 05.01.2018r.

Koncepcja zautomatyzowanego stanowiska pomiarowego rezystancji wewnętrznej źródła napięcia

Wojciech Żyłka [(1)], Marcin Biskup [(1)], Piotr Prach [(1)], Wiktor Maziarz [(1)]

[1] Uniwersytet Rzeszowski, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, Katedra Mechatroniki i Automatyki, Polska
Piotr Prach: piotr.prach@urz.pl

Streszczenie
W artykule przedstawiono zagadnienia dotyczące wirtualnych systemów pomiarowych w oparciu o modernizację stanowiska pomiarowego do metrologii elektrycznej. W procesie automatyzacji wykorzystano konwencjonalny układ do pomiaru rezystancji wewnętrznej źródła napięcia rozbudowany o zestaw edukacyjny NI ELVIS II*.

Słowa kluczowe: wirtualne systemy pomiarowe, NI ELVIS II*

The concept of automatedmeasuringstation for internalresistance of a voltagesource

Summary
The article presents issues related to virtual measuring systems based on modernization of measure mentstation for electrical metrology. In the automation process, a conventional system for measuringinternalresistance of the voltagesource was expanded with the NI ELVIS II*educational set.

Keywords: virtualmeasuringsystems, NI ELVIS II *

1. Wstęp

Nieustanny rozwój technologii w różnych branżach (medycznej, elektronicznej, chemicznej itp.) wymuszacałkowite zastąpienie „przestarzałych" technologii nowymi rozwiązaniami, częstopoprzez udoskonalanie znanych rozwiązań technicznych. Ulepszanie stosowanych rozwiązań zamiast ich całkowitego zastępowania pozwala na znaczne zwiększenie wydajności, poprawę jakości przy jednoczesnym utrzymaniu niskich kosztów wprowadzanych zmian. Sposób ten pozwala również na rozwój jednostek pracujących przy udoskonalaniu „starych"technologii, wymagających dużego zaangażowania, wykorzystania zdobytej wiedzy i doświadczenia w praktyce, przede wszystkim kreatywności.

Klasyczne pomiary w metrologii elektrycznej wykonywane są przy użyciu multimetrów i urządzeń analogowych lub cyfrowych (w nowszych rozwiązaniach). Na świecie pojawia się tendencja do przechodzenia na cyfrowe metody pomiarowe.Od kilkunastu lat do wykonywania pomiarów metrologicznych używa się dedykowanych kart pomiarowych oraz komputerów PC. Wiele czynności i procesów produkcyjnych automatyzuje się w celu wyeliminowania monotonnych aktywności wykonywanych przez człowieka lub w celu zaoszczędzenia czasu i pieniędzy (Chwaleba i in. 2014).

Automatyzując dany proces(lub czynność) użytkownik otrzymuje nad nim większą kontrolę, między innymi poprzez wiele zmiennychobsługiwanych przez program wykonujący

pomiary i realizującysterowanie. Dzięki odpowiedniej interpretacji zmiennych -przez dedykowany algorytm zawarty w programie, użytkownik może być informowany (np. przy użyciu kontrolek wizualnych) o stanach awaryjnych urządzenia, oraz mogących wystąpić w nim błędach.

W artykule przedstawiono modernizację stanowiska badawczego przeznaczonego do pomiaru rezystancji wewnętrznej źródła napięcia. W pierwszej kolejności przedstawiono ideę pomiaru konwencjonalną metodą, a następnie jej zautomatyzowaną wersję.

2. Materiały

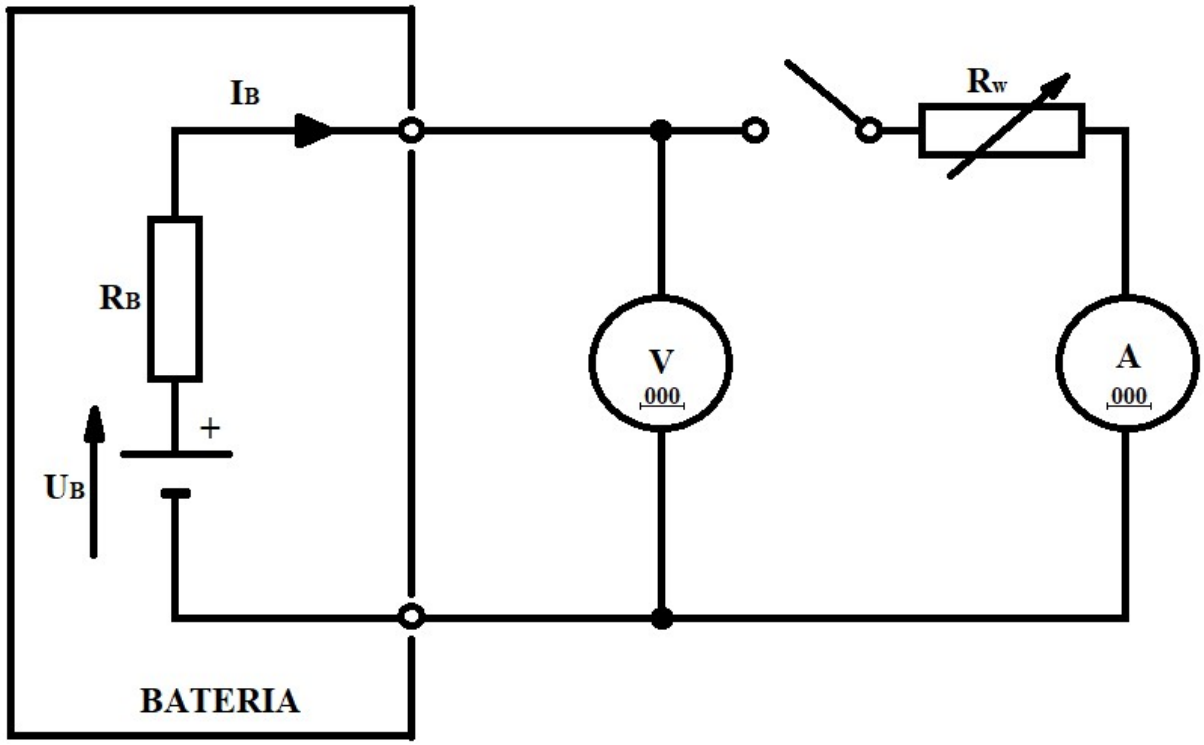
Budowa zautomatyzowanego stanowiska przeznaczonego do pomiaru rezystancji wewnętrznej źródła napięcia została wykonana w oparciu o urządzenia znajdujące się na wyposażeniu Pracowni Fotoniki i Metrologii Elektrycznej na Wydziale Matematyczno-Przyrodniczym Uniwersytetu Rzeszowskiego.

