



Materiały pokonferencyjne

Forum Inżynierów Przyszłości 2020



Politechnika
Wrocławska



WROCLAW

3M



**NOT
INFORMATYKA**

mpwik

**Schneider
Electric**

Prace uczestników Konferencji Naukowej
Forum Inżynierów Przyszłości

I Konferencja Naukowa Forum Inżynierów Przyszłości

Wrocław, 23–24.10.2020



Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej · Wrocław 2020

Recenzenci

dr hab. inż. Agnieszka BIEŃKOWSKA, prof. PWr, Politechnika Wrocławska

dr inż. Tomasz DRÓŻDŹ, prof. URK, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

dr inż. arch. Jerzy ŁĄTKA, Politechnika Wrocławska

dr hab. Monika MOTAK, prof. AGH, Akademia Górniczo-Hutnicza Kraków

dr hab. inż. Agnieszka NAWIRSKA-OLSZAŃSKA, prof. UPWr, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

prof. Jarosława RUTKOWSKA, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

dr hab. inż. Katarzyna TWOREK, prof. PWr, Politechnika Wrocławska

Opracowanie i korekta

Dorota RAWA

Skład i łamanie

Stanisław GANCARZ

Wszelkie prawa zastrzeżone. Niniejsza książka, zarówno w całości, jak i we fragmentach, nie może być reprodukowana w sposób elektroniczny, fotograficzny i inny bez zgody wydawcy i właścicieli praw autorskich.

© Copyright by Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2020

Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

<http://www.oficyna.pwr.wroc.pl>

e-mail: oficwyd@pwr.wroc.pl

ISBN 978-83-7493-149-6

<https://doi.org/10.37190/FIP2020>

Druk i oprawa: Beta-druk, www.betadruk.pl

KOMITET NAUKOWY

dr hab. inż. Agnieszka NAWIRSKA-OLSZAŃSKA, prof. UPWr, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
dr inż. Tomasz DRÓŹDŹ, prof. UR, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
prof. dr hab. inż. Krzysztof SOŚNICA, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
dr inż. Maciej GLINAK, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
dr hab. inż. Katarzyna TWOREK, prof. PWr, Politechnika Wrocławska
dr hab. Bogumił KAMIŃSKI, prof. SGH, Szkoła Główna Handlowa w Warszawie
dr hab. inż. Agnieszka BIENKOWSKA, prof. PWr, Politechnika Wrocławska
prof. Jarosława RUTKOWSKA, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
dr inż. arch. Jerzy ŁĄTKA, Politechnika Wrocławska
dr hab. Monika MOTAK, prof. AGH, Akademia Górniczo-Hutnicza Kraków

KOMITET ORGANIZACYJNY

Kamil NAWIRSKI – Przewodniczący Komitetu
Agnieszka CIESIOŁKIEWICZ – Koordynator Konferencji Naukowej

CZŁONKOWIE

Honorata POTURAJ, Alicja MATKOWSKA, Agata TUCZYŃSKA,
Magdalena ROZWADOWSKA, Janusz GONDEK

SPIS TREŚCI

Przedmowa	7
K. DĄBROWSKA-ŻÓLTAK, Zmienność w architekturze – wczoraj, dziś i jutro	9
A. MIERNIK, F. HALLO, Wpływ zmiennego pola elektromagnetycznego na kinetykę wzrostu drożdży <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	25
A. HORZELA, J. SEMRAU, Koncepcja Lean Manufacturing jako narzędzie doskonalenia procesów produkcyjnych	37
P. JAGÓDKA, A. ŁAMACZ, Synteza i charakterystyka kompozytu MOF/CNT	51
M. RÓZIEWICZ, M. STAWOWY, A. ŁAMACZ, Wpływ parametrów syntezy na właściwości fizykochemiczne UiO-66(Ce)	65
A. HORZELA, J. SEMRAU, Analiza wybranych zagadnień związanych z procesami logistycznymi i produkcyjnymi	79
J. BRZEZOWSKA, A. MICHALSKA-CIECHANOWSKA, Nowe kierunki w produkcji proszków owocowych i warzywnych	91

PRZEDMOWA

Szanowni Państwo,

Forum Inżynierów Przyszłości to planowany cykl konferencji otwierający dyskusję o inżynierach, jakich będzie potrzebował przemysł, oraz o tym, jak powinna wyglądać ich ścieżka kształcenia. Dzisiejsi programiści pracują na stanowiskach, które nie istniały, kiedy przychodzili na świat. Pojawia się zatem pytanie: jakie umiejętności będą potrzebne absolwentom polskich uczelni za kolejne 5, 10 czy 15 lat?

Forum ma być wydarzeniem łączącym studentów kierunków technicznych, młodych absolwentów, przedstawicieli uczelni, a także przedsiębiorców. Dzięki wspólnej rozmowie, wymianie doświadczeń i poznawaniu nowych ludzi chcemy kształtować nowe pokolenie inżynierów.

Konferencja to liczne warsztaty, szkolenia, panele dyskusyjne oraz prelekcje. W pierwszej KN FIP nie zabrakło ekspertów z całej Polski. Dzielili się zarówno swoją wiedzą, jak i doświadczeniem – pokazali i tłumaczyli młodym ludziom, jak rozpocząć drogę zawodową jako przyszli inżynierowie.

Konferencja Naukowa Forum Inżynierów Przyszłości przeznaczona jest dla doktorantów oraz młodych pracowników naukowych. Jej cel to stworzenie przestrzeni do prezentacji wyników badań oraz analiz opartych na przeglądach literatury naukowej dotyczącej **rozwoju przemysłu i społeczeństwa w przyszłości**, czyli:

- użytkowania nowych technologii,
- nowoczesnych rozwiązań w życiu społecznym,
- trendów zmian gospodarczych w XXI w.

W niniejszej publikacji przedstawiono najlepsze wystąpienia na I Konferencji Naukowej Forum Inżynierów Przyszłości, która odbyła się 23–24 października 2020 we Wrocławiu. Dziękujemy wszystkim zaangażowanym w jej organizację oraz wszystkim uczestnikom. Szczególne podziękowania kierujemy do Członków Komitetu Naukowego oraz Autorów prac.

Agnieszka Ciesiołkiewicz – Koordynator Konferencji Naukowej,
Kamil Nawirski – Przewodniczący Komitetu Organizacyjnego

*architektura zmienna,
architektura kinetyczna,
architektura responsywna,
przemysł 4.0, architektonika*

Karolina DĄBROWSKA-ŻÓŁTAK*

ZMIENNOŚĆ W ARCHITEKTURZE – WCZORAJ, DZIŚ I JUTRO

Współcześnie projektowane i realizowane obiekty architektoniczne o cechach przypisywanych architekturze responsywnej lub kinetycznej korzystają ze zdobyczy obecnych i poprzednich rewolucji przemysłowych. W pracy uszeregowano przykłady obiektów o cechach zmienności względem obecnie klasyfikowanych rewolucji przemysłowych. Na podstawie zebranych materiałów opracowano podsumowanie kluczowych efektów danej rewolucji w dziedzinie architektury kinetycznej i responsywnej. W przypadku współcześnie opisywanych rewolucji 4.0, 5.0 i 6.0 przygotowano podsumowanie podstawowych terminów najczęściej wymienianych w kontekście poszczególnych współczesnych rewolucji. W końcowej fazie pracy przeanalizowano ewolucję w zarządzaniu zmianą w kinetycznych i responsywnych obiektach architektonicznych.

1. WPROWADZENIE

Terminy „architektura kinetyczna” i „architektura responsywna” zostały ukute w 2 poł. XX w. Nie oznacza to jednak, że wcześniej obiekty architektoniczne miały jedynie charakter stały i niezmienny w swej formie wedle witruijskich zasad: *firmitas, utilitas, venustas* [33]. Począwszy od epoki brązu i nomadzkich namiotów, modułowych, ruchomych japońskich *shoji*, przez rozciągane przekrycia antycznych aren i średniowieczne mosty zwodzone aż po pomieszczenia przemieszczające się w obrębie budynku i kinetyczne elewacje dynamicznie reagujące na zewnętrzne warunki pogodowe – powstawały realizacje architektoniczne mogące zmieniać swą formę i funkcję w zależności od aktualnych potrzeb ich użytkowników.

* Politechnika Warszawska, Wydział Architektury, ul. Koszykowa 55, 00-659 Warszawa.

Rozwój technologiczny dostarczał nowych narzędzi. Dzięki nim elementy zmienne w architekturze mogą przybierać różną skalę i formę – od nanostruktur wbudowanych w powierzchnie płaskie do ruchomych elementów konstrukcyjnych całych budynków. Od ekspresyjnych struktur zmieniających charakter wizualny dzieła do elementów ruchomych umożliwiających zaspokajanie użytkowniczych potrzeb, stanowiących cichą odpowiedź na zmienne parametry otoczenia lub potrzeby użytkowników.

1.1. ARCHITEKTURA RESPONSYWNA I KINETYCZNA

Wykorzystywane najczęściej dziś terminy używane w kontekście architektury umożliwiającej zmiany to **architektura responsywna** i **architektura kinetyczna**. Oba zostały zdefiniowane na fali futurologicznych koncepcji architektonicznych na przełomie lat 60. i 70. XX w., opisują jednak przypadki, które można odnieść już do wcześniejszych realizacji architektonicznych.

W rozdziale przez architekturę zmienną rozumiany jest zbiór łączący architekturę kinetyczną i architekturę responsywną. Jego kluczową cechą jest możliwość zmiany w czasie rzeczywistym parametrów środowiskowych, geometrii oraz układu pomieszczeń w odpowiedzi na aktualne potrzeby użytkowników; w tym znaczeniu odnosi się do terminu „*architecture of change*” opisanego przez Branco Koralivica w 2015 r. [20]. W połączeniu z wykorzystaniem współcześnie rozwijanych technologii wpisuje się w nowo powstającą dziedzinę, czyli **architektornikę** – synergiczne połączenie architektury i mechatroniki [34] odnoszącą się zarówno do obiektów architektonicznych, jak i procesu fabrykacji i montażu z wykorzystaniem narzędzi przemysłowych, w tym robotów [25].

1.2. CEL I METODYKA PRACY

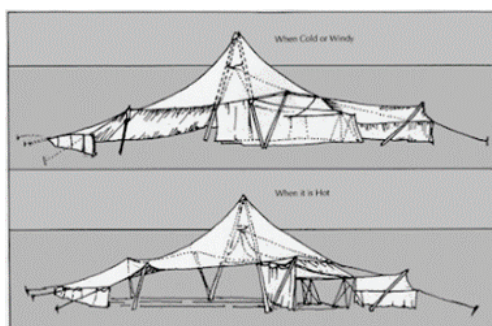
Celem, który sobie założono w pracy, jest określenie wpływu rewolucji przemysłowych na rozwój architektury o cechach zmienności – wpływu na metodę podejmowania decyzji o zmianie stanu i geometrii przestrzeni życiowej z określeniem dalszych perspektyw wdrażania nowych technologii na polu architektury kinetycznej i responsywnej w kontekście obecnych i planowanych w najbliższej przyszłości narzędzi rewolucji przemysłowych.

Przeprowadzono badania w obszarze literatury przedmiotu z wykorzystaniem metod heurystycznych, mające na celu odnalezienie i przeanalizowanie przykładowych realizacji i projektów o cechach zmienności z ustaleniem kluczowych cech rewolucji przemysłowych 4.0, 5.0 i przewidywanej 6.0. Przykłady zmienności architektury realizowane i planowane na przestrzeni wieków zostały porównane pod kątem funkcji zmienności, procesu sterowania i elementów wykonawczych.

2. HISTORYCZNE ELEMENTY ZMIENNOŚCI

2.1. SIŁA MIĘŚNI

Lekkie i stosunkowo nietrwałe struktury mieszkalne, jakimi są namioty, znane były już w epoce brązu [28]. Umożliwiały one zmianę geometrii w zależności od lokalnych potrzeb i parametrów środowiskowych. Ten sam obiekt w dzień dawał cień i umożliwiał swobodne przewietrzanie pomieszczeń, a w nocy po zamknięciu ścian bocznych – zmniejszenie przestrzeni mieszkalnej i ograniczenie wychładzania pomieszczeń [15]. W publikacji poświęconej architekturze Iraku można znaleźć informację o namiotach nomadów: to konstrukcje dobrze adaptujące się do zmiennych warunków panujących w środowisku pustynnym [30].



Il. 2.1. Zmienność namiotu nomadów w zależności od warunków zewnętrznych [15]

W papierowych japońskich ekranach *shōji* również jest możliwość płynnej zmiany układu lub funkcji obiektu. Panele te umożliwiają elastyczne wykorzystanie przestrzeni mieszkalnej, a zarazem otwarcie na naturę przy sprzyjających warunkach atmosferycznych. *Shōji* po dziś dzień odgrywają istotną rolę w projektowaniu architektury japońskiej.