3. Metody

Wirtualne systemy pomiarowe definiowane są, jako systemy pomiarowe wykorzystujące przyrząd wirtualny czyli urządzenie będące połączeniem sprzętu pomiarowego i oprogramowania współpracującego z komputerem PC. W nowoczesnych środowiskach pomiarowych rolę oprogramowania spełniają aplikacje sterujące pracą systemu pomiarowego, których głównym zadaniem jest komunikacja oraz przekazywanie danych pomiędzy jego poszczególnymi elementami. Projektowanie tego typu oprogramowania dla systemów pomiarowych składa się z operowania obiektami przedstawionymi w postaci graficznej, rozmieszczanych na wirtualnych interfejsach. Operacje wykonywane na tego typu obiektach powodują uruchomianie tzw. „zdarzeń" (np. pomiar wartości napięcia, porównanie go z wartością oczekiwaną, wyświetlenie komunikatu itd.). Projektant tworzy zbiór obsługi takich zdarzeń, przy użyciu klasycznych języków programowania takich jak: Basic, C, C++ lub za pomocą języków graficznych (np. w środowisku LabVIEW, LabWindows oraz DasyLab). Funkcje sprzętowe w wirtualnych przyrządach pomiarowych pełnią karty pomiarowe oraz moduły laboratoryjne (np. NI ELVIS II*), których główną rolą jest pośredniczenie pomiędzy częścią wirtualną (oprogramowaniem) i rzeczywistą (sprzętem np. obwodem elektrycznym i jego elementami) systemu pomiarowego. (Ptak 2014)

Konwencjonalny układ do pomiaru rezystancji wewnętrznej źródła napięcia(metodą pośrednią) bazował na wykorzystaniu dwóch multimetrów, mierzących natężenie prądu i napięcia oraz przełącznika mechanicznego załączanego ręcznie (Rys. 1). Badanie polegało na połączeniu rzeczywistego układu, pomiarze wielkości elektrycznych (pomiar napięcia przy

otwartym przełączniku, a następnie natężenia prąduprzy zamkniętym przełączniku) i obliczeniu wartości rezystancji wewnętrznej źródła napięcia.(Chwaleba i in. 2014)



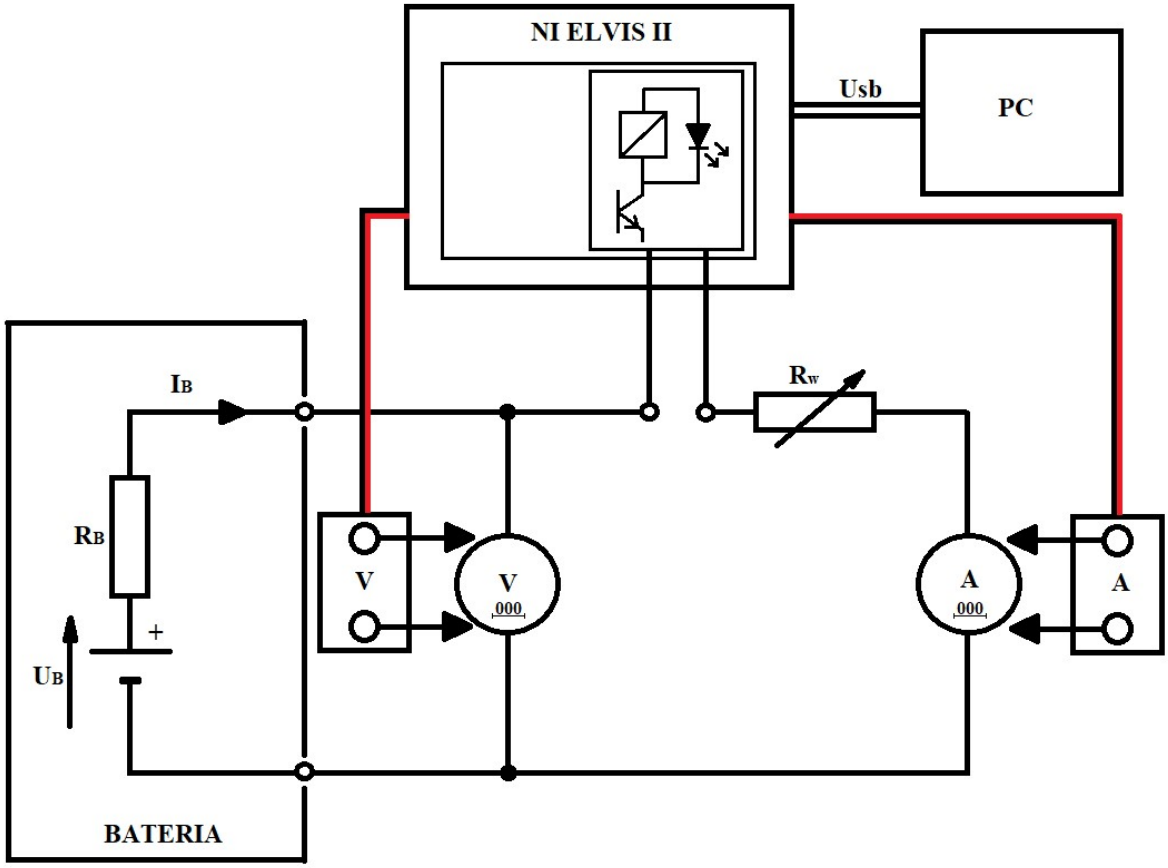
Rys. 1. Schemat konwencjonalnego układu do pomiaru rezystancji wewnętrznej źródła napięcia (opracowanie własne)

Wykonanie ćwiczenia laboratoryjnego w oparciu o przedstawiony wyżej układ umożliwia studentom poznanie podstaw elektroniki i metrologii elektrycznej: zasad łączenia prostych obwodów elektrycznych bazując na danym schemacie, obsługi multimetrów itp.

Przedstawiona metoda pomiarów jest czasochłonna przy dużej ilości pomiarów dla różnych źródeł napięcia – osoba wykonująca ćwiczenie odczytuje wyniki pomiarów z multimetru i sama wykonuje obliczenia przy użyciu podanego wzoru. Udoskonalona wersja stanowiska pomiarowego ogranicza ingerencję osoby realizującej ćwiczenie jedynie do prawidłowego podłączenia badanego źródła napięcia (z odpowiednią polaryzacją). Zautomatyzowanie stanowiska uzyskane zostało poprzez podłączenie modułu NI ELVIS II* z komputerem PC do odpowiednio zmodyfikowanego konwencjonalnego układu pomiarowego (Rys. 2).

W opisanym układzie pomiarowym część sprzętowa akwizycji danych pomiarowych realizowana jest na zestawie edukacyjnym NI ELVIS II* firmy National Instruments. NI ELVIS II jest modułem laboratoryjnym opracowanym specjalnie dla środowisk akademickich w celach edukacyjnych. Charakteryzuje się on kompaktową obudową zintegrowaną z 12 najczęściej stosowanymi instrumentami laboratoryjnymi; w tym oscyloskopem, multimetrem cyfrowym, generatorem funkcji, regulowanym zasilaczem

napięcia stałego itd. Zestaw edukacyjny ELVIS II* podłącza się do komputera PC przy pomocy przewodu USB. Można na nim sprawnie łączyć i uruchamiać różne prototypowe układy elektroniczne - obecność płytki stykowej eliminuje konieczność lutowania elementów dyskretnych i scalonych.(NI ELVIS II Series Specifications, User Manual 2018)

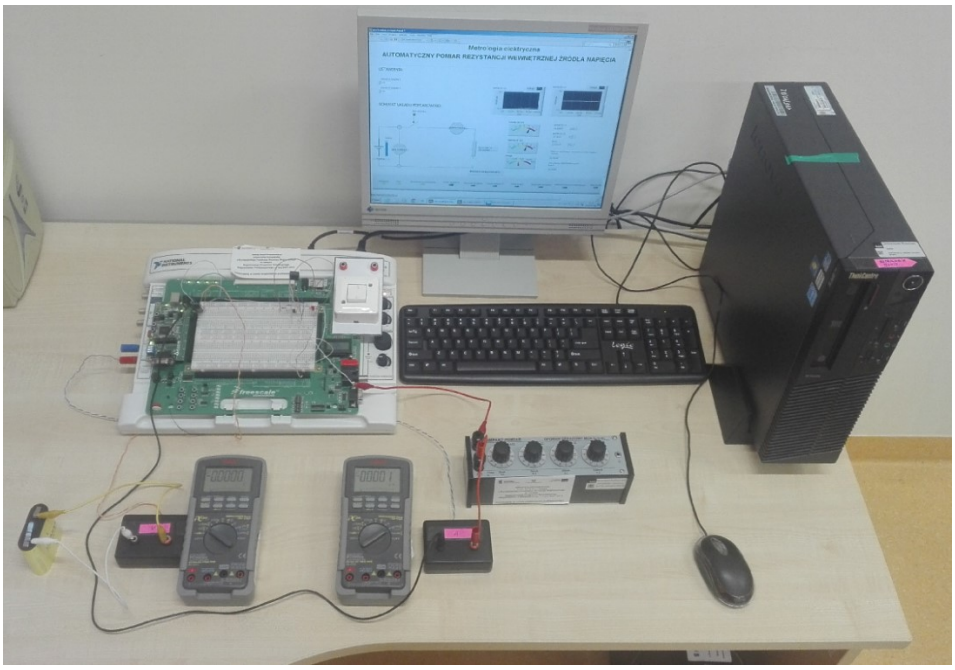


Rys. 2. Schemat zautomatyzowanego układu do pomiaru rezystancji wewnętrznej źródła napięcia (opracowanie własne)

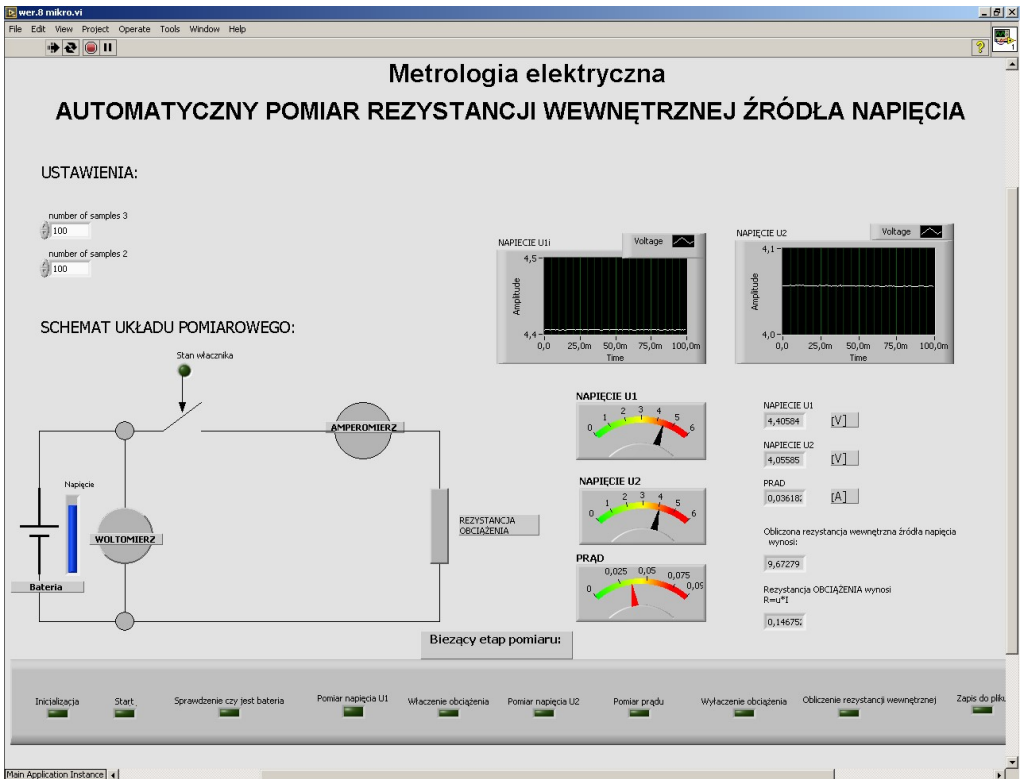
W proponowanym stanowisku pomiarowym w miejsca „usuniętych multimetrów" (na potrzeby podłączenia do zestawu ELVIS) wstawiono specjalnie przygotowane przejściówki/ przyłącza sygnałów (odpowiednio oznaczone małe obudowy z tworzywa z zamontowanymi w nich gniazdami „banan"). Moduły zostały oznaczone odpowiednio, jako:„V" (Volt –pomiar napięcia), „A" (A-pomiar prądu), BAT (podłączenie Baterii). Rolę mechanicznego przełącznika przejął przekaźnikowy układ elektroniczny zbudowany na płytce wchodzącej w skład zestawu NI ELVIS II*. Rzeczywiste stanowisko pomiarowe przedstawia (Rys. 3).

Program sterujący pomiarem przygotowanow środowisku LabVIEW firmy National Instruments. Oprogramowanie LabVIEWpozwala wizualizować każdy aspekt aplikacji, w tym konfigurację sprzętu, dane pomiarowe i debugowanie (redukcję liczby pojawiających się błędów). Wizualizacja ułatwia: integrację sprzętu pomiarowego dowolnego dostawcy,

reprezentację złożonej logiki na schemacie, rozwój algorytmów analizy danych i projektowanie niestandardowych interfejsów użytkownika.W środowisku tym algorytmy tworzy się w wizualnym języku programowania (język G). Rys. 4 przedstawia graficzny interfejs użytkownika – panel przedni wirtualnego urządzenia pomiarowego (http://www.ni.com/pl-pl/shop/labview.html 2018)



Rys. 3. Zautomatyzowane stanowisko do pomiaru rezystancji wewnętrznej źródła prądu (opracowanie własne)



Rys. 4. Panel główny ze wskaźnikami w graficznym środowisku programistycznym LabVIEW 2014 (opracowanie własne)

Proponowane rozwiązanie jest próbą przedstawienia sposobu innowacyjnego połączenia wirtualnego przyrządu pomiarowego z rzeczywistym, tradycyjnym układem pomiarowym, w celu podniesienia walorów edukacyjnych i interaktywnych stanowiska służącego do wykonywania pomiarów metrologicznych.