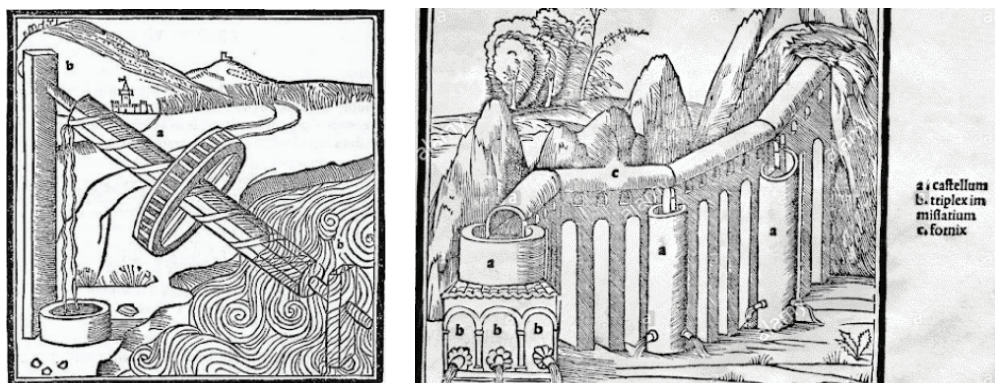
Zarówno pierwotne struktury namiotowe, jak i przesuwne ściany *shōji* są przykładem obiektów architektonicznych, w których zmiany funkcjonalne i przestrzenne zachodzą dzięki zmianie położenia wybranych elementów obiektu bezpośrednio przez użytkownika i z wykorzystaniem do tego jedynie jego siły fizycznej. Wielką zaletą takich rozwiązań jest prostota i klarowność, jednak ich zastosowanie jest ograniczone z uwagi na stosunkowo niewielką skalę.

2.2. MASZYNY PROSTE

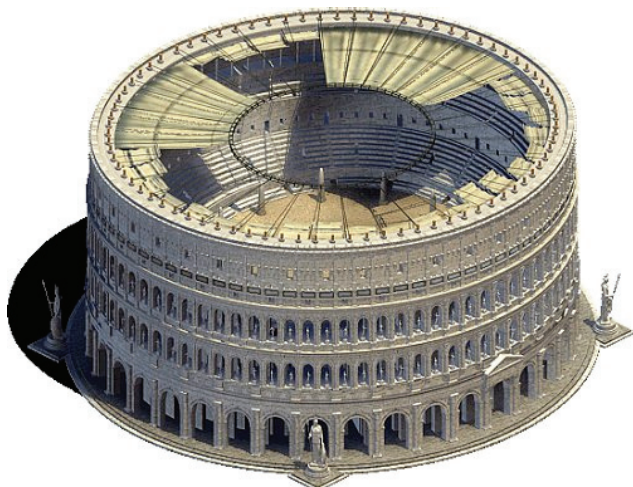
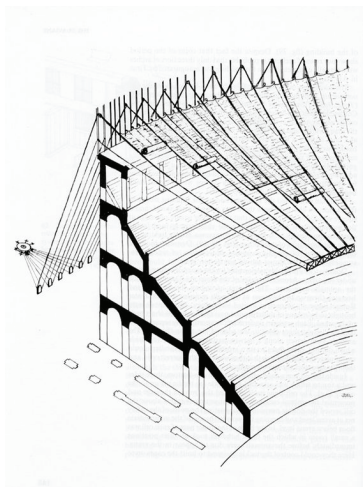
Kolejnym krokiem w realizacji obiektów kinetycznych było wykorzystanie maszyn prostych umożliwiających zmianę kierunku lub wielkości siły wykonawczej. Ich

podstawowy opis pochodzi z III w. p.n.e. od Archimedes, który przedstawił dźwignię, bleczek i śrubę [4]. W kolejnych wiekach uzupełniono tę listę o kołowrót, równię pochyłą oraz klin [1].

Nawiązanie do pierwszych maszyn prostych znaleźć można w dziele Witruwiusza z I w. p.n.e. – *O architekturze ksiąg dziesięć*. W tomie poświęconym zasobom wodnym (księga VIII) opisano m.in. pochylnie i zasady projektowania akweduktów. W tomie X o maszynach i mechanizmach pojawiła się informacja o śrubie Archimedes. Wyodrębnienia tych tematów w dziele poświęconym sztuce architektury stanowi potwierdzenie tezy, że ruch w kontekście projektowania, wznoszenia i użytkowania obiektów architektonicznych rozważany był już w starożytności.



II. 2.2. Przykłady maszyn prostych opisanych w dziele Witruwiusza [1]



II. 2.3. System zacierania widowni w Koloseum [27]

Rzymskie Koloseum wzniesione w I w. n.e. miało system zamykanego dachu [27]. Płócienne przekrycia po rozwinięciu zasłaniały 2/3 areny. Do zwijania i rozwijania płócien zastosowano system bloczków wyprowadzonych poza budynek. Przekrycie dachu miało służyć zarówno przesłanianiu widzów przed słońcem, jak i pomagać w wentylowaniu widowni w skutek utworzenia regulowanych ciągów powietrznych.

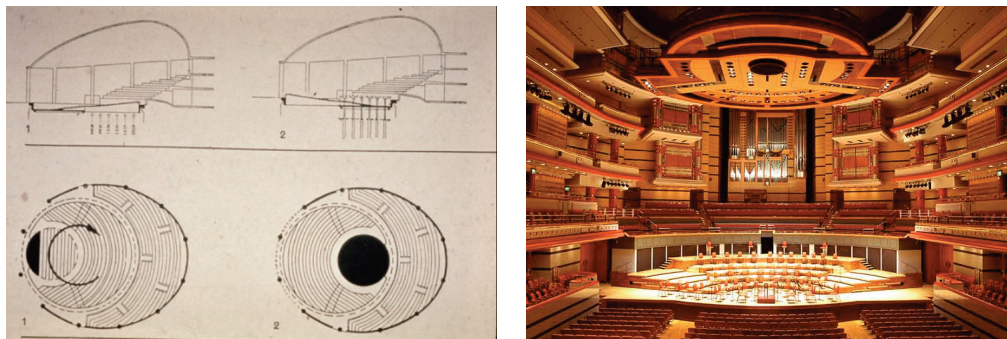
Maszyny proste były wykorzystywane w architekturze przez kolejne wieki, czego przykładem mogą być liczne mosty zwodzone w średniowiecznych zamkach. W okresie renesansu Leonardo da Vinci obok maszyn latających i czołgów zaprojektował również most obrotowy, żeby umożliwić pogodzenie żeglugi i konieczności przeprawy pieszej na danym odcinku rzeki. Jednoczesne wykorzystywanie tej samej przestrzeni do różnych funkcji miało już wkrótce stać się jedną z odpowiedzi na dynamiczny wzrost liczby mieszkańców miast.

2.3. NOWE NAPĘDY

Renesans stał się początkiem rozwoju nauk przyrodniczych, który pod koniec XVIII w. doprowadził do 1. rewolucji przemysłowej. Jej motorem stał się wynalazek maszyny parowej – szeroko stosowanego napędu zastępującego siłę ludzi i zwierząt. Jednocześnie w wyniku jej stosowania zwiększył się dostęp do surówki żelaza. W architekturze umożliwiło to budowanie wyższych zabudowań, dzięki czemu miasta mogły rozrastać się nie tylko na płaszczyźnie, lecz także wznosić. Do efektywnego rozwoju miasta w kierunku wertykalnym brakowało jednak jeszcze jednego wynalazku, który miał nadejść wraz z kolejną falą postępu.