Tymczasowe usunięcie multimetrów na potrzeby automatyzacji procesu pomiarowego nie wyklucza ich przyłączenia na powrót (w razie konieczności) i wykonania pomiarów metodątradycyjną.

Sam procestworzenia wirtualnego urządzenia pomiarowego (programu w języku G), jak również przygotowania rzeczywistego układu elektronicznego na płytce ELVIS-a są czasochłonne, jednaknowopowstały układ pomiarowyznacznie skraca czas wykonania pomiaru oraz czytelniej prezentuje jego wyniki.

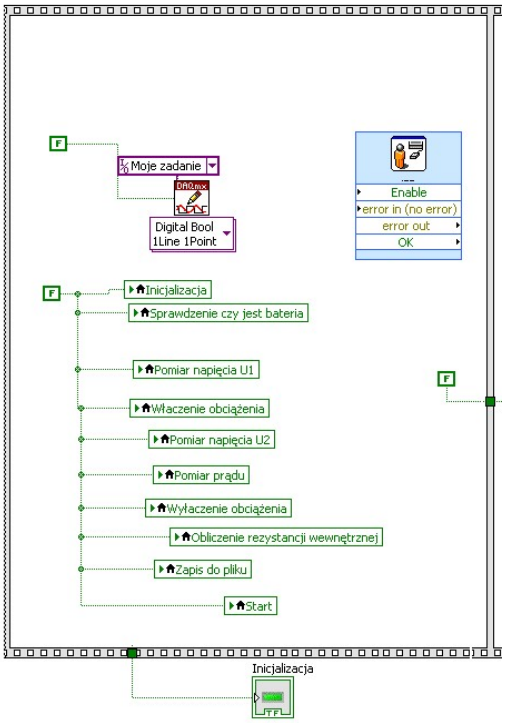
- Opis modułów programu i rzeczywistych elementów zautomatyzowanego stanowiska pomiarowego:

W programie wirtualnego przyrządu pomiarowego zastosowano wiele różnych instrukcji sterujących/kontrolujących jego pracę, reprezentowanych w środowisku LabVIEW przez wizualne kontrolki (z ang. controls). Jedną z głównych jest kontrolka „płaskiej sekwencji" z grupy Structures (z ang. flatsequence). Użyta została w celu umożliwienia wykonywania programu w założonej kolejności. Kolejną z nich jest struktura pętli while (ang. WhileLoop), dzięki której program może działać w pętli i wykonywać kolejne pomiary oraz obliczenia.

W pierwszej „klatce" sekwencji wirtualnego przyrządu umieszczono blok instrukcji służący do inicjalizacji układu pomiarowego (wyłączenie przekaźnika, wyświetlenie komunikatu dla użytkownika, wygaszenie diod stanu pracy, wygaszenie diody paska postępu itp.). Pierwszą „klatkę" przedstawia (Rys. 5).

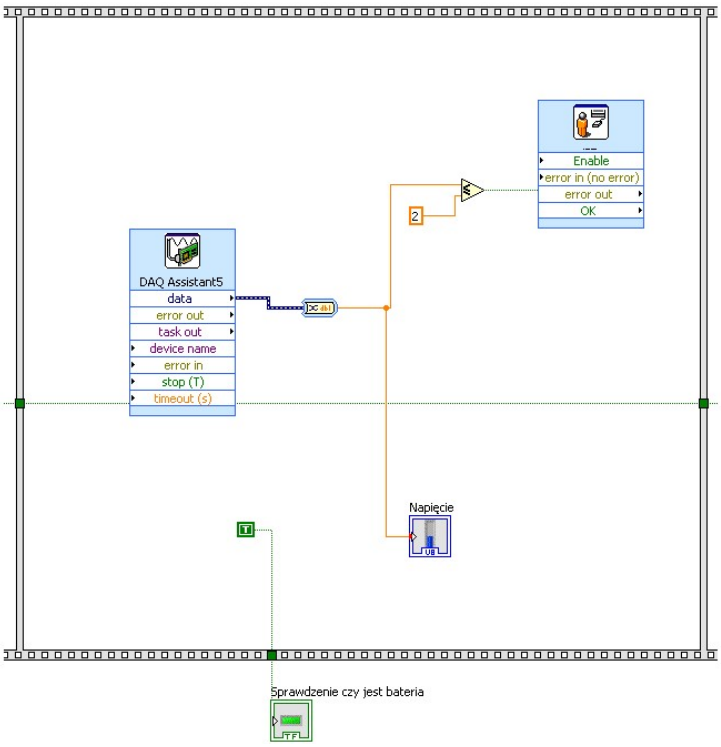
Proces akwizycji danych pomiarowych zrealizowany został przy użyciu kreatora NI-DAQ Assistant. Moduł ten prowadzi sprawnie programistę przez proces dodawania kanałów pomiarowych karty do przygotowywanego programu, jak również służy do ustawiania trybów pomiarowych (pomiar napięcia, pomiar prądu, częstotliwość próbkowania, ilość pomiarów itp.).

Zadaniem następnej „klatki" programu jest sprawdzenie czy do układu pomiarowego podłączone zostało źródło napięcia (w przypadku jego braku wyświetlany jest odpowiedni komunikat) oraz jeśli znajduje się ono w układzie, wyświetlenie stanu jego naładowania tj. różnicy pomiędzy napięciem nominalnym a rzeczywistym (Rys. 6).

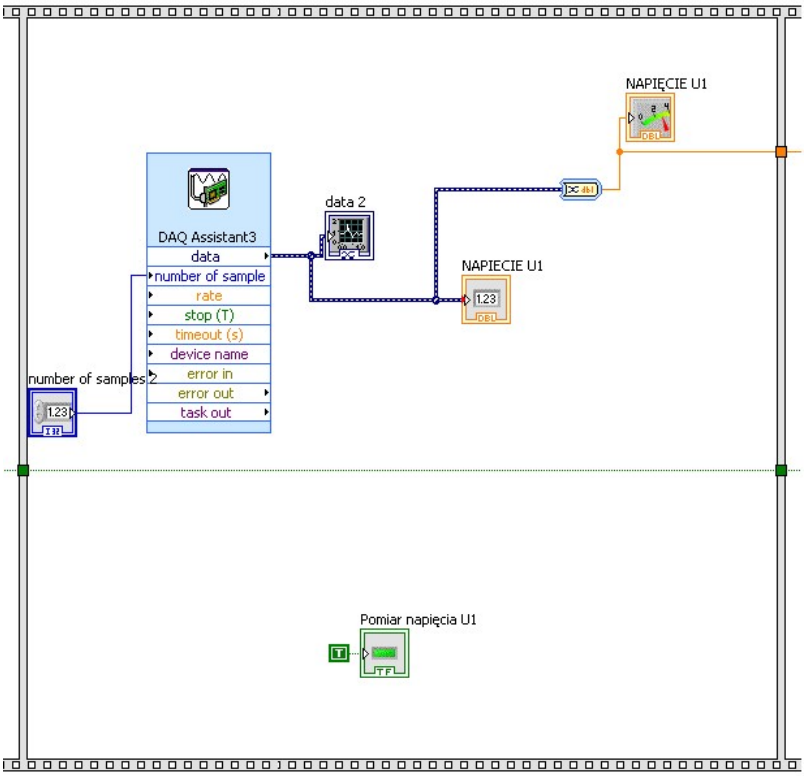


Rys. 5. Pierwsza „klatka"sekwencji programu – panel diagramów blokowych, LabVIEW 2014 (opracowanie własne)

Kolejna „klatka" wykonuje właściwy pomiar napięcia U1 (Rys. 7), U1 jest odpowiednikiem napięcia mierzonego przed zamknięciem przełącznika mechanicznego w konwencjonalnym układzie), przekazuje wyniki do: wskaźników interfejsu użytkownika i bloku w końcowej części programu obliczającego wartość rezystancji źródła napięcia (Rys.10).

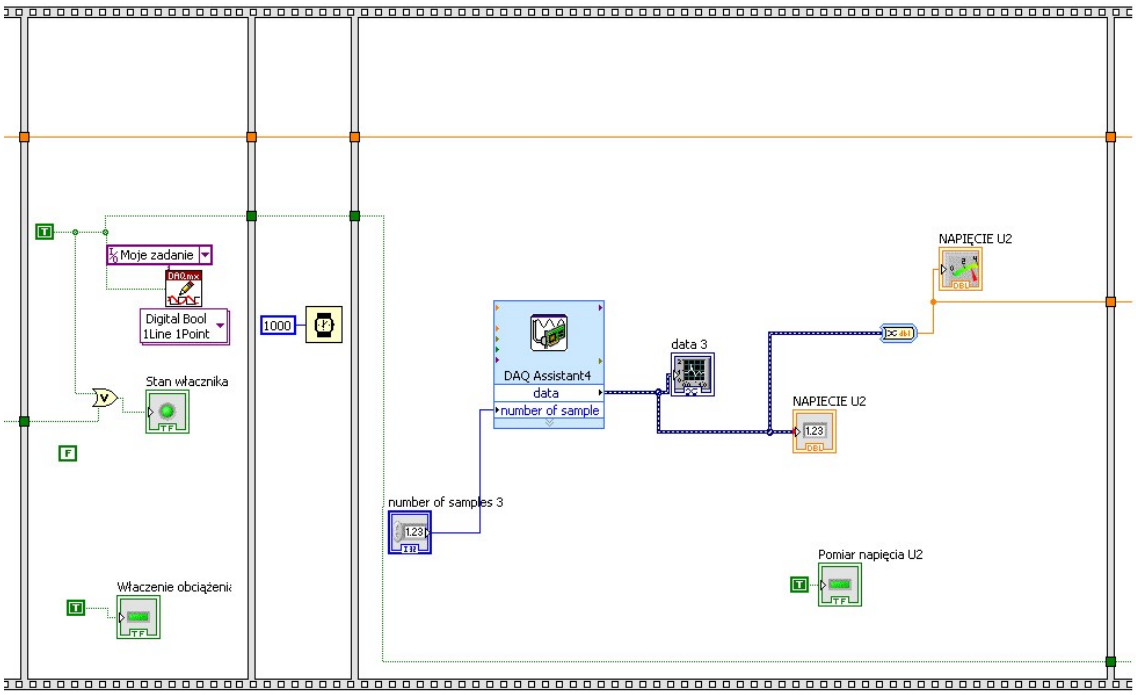


Rys. 6. „Klatka" programu sprawdzająca czy źródło napięcia jest podłączone (opracowanie własne)



Rys. 7. „Klatka" programu mierząca napięcie U1 (opracowanie własne)

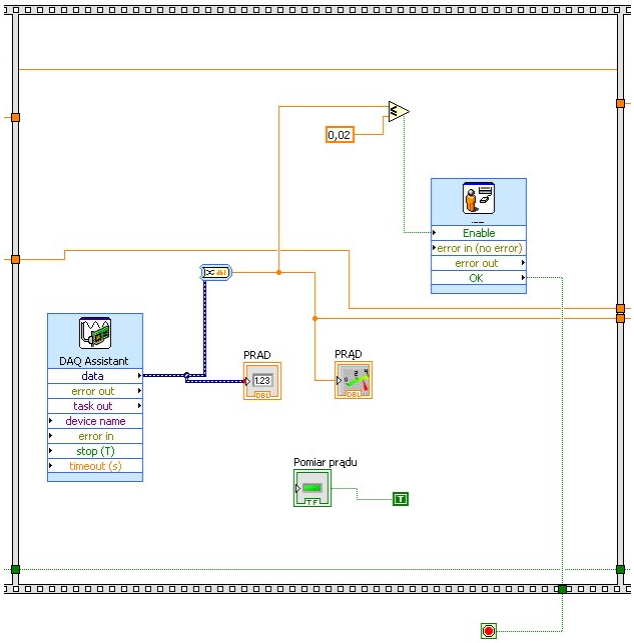
Trzy „klatki" przedstawione na (Rys. 8) prezentują część programu odpowiedzialną za: włączenia przekaźnika i zasygnalizowanie tego diodą LED, opóźnienie czasowe 1000 ms, pomiar napięcia U2 (odpowiednik napięcia mierzonego po zamknięciu przełącznika mechanicznego w konwencjonalnym układzie) oraz przekazanie wyników do wskaźnikówinterfejsu i bloku obliczającego rezystancję źródła napięcia.



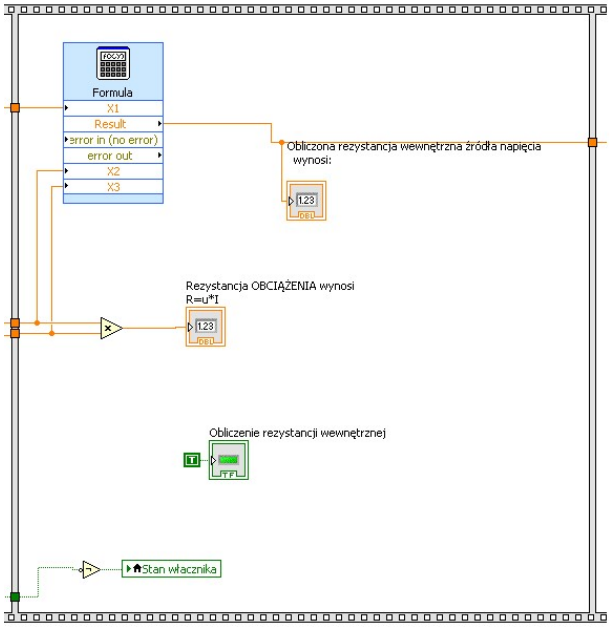
Rys. 8. „Klatka" programu mierząca napięcie U2 (opracowanie własne)

W kolejnej części programu (Rys. 9) ma miejsce pomiar natężenia prądu I oraz przekazanie wyników do: wskaźników interfejsu użytkownika i bloku w końcowej części programu obliczającego wartość rezystancji źródła napięcia (Rys. 10). Obliczenie rezystancji wewnętrznej źródła napięcia odbywa się przy użyciu wzoru matematycznego umieszczonego w kontrolce „Formula”.