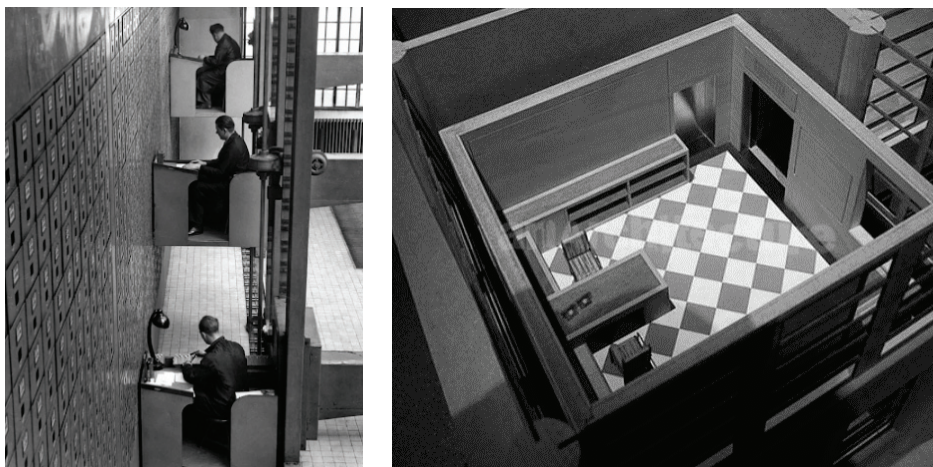
Elektryfikacja i linie produkcyjne stały się podstawą 2. rewolucji przemysłowej mającej miejsce pod koniec XIX w. Era maszyn miała swoje odbicie w architekturze, czego przykładem jest postulat le Corbusiera pochodzący z książki – *A house is a machine for living in* (1920). Architekt inspirował się tu m.in. automatyzacją i projektami w przemyśle samochodowym. Możliwość zmiany była rozpatrywana bardziej na etapie produkcji i montażu niż samego użytkowania przestrzeni mieszkalnej, ale stała się jednoznacznym sygnałem, że architekci mogą, a może wręcz powinni, śledzić możliwości nowych narzędzi pochodzących z przemysłu.

Dostęp do napędów i możliwość automatyzacji operowania nimi daje się zauważyć również w niezrealizowanym projekcie W. Gropiusa z 1927 r. – *Total theater* [14], w którym ustawienie sceny względem widowni mogło ulegać zmianom w zależności od potrzeb. Podobne rozwiązania można znaleźć w wielu współczesnych teatrach i salach koncertowych, gdzie obok geometrii sceny i widowni zmianom ulegają sufity oraz zakres otwarcia komór pogłosowych odpowiadające za zmienne warunki akustyczne, tak jak w przypadku *Symphony Hall* w Birmingham [7].



II. 2.4. Projekt Total theater (1927) [14] i sala Symphony Hall w Birmingham [7]

W architekturze i urbanistyce zdobyczą 2. rewolucji przemysłowej był także wynalazek windy. Poza powszechnie znanym zastosowaniem będącym substytutem schodów w budynku biurowym fabryki Bata (1939) winda to kinetyczny element funkcjonalny. Została przekształcona i zamieniona w ruchome biuro właściciela firmy [18]. Inną wariacją dotyczącą ruchu wertykalnego użytkowników przestrzeni architektonicznej jest siedziba czeskiego Centralnego Instytutu Socjalnego w Pradze (1937) wyposażona w elektryczne biurka z krzesłami poruszające się w pionie na stalowych prowadnicach [2].



II. 2.5. Ruchome biurka-windy w Centralnym Instytucie Socjalnym w Pradze (1937) [2], po prawej makieta ruchomego biura w firmie Bata (1939) [18]

2.4. REWOLUCJA INFORMACYJNA

Trzecią rewolucję przemysłową, zwaną też informacyjną, łączy się z zastosowaniem na szeroką skalę komputerów, co umożliwiło dalszą automatyzację w przemyśle.

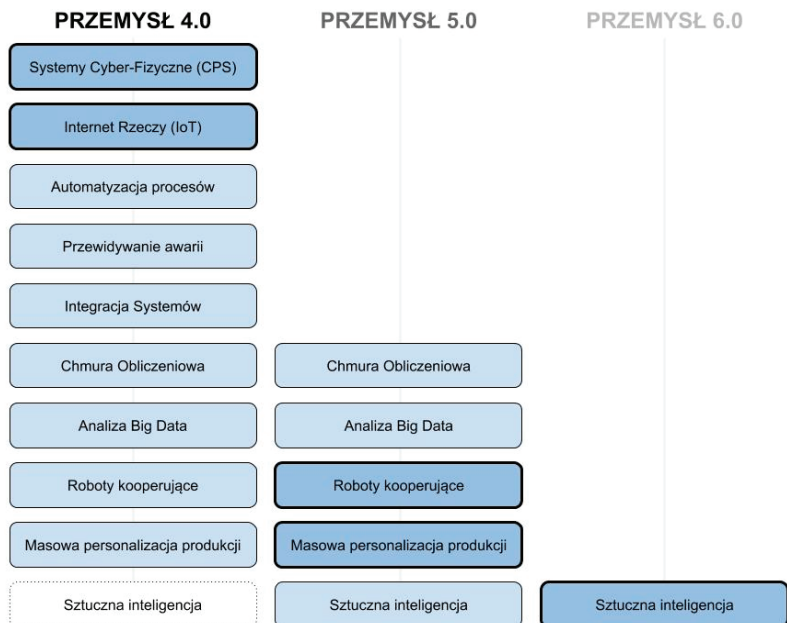
W architekturze jej skutkiem były nowe narzędzia do projektowania i zapisywania danych w skali detalu, budynku i miasta (CAD; Computer Aided Design), zarządzania procesem budowy (BIM; Building Information Management) i eksploatacją powstałych budynków – w tym wstępna wersja Systemu Zarządzania Budynkiem (BMS; Building Management System). Opracowano ponadto narzędzia symulacyjne umożliwiające przewidywanie ruchu i potencjalnych kolizji znacznej liczby elementów wraz z możliwością oszacowania sił i naprężeń oraz określenia niezbędnych napędów.

W tym okresie dopatrywać można się też rozwoju materiałoznawstwa i nanotechnologii. Umożliwiły one tworzenie inteligentnych i responsywnych materiałów mogących zmieniać swoje parametry pod wpływem sygnału sterującego lub automatycznie reagować na zmienne warunki środowiskowe. Przykładem wykorzystania struktur, których działanie opiera się na odpowiednio dobranych materiałach, ich zbudowaniu i odpowiednim montażu, jest projekt pawilonu Hydroskin [28] ze ścianami zewnętrznymi pokrytymi łuskami z drewna odkształcającymi się pod wpływem wilgoci. Wśród bardziej zaawansowanych materiałów, do których projektowania i badania bezpośrednio wykorzystywane są narzędzia cyfrowe, wymienić można powierzchnie z nanorurek [36] mogące zmieniać swoje parametry akustyczne pod wpływem doprowadzonego napięcia. Wzrost roli, jaką odgrywa cyfryzacja, doprowadził do kolejnej rewolucji technologicznej.