Na postawie porównania oczekiwanej i zmierzonej wartości natężenia prądu sprawdzana jest poprawność połączeń układu, w przypadku błędu program wyświetla odpowiedni komunikat.

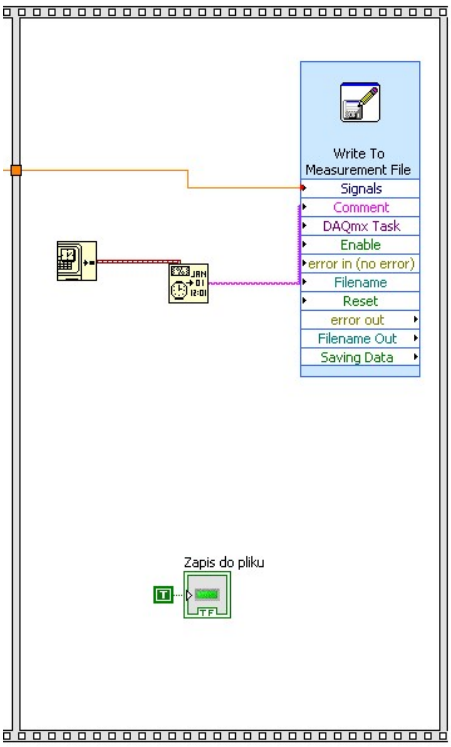


Rys. 9. „Klatka” programu mierząca natężenie prądu I (opracowanie własne)



Rys. 10.„Klatka” programu obliczająca rezystancję wewnętrzną źródła napięcia oraz rezystancję obciążenia (opracowanie własne)

Ostatnia część programu (Rys. 11) ma za zadanie zapis danych uzyskanych podczas pomiaru do pliku na komputerze PC.



Rys. 11. „Klatka" programu zapisująca dane uzyskane podczas pomiaru do pliku (opracowanie własne)

- Cechy proponowanego rozwiązania:

– Wirtualne urządzenie automatyzuje sam proces pomiaru oraz wprowadza interaktywność z użytkownikiem (zwrotne komunikowanie się użytkownika i maszyny poprzez specjalnie dobrany interfejs np. wizualne kontrolki, okna dialogowe itp.).

– Wyświetla komunikaty dla użytkownika. Odpowiednio steruje przebiegiem programu. Załącza elementy wykonawcze (przekaźniki, silniki krokowe). Sygnalizuje stany pracy programu i rzeczywistego układu.

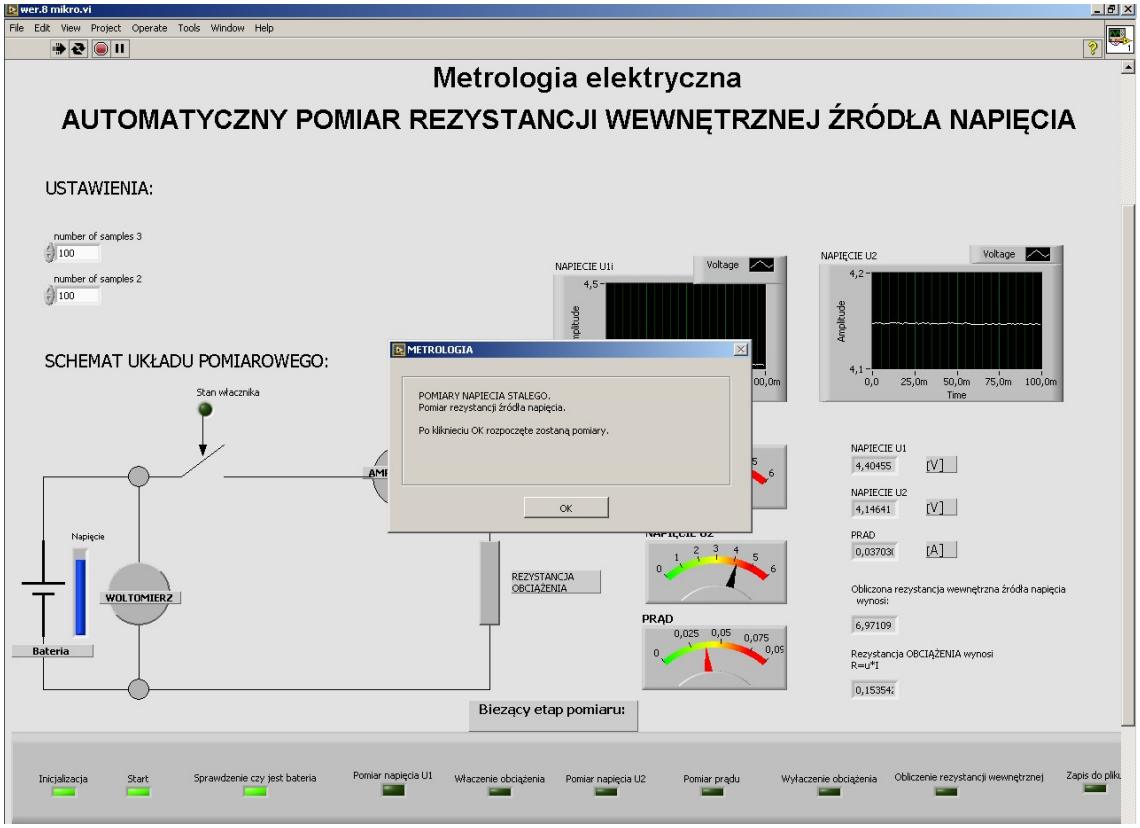
– Dane z wejść karty pomiarowej mogą być również w programie dodatkowo: filtrowane, uśredniane, porównywane, przeliczane itp.

– Ze względu na szybkość działania programu, jak również dydaktyczny cel budowy zautomatyzowanego układu pomiarowego w programie przygotowano „pasek postępu". Zrealizowano go przy użyciu opisanych kontrolek LED. Zaświecenie wirtualnej diody LED na panelu przednim interfejsu wirtualnego urządzenia informuje użytkownika, na jakim etapie pomiaru znajduje się program. Wprowadzono również jednosekundowe opóźnienie czasowe, aby osoba ucząca się (nadzorująca, obserwująca automatyczny pomiar) lepiej rozpoznawała etapy pracy programu.

– Program wirtualnego przyrządu pomiarowego może być uruchamiany na komputerze PC bez konieczności instalacjigłównego środowiska programowaniaLabVIEW - tryb Run Time Engine - pliki "*.vi" do postaci wykonywalnej "*.exe".
– Możliwość weryfikacji otrzymanych z programu wyników (np. porównując wyniki pomiaru z wcześniej przygotowaną na komputerze bazą danych dla konkretnego typu baterii).
– W LabVIEW dostępne są specjalne bloki przeznaczone na instrukcje programów „obcych” (napisanych w języku C, MATLAB-ie itp.). W jednym z takich bloków instrukcji (kontrolek) umieszczono wzór obliczający rezystancję wewnętrzną źródła napięcia dla opisywanego zestawu.

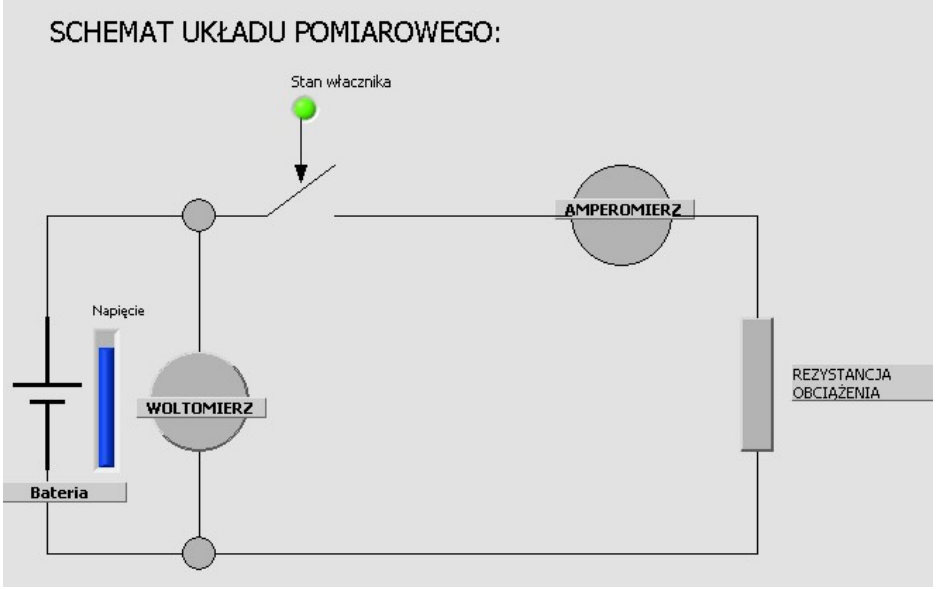
4. Przebieg przykładowego procesu pomiarowego

Pierwszym etapem było sprawdzenie poprawności połączeń wszystkich elementów zautomatyzowanego stanowiska do pomiaru rezystancji źródła napięcia: elementów płytki stykowej, modułów do pomiaru napięcia i natężenia prądu, komputera PC, zestawu NI ELVIS II*, dekady rezystancyjnej oraz baterii. Następnym krokiem było uruchomienie przygotowanego programu w środowisku LabVIEW i włączenie pomiaru z poziomu interfejsu użytkownika. Po inicjalizacji i sprawdzeniu poprawności podłączenia źródła napięcia, wyświetlony został komunikat o rozpoczęciu właściwych pomiarów (Rys. 12)

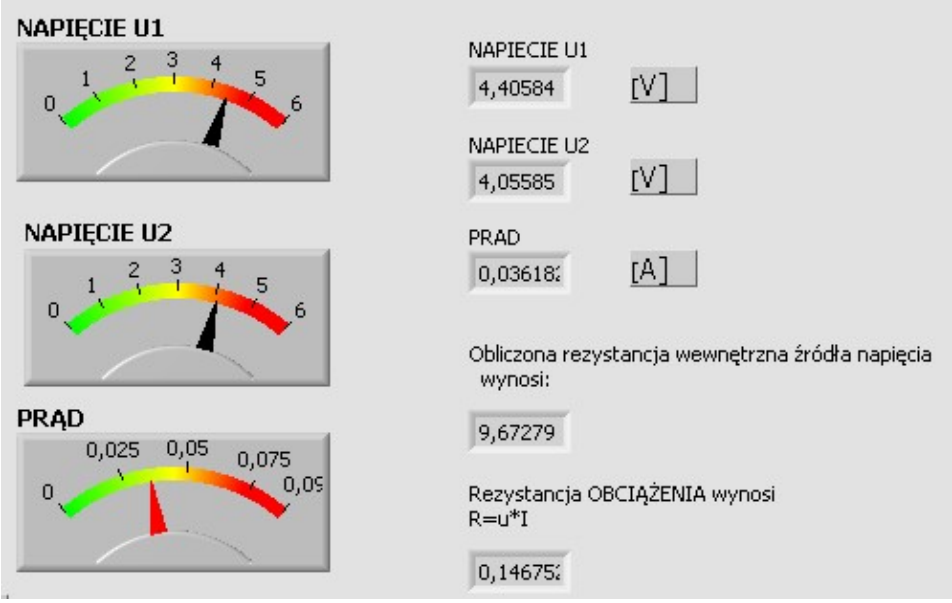


Rys. 12. Interfejs użytkownika przed rozpoczęciem właściwych pomiarów (opracowanie własne)

Program przeprowadził pomiar napięcia U1, a następnie uruchomił przełącznik, zostało to zasygnalizowane poprzez włączenie diody LED obok schematu umieszonego w panelu interfejsu użytkownika (Rys. 13). W kolejnym etapie wykonany był pomiar napięcia U2 oraz natężenia prądu I. Po tej operacji otrzymane wyniki zostały natychmiast wyświetlone na wirtualnych miernikach: woltomierzach i amperomierzu. Po wykonaniu pomiarów program automatycznie obliczył wartość rezystancji źródła napięcia i rezystancji obciążenia. Wyniki obliczeń wraz z wartością napięć U1, U2 oraz prądu I program wyświetlił w odpowiednio oznaczonych wizualnych kontrolkach (Rys. 14). Dodatkowo interfejs programu wyposażono w kontrolki „Waveform Chart" wyświetlające wartości napięć U1 i U2 w czasie trwania pomiaru (w formie wykresu U [V]/ t [s]).