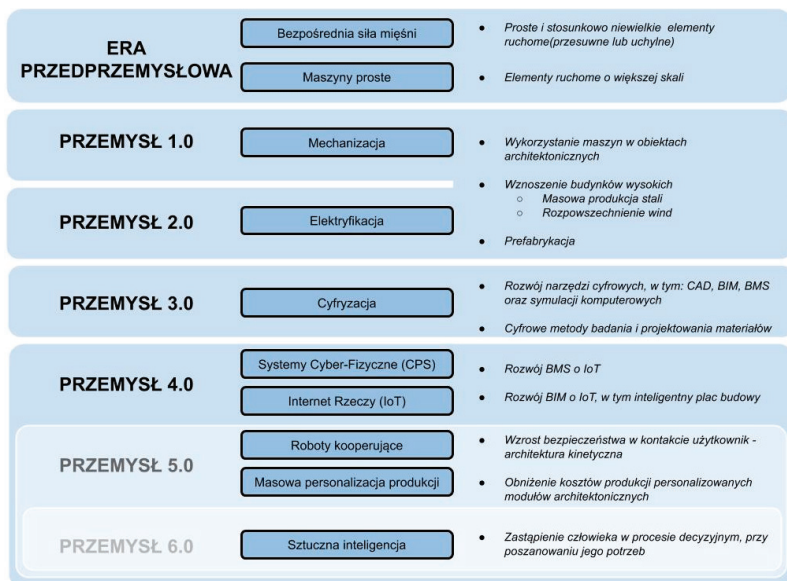
3. WSPÓŁCZESNE REWOLUCJE PRZEMYSŁOWE

Termin „przemysł 4.0” po raz pierwszy pojawił się w niemieckim dokumencie na temat kierunków rozwoju przemysłu opublikowanym w 2011 r. [16]. Odnosił się do nowoczesnej automatyzacji i bieżącej wymiany danych między urządzeniami na linii produkcyjnej (CPS; Cyber-Physical System) [6] oraz w życiu codziennym (IoT; Internet of Things). W obu przypadkach kluczową rolę odgrywa możliwość cyfrowej komunikacji urządzeń fizycznych i podejmowanie działań na podstawie uzyskanych informacji bez udziału człowieka. Narzędzia te stwarzają konieczność zastosowania chmury obliczeniowej stanowiącej jednocześnie cyfrową platformę wymiany danych.

Oprócz nowej architektury odpowiedzialnej za system zarządzania danymi i podejmowanie decyzji w systemie rozproszonym do głównych cech przemysłu 4.0, a niekiedy przypisywanych też terminowi „*industry 5.0*” [26], możemy zaliczyć dalszy postęp w automatyzacji i wdrażaniu robotów współpracujących oraz masową personalizację produktu. W kluczowym hasle 5. rewolucji przemysłowej jest też mowa o wzmocnieniu roli człowieka [5]. Za istotny element uważa się także wykorzystanie na szeroką skalę systemów sztucznej inteligencji – coraz częściej klasyfikowane jako element 6. już rewolucji przemysłowej [32].



Il. 3.1. Schemat prezentujący terminy najczęściej łączone z przemysłem 4.0 oraz opisem bądź prognozą przemysłu 5.0 i 6.0 (podkreślono te z nich, które najczęściej powtarzały się przy definiowaniu poszczególnych rewolucji przemysłowych); oprac. własne



Il. 3.2. Zestawienie rewolucji przemysłowych z ich podstawowymi hasłami i kluczowymi zmianami wprowadzonymi w dziedzinie architektury ruchomej; oprac. własne

Niezależnie od przyjętej klasyfikacji współczesne rewolucje przemysłowe mają niebagatelny wpływ na rozwój zmiennej architektury.

Zastosowanie Internetu Rzeczy (IoT) przyniosło nowe oblicze BIM i BMS. Dzięki szybkiej komunikacji i zastosowaniu licznych niedrogich czujników możliwe staje się ograniczenie zużycia energii elektrycznej potrzebnej do zarządzania obiektem [22]. Integracja BIM i GIS (Geographic Information System) z systemami IoT otworzyła drogę do zarządzania budową i projektowaniem – realizacji projektów o znacznym stopniu skomplikowania.

KIERUNKI ROZWOJU ARCHITEKTURY O CECHACH ZMIENNOŚCI

Współcześnie realizowane i projektowane obiekty architektoniczne o cechach przypisywanych architekturze responsywnej lub kinetycznej korzystają ze zdobyczy obecnych i poprzednich rewolucji przemysłowych. Wśród proponowanych rozwiązań można wprowadzić podział z uwzględnieniem skali.

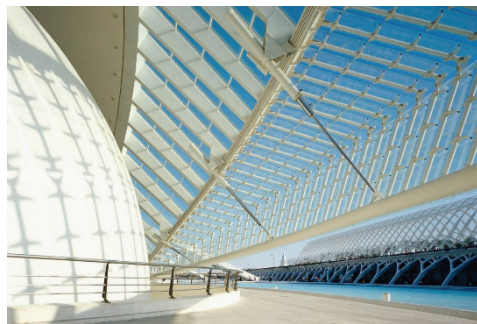
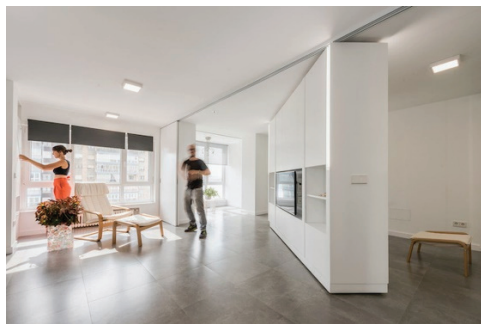
Przykładem w skali materiału i struktur budowlanych może być zewnętrzna ściana elewacji parkingu lotniska Brisbane [9]. Performatywna elewacja poruszająca się pod wpływem wiatru, daje złudzenie spływającej cieczy. Przykład bardziej złożonej struktury z wykorzystaniem BMS sterującego 1049 ruchomymi panelami jest zewnętrzny system przesłaniania fasady budynku Al Bahr Towers w Zjednoczonych Emiratach Arabskich. System stanowiący charakterystyczny, kinetyczny element budynku chroni jednocześnie szklaną elewację przed nadmiernym ogrzewaniem i uszkodzeniem podczas burzy piaskowej. W systemie zapisany został bazowy program sterujący, dla którego wprowadzane są automatyczne korekty na podstawie danych z czujników umieszczonych na dachu obiektu, próbkowanych co 15 min [31].