Rys. 13. Schemat układu po uruchomieniu przełącznika (opracowanie własne)

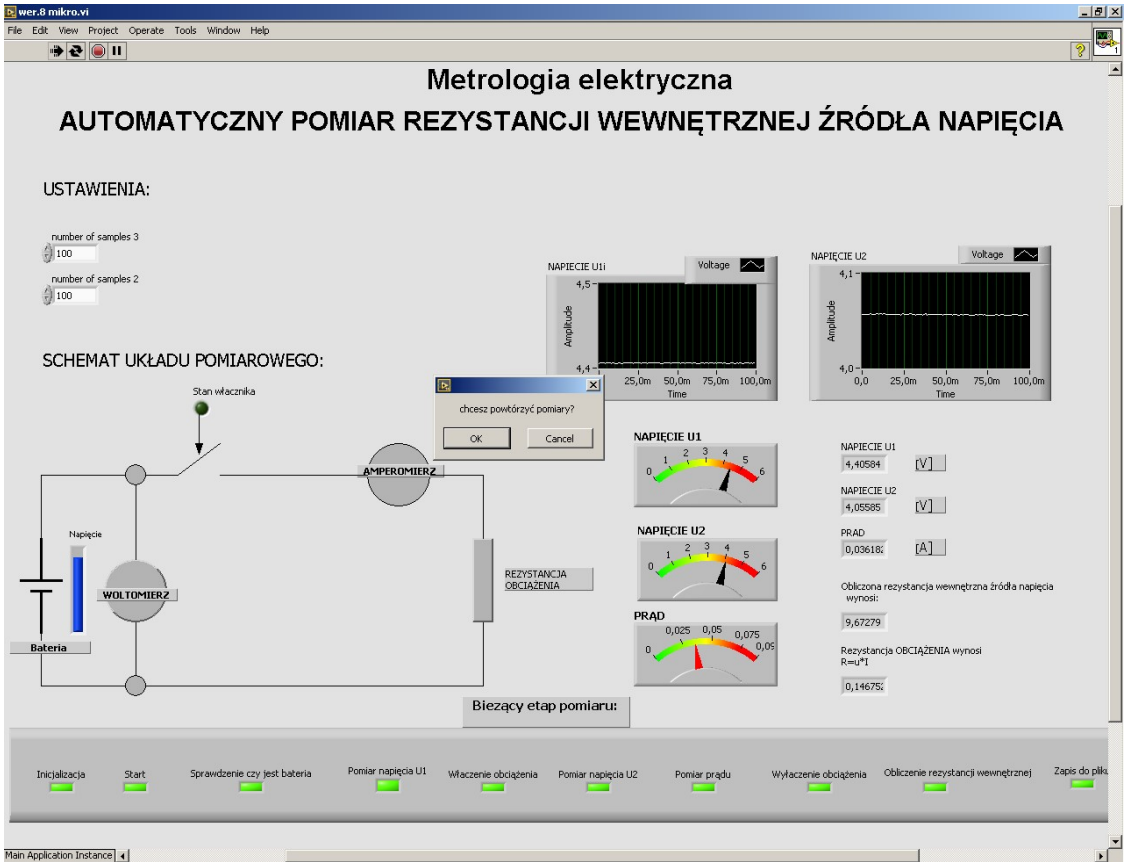


Rys. 14. Wyniki pomiarów (opracowanie własne)

Po wykonaniu pomiarów program zapisał uzyskane dane do piku. Ukończenie pracy programu zakomunikowano poprzez zapalenie się wszystkich kontrolek paska postępu znajdującego się na panelu przednim wirtualnego urządzenia pomiarowego, następnie wyświetlony został komunikat z zapytaniem czy powtórnie wykonać pomiar (Rys.15). Komunikat zawierał dwa funkcjonalne przyciski, kliknięcie przycisku oznaczonego:

a) „Ok"- warunek pętli „while" nie zostaje spełniony, rozpoczynany jest kolejny pomiar

b) „Cancel"- warunek pętli zostaje spełniony, skutkuje to jej przerwaniem i zakończeniem pomiarów



Rys. 15. Interfejs użytkownika po zakończeniu pomiarów (opracowanie własne)

5. Podsumowanie

Sam proces tworzenia wirtualnego urządzenia pomiarowego (programu w języku G), jak również przygotowania rzeczywistego układu elektronicznego na płytce ELVIS-a jest czasochłonny. Jednak proces pomiarowy realizowany przy wykorzystaniu proponowanego układu daje wymierne efekty, poprzez wprowadzenie do tradycyjnych metod pomiarowych interakcji z użytkownikiem, elementów pokazu: zapalanie się i gaśnięcie kontrolek na pasku postępu, sygnalizacja załączania przekaźnika, odpowiednio przygotowane komunikaty itp.Można przy jego użyciu szybko wykonać porównanie i demonstracjęzmian wyników

pomiarów dla różnych elementów mierzonych tego samego typu (rezystancja źródła napięcia dla kilku baterii lub rezystancja dla kilku wartości itp.).

Proponowane rozwiązanie nie tylko jest wirtualnym programem edukacyjnym, (jakich wiele), składa się natomiast z rzeczywistej części elektroniczno-mechanicznej (poprawnie połączonego przewodami zestawu pomiarowego), które to zestawienie siłą rzeczy wzbudza zainteresowanie studentów i bardziej aktywizuje ich procesy poznawcze i myślowe.

Ten sposób przedstawienia realizacji pomiarów metrologicznych ma również walory edukacyjne dla osób niezwiązanych bezpośrednio z metrologią elektryczną. Zestaw może być wykorzystywany na pokazach promocyjnych dla szerszego ogółu odbiorców w celu zainteresowania ich przedmiotem.

W niedalekiej przyszłości planuje się przygotowanie zautomatyzowanych układów pomiarowych dla: metody kompensacyjnej pomiaru napięcia, pomiaru rezystancji metodą techniczną, jak również pomiarów mostkowych. Realizacja większości z nich będzie wymagała dodatkowo przygotowania: przejściówek dla czujników,modułów dla elementów wykonawczych w postaci np. silników krokowych itp. podobnie jak w opisywanym stanowisku.

Obecnie ze względu na wysokie koszty modernizacji konwencjonalnych układów pomiarowych zaprezentowana koncepcja jest rzadko spotyka wśród stanowisk edukacyjnych. Popularyzacja zautomatyzowanych stanowisk pomiarowych mogłaby pozwolić na przygotowanie studentów do pracy przy coraz bardziej popularnych wirtualnych systemach pomiarowych, których zaletą jest nie tylko szybkość i efektywność działania, ale również uniwersalność (jedno stanowisko wyposażone w moduł NI ELVIS II* może być wykorzystywane w kilku różnych konfiguracjach).

6. Literatura

1. Chwaleba A., Poniński M., Siedlecki A. Metrologia elektryczna. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. Warszawa 2014: 393-398, 404-411.

2. Ptak P. Programowalne systemy pomiarowe w wirtualnym środowisku badawczym. Krajowa Konferencja e-Technologie w Kształceniu Inżynierów eTEE'2014 (I; 30.04.2014 ; Gdańsk, Polska)Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej. Wydawca: Wydział Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej. Gdańsk 2014: 67-69.

1. http://www.ni.com/pdf/manuals/372590b.pdf(NI ELVIS II Series Specifications)

2. http://www.ni.com/pdf/manuals/374629c.pdf(NIELVIS II User Manual)

3. http://www.ni.com/pl-pl/shop/labview.html

Nauka, Badania i Doniesienia Naukowe 2018