Il. 3.3. Kinetyczne elewacje – napędzana wiatrem elewacja w Brisbane (2012) [9], po prawej sterowana za pomocą systemu BMS elewacja budynku Al Bahr Tower (2012) [31]

W skali wyposażenia budynku można wymienić na przykład meble i ściany umożliwiające rearanżację niewielkich pomieszczeń [35], najczęściej napędzane siłą ludz-

kich rąk, oraz przegrody do reorganizacji przestrzeni konferencyjnych. A w przypadku obiektów zmieniających swą zewnętrzną geometrię – spektakularne obiekty projektu S. Calatravy w Miasteczku Sztuki i Nauki w hiszpańskiej Walencji. Projektant zaprezentował wizję miasta przyszłości wypełnionego architekturą kinetyczną. Jednym z przykładów jest budynek planetarium umieszczony na wyspie w centralnej części obiektu. Do otwierania i zamykania budynku planetarium wykorzystano siłowniki hydrauliczne umieszczone po wewnętrznej stronie ruchomej przegrody [21].



Il. 3.4. Elementy kinetyczne zmieniające wnętrze i zewnętrzny charakter obiektu – systemowe meble-ściany w ofercie sklepu Ikea (od 2015) [35], po prawej planetarium projektu Calatravy w Walencji z otwieraną przeszkloną elewacją (1998) [21]

W skali przestrzeni publicznych wymienić można przykłady reorganizowane na skutek umieszczenia w nich względnie niewielkich elementów mobilnych – jak w przypadku projektu Urban Furniture of the LentSpaces [17], w którym siłą napędową są sami użytkownicy, a także w pełni zmechanizowany system w nowojorskim The Shed z 2019 r. [3]. Wykorzystano tam sześć napędów elektrycznych o mocy 15 KM [19] do zmiany położenia pokrycia nad zwiększoną przestrzenią widowiskową. Stalowa konstrukcja wypełniona lekkimi panelami ETFE osadzona jest na przemysłowych rolkach jeżdżących na prowadnicach. Podczas zmiany położenia elementów kinetycznych, trwającej ok. 5 min, przestrzeń robocza jest zamknięta dla użytkowników.

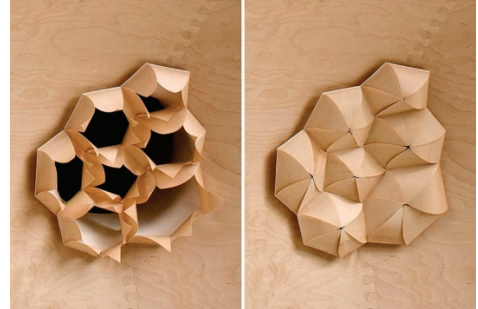
W ramach prac badawczych prowadzonych na wyższych uczelniach również podejmowane są próby przewidzenia kierunku rozwoju zmiennej architektury. Na Wydziale Architektury Uniwersytetu Technicznego w Delft prowadzone są m.in. studia nad badaniem interakcji człowiek–kinetyczna przestrzeń, czego przykładem jest eksperymentalny projekt Interactive Wall (opracowany przez zespół Hyperbody we współpracy z firmą Festo), w którym instalacja reagowała na obecność i ruch przechodzących użytkowników [8].

Innym podejściem jest poszukiwanie materiałów i elementów składowych dla architektury przyszłości. Można tu wymienić projekt Cyber Physical Macro Material [23] przygotowany na Uniwersytecie w Stuttgarcie. Zakładano w nim opracowanie struk-

tury tworzącej temporalne zadanie z modułów montowanych i przenoszonych przez drony. Przekrycie stworzone z elementów wspartych na przenośnych słupach miało możliwość szybkiej zmiany geometrii z uwzględnieniem pory dnia i położenia użytkowników, którzy mają być chronieni przed słońcem. Łączenie poszczególnych modułów odbywa się dzięki wykorzystaniu magnesów. Innym przykładem jest powstały również na tej uczelni projekt HydroSkin (opisany w podrozdz. 2.4) [28].



II. 3.5. Place miejskie z elementami zmienności w Nowym Jorku
– Urban Furniture of the LentSpaces (2011) [17], u dołu The Shed (2019) [19]



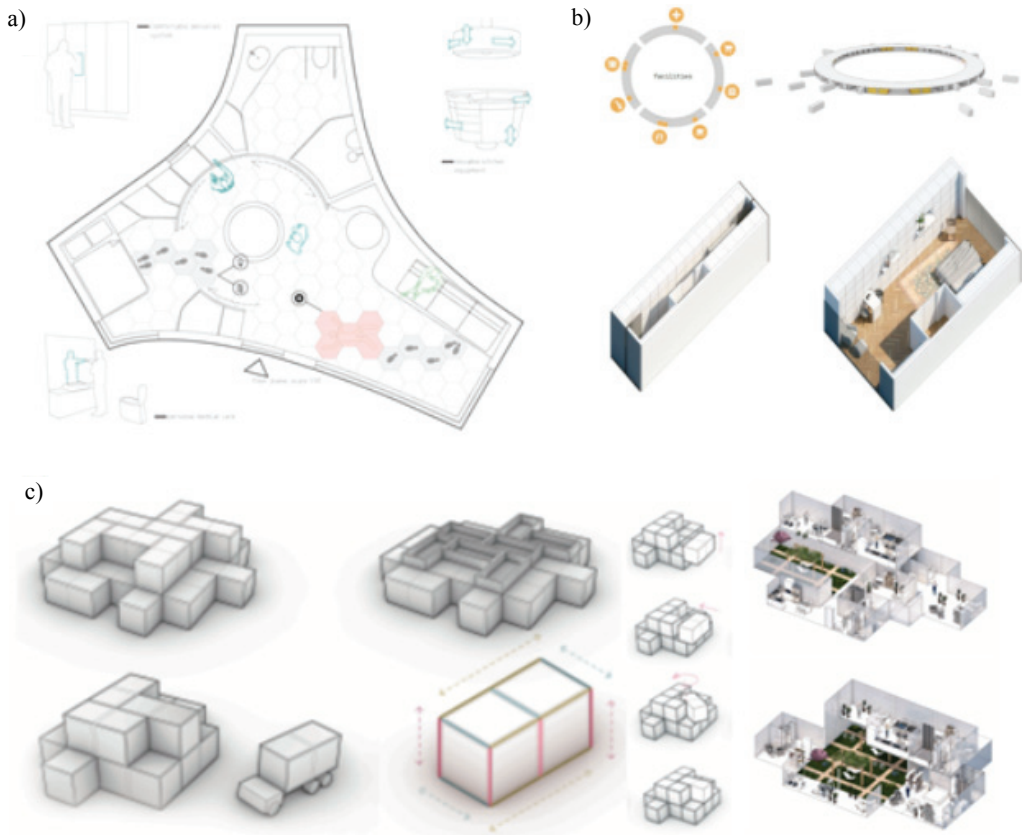
II. 3.6. Cyber Physical Macro Material, University of Stuttgart (2018) [23],
po prawej fragment ściany pawilonu HydroSkin, University of Stuttgart (2015) [28]

Badania nad wykorzystaniem elementów kinetycznych w celu optymalizacji pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych prowadzone są na Politechnice w Zurychu. Zamiast multiplikować elementy zbierające energię, zbadano możliwość zmiany ich położenia w cyklu dobowym – w projekcie fasady z solarnymi elementami podążającymi za słońcem [24]. Zgodnie z obliczeniami numerycznymi założono nawet do 25% zwiększenia pozyskiwanej energii słonecznej względem nieruchomych paneli o tej samej powierzchni aktywnej. Do zmiany ustawienia paneli wykorzystano proste aktuatory pneumatyczne.



Il. 3.7. Kinetyczna ściana z panelami fotowoltaicznymi, ETH Zurich (2016) [24]

Jednym z kluczowych argumentów przemawiającym za stosowaniem elementów kinetycznych i dynamicznie odpowiadających na potrzeby użytkowników jest pomoc osobom, które nie są w stanie funkcjonować samodzielnie. Badania w tym obszarze były podejmowane m.in. przez prof. Thomasa Bocka w projekcie LISA [13]. Opracowano wówczas robotyczny, modułowy mebel mający zwiększyć samodzielność osób starszych z częściową niepełnosprawnością. Odmiennym przykładem nad stworzeniem zrobotyzowanego środowiska mieszkalnego dla osób starszych są projekty powstałe podczas eksperymentalnego projektu ROBOsenior [10] opracowanego przez prof. Jerzego Wojtowicza i prof. Stefana Wronę na Wydziale Architektury Politechniki Warszawskiej. Wśród zaproponowanych rozwiązań można znaleźć zarówno niezależne kapsuły mieszkalne, które mogą podróżować wraz z seniorem, stacjonarne moduły wyposażone w sprzęt diagnostyczny i rehabilitacyjny, jak i mechatroniczne systemy adaptujące istniejące już obiekty mieszkalne [11]. Systemy reagujące w czasie rzeczywistym na potrzeby obecnych użytkowników mogą być wykorzystywane do poprawy i personalizacji parametrów środowiskowych i ergonomicznych, a także do poprawy bezpieczeństwa oraz ciągłego monitorowania stanu zdrowia użytkowników.

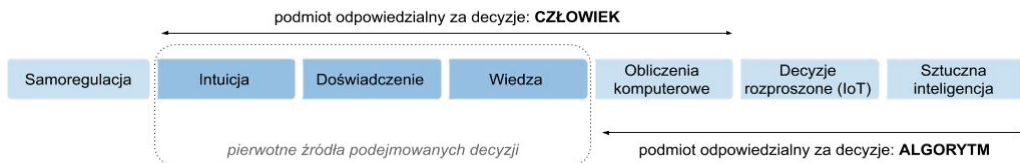


Il. 3.8. Wybrane projekty studenckie kinetycznych kapsuł dla seniorów powstałe w ramach zajęć ROBOsenior na Wydziale Architektury Politechniki Warszawskiej (2017–2019) [10, 11]

4. WNIOSKI

Wzrost liczby osób, dla których głównym narzędziem pracy jest komputer, stworzył możliwość rozwinięcia pracy zdalnej, co uwidoczniło się na całym świecie podczas pandemii COVID-19 w 2020 r. Praca we własnym domu, separacja od współpracowników oraz ograniczenie przemieszczania, w tym transportu kołowego, spowodowały widoczne ograniczenie zużycia energii elektrycznej – dane ze Stanów Zjednoczonych potwierdzają spadek zużycia energii względem analogicznego okresu w 2019 r. o ponad 5,7%, a w skali roku przewiduje się spadek o 3% [12]. Tworzenie elastycznych przestrzeni architektonicznych umożliwiających ich dostosowanie do aktualnych potrzeb użytkowników może w tych okolicznościach okazać się nie tylko ciekawym

zagadnieniem projektowym, lecz także efektywną alternatywą dla klasycznego rozdzielenia funkcji.



- II. 4.1. Schemat przedstawiający ogniwa procesu decyzyjnego od elementów samoregulujących (których budowa determinuje ich zachowanie w zadanych warunkach zewnętrznych), zachowań intuicyjnych i decyzji człowieka bazujących na doświadczeniu i usystematyzowanej wiedzy, a także opartych na obliczeniach i symulacji wspartych komputerowo do decyzji generowanych przez złożone algorytmy w systemie rozproszonym – Internet Rzeczy i wciąż rozwijaną sztuczną inteligencję; oprac. własne

Dawniej proces decyzyjny w zarządzaniu zmienną architekturą był podejmowany przez człowieka w sposób intuicyjny lub świadomy, oparty na doświadczeniu i zdobytej wiedzy. Obecnie może być on wspomagany dzięki zastosowaniu maszyn cyfrowych i struktur samoregulacyjnych, by przejść w kierunku rozwiązań wykorzystujących uczenie maszynowe i rozwijaną wciąż sztuczną inteligencję. Wyzwaniem architektów przyszłości jest projektowanie obiektów, które będą wystarczająco elastyczne, by mogły zmieniać swoje funkcje bądź parametry wewnętrzne zależne od potrzeb użytkowników, przy jednoczesnym ograniczeniu kosztów inwestycji, jej negatywnego wpływu na środowisko i zapewnieniu bezpieczeństwa użytkownikom. Niemal wszystkie wymienione w rozdziale współczesne realizacje napędzane są bezpośrednio siłą ludzkich mięśni lub w przypadku napędów mechanicznych wymagają odseparowania użytkownika od ruchomych elementów na czas zmiany ich pozycji. Kluczowe może okazać się opracowanie norm i standardów dla elementów o zmiennej geometrii występujących w bezpośrednim otoczeniu osób nieprzeszkolonych, w tym osób starszych, niepełnosprawnych i dzieci.

LITERATURA

- [1] Anderson, W.B., *Physics for Technical Students: Mechanics and Heat*, McGraw Hill, New York 2014.
- [2] Anon, *Stunning Interior Views Of The Central Social Institution In Prague, Czechoslovakia, 1937*, New York, NY, 2019; <https://designyoutrust.com/2020/01/stunning-interior-views-of-the-central-social-institution-in-prague-czechoslovakia-1937/> (dostęp: 25.09.2020).
- [3] Anon, *The Shed*, New York, NY, 2019; <https://dsrny.com/project/the-shed> (dostęp: 25.09.2020).
- [4] Asimov I., *Understanding physics*, Barnes & Noble Publishing, 1988.
- [5] Atwell C., *Machine Design*, 2017; <https://www.machinedesign.com/automation-iiot/article/21835933/yes-industry-50-is-already-on-the-horizon> (dostęp: 25.09.2020).
- [6] Baheti R., GILL H., *Cyber-physical systems*, „The Impact of Control Technology” 2011, 12(1), s. 161–166.

- [7] Barron M., *The current state of acoustic design of concert halls and opera houses*, TecniAcustica, Madryt 2000.
- [8] Bier H.H., Mostafavi S., *Robotic Building as Physically Built Robotic Environments and Robotically Supported Building Processes*, [w:] *Architecture and Interaction*, Springer, Cham 2016, s. 253–271.
- [9] Caula R., *Designboom*, 2012; <https://www.designboom.com/art/brisbane-airport-kinetic-parking-garage-facade-by-ned-kahn-uap/> (dostęp: 25.09.2020).
- [10] Dąbrowska-Żółtak K., Wojtowicz J., Wrona S., *Design and Automation for Seniors: Robot aided design of an environment for the elderly and disabled*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Łódzkiej, Łódź 2018.
- [11] Dąbrowska-Żółtak K., Wojtowicz J., Wrona S., *ROBOTOWN*, Bangkok, Tajlandia, 2020, s. 413–422.
- [12] Disavino S., *World Economic Forum*, 2020; <https://www.weforum.org/agenda/2020/04/united-states-energey-electricity-power-coronavirus-covid19/> (dostęp: 25.09.2020).
- [13] Georgoulas C., Güttler J., Linner T., Bock T., *LISA—A Mechatronic Wall for Assistance with ADLs*, „Journal of Robotics and Mechatronics” 2015, 27(1), s. 107.
- [14] Gropius W., *Project for a Total Theater. Architectural Record*, „Architectural Record” 1930, s. 492–494.
- [15] Guidoni E., *Primitive architecture*, Electa/Rizzoli, 1987.
- [16] Hermann M., Pentek T., Otto B., *Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios*, „A Literature Review” 2015.
- [17] Interboro, *Interboro Partners – LENTSPACE*; <http://www.interboropartners.com/projects/lentspace> (dostęp: 25.09.2020).
- [18] Jenkins E J., *Utopia, Inc.: Czech Culture and Bata Shoe Company Architecture and Garden Cities*, Thresholds, 1999, s. 60–66.
- [19] Kimmelman M., *New York Times*, 2017; <https://www.nytimes.com/interactive/2017/08/13/arts/high-line-shed-shell.html> (dostęp: 25.09.2020).
- [20] Kolarevic B., *Towards Architecture of Change*, [w:] *Building dynamics: exploring architecture of change*, B. Kolarevic, V. Parlac (red.), Routledge, 2015.
- [21] Lim S.-Y., *In Between – transition perception connection*, Manitoba: Department of Landscape Architecture, University of Manitoba, 2009.
- [22] Minoli D., Sohraby K., B. Occhiogrosso, *IoT considerations, requirements, and architectures for smart buildings – Energy optimization and next-generation building management systems*, „IEEE Internet of Things Journal” 2017, 4(1), s. 269–283.
- [23] Minoli D., Sohraby K., Occhiogrosso B., *Cyber physical macro material as a UAV [re] configurable architectural system*, [w:] *Robotic Fabrication in Architecture, Art and Design*, Springer, s. 320–335.
- [24] Nagy Z. et al., *The adaptive solar facade: from concept to prototypes*, „Frontiers of Architectural Research” 2016, 5(2), s. 143–156.
- [25] Olszewski M., Wojtowicz J., Wrona S., Dąbrowska-Żółtak K., *Mechatronika w architekturze – architektonika*, „Pomiary Automatyka Robotyka” 2017, 21.
- [26] Rada M., *Medium – INDUSTRY 5.0 definition*, 2018; <https://medium.com/@michael.rada/industry-5-0-definition-6a2f9922dc48> (dostęp: 25.09.2020).
- [27] Ramzy N., *Sustainable spaces with psychological values: Historical architecture as reference book for biomimetic models with biophilic qualities*, „International Journal of Architectural Research: ArchNet-IJAR” 2015, 9(2), s. 248–267.
- [28] Reichert S., Menges A., Correa D., *Meteorosensitive architecture: Biomimetic building skins based on materially embedded and hygroscopically enabled responsiveness*, „Computer-Aided Design” 2015, Vol. 60, s. 50–59.
- [29] Rosen S.A., Saidel B.A., *The camel and the tent: An exploration of technological change among early pastoralists*, „Journal of Near Eastern Studie” 2010, 69.1, s. 63–77.
- [30] Saad Q., *Framework for re-visioning design in Iraq*, 2013.

- [31] Shady A., *Evaluation of adaptive facades: The case study of Al Bahr Towers in the UAE*, „IEEE Internet of Things Journal” 2018, 2, Special Issue on Shaping Qatar’s Sustainable Built Environment, pt. 1, s. 6.
- [32] Stankosky M., *Global Forum – Convergence of Ideas, Industry 6.0*, 2019; <http://globalforum.items-int.com/gf/gf-content/uploads/2019/10/GF-2019-Michael-Stankosky.pdf> (dostęp: 25.09.2020).
- [33] Witruwiusz, *O architekturze ksiąg dziesięć*, PWN, Warszawa 1956.
- [34] Wojtowicz J., Johnson G., Meyboom A., *Architectronics: Towards a Responsive Environment*, „International Journal of Architectural Computing” 2011, 9(1), s. 77–98.
- [35] Xie J., *Curbed*, 2015; <https://www.curbed.com/2015/10/5/9914578/flexible-apartments-transform-movable-walls> (dostęp: 25.09.2020).
- [36] Barkalin B., *Acoustic properties of carbon nanotube arrays as chemical sensor elements*, „Reviews on Advanced Materials Science” 2009, 20, s. 28–36.

CHANGEABLE ARCHITECTURE – FROM PAST TO THE FUTURE

Kinetic and responsive architectural objects being designed and built currently are using the achievements of the present and previous industrial revolutions. The article organizes examples of objects with the characteristics of changeability by the relation to the industrial revolutions. On the basis of the collected materials, a summary of the key effects of each revolution in the field of kinetic and responsive architecture was prepared. In the case of the current revolutions (classified as industry 4.0, 5.0 and 6.0), a summary of the basic concepts most often mentioned in the context of individual contemporary revolutions was prepared. Examples of changeable architecture realised and planned over the centuries have been compared and analysed based on the function of changeability, the process of control and executive elements. In the final part of the work, the evolution in the management of change in architectural facilities was analysed, based on recent examples of kinetic and responsive architecture and comparison of academic research projects.

Anna MIERNIK*, Filip HALLO*

WPŁYW ZMIENNEGO POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO NA KINETYKĘ WZROSTU DROŹDŹY *Saccharomyces cerevisiae*

W badaniach wykorzystano drożdże *Saccharomyces cerevisiae* (szczep winiarski oraz drożdże A) hodowane na płynnym podłożu YPD w stałej temperaturze 30°C. Próbkę poddano oddziaływaniu pola elektromagnetycznego o częstotliwości 50 Hz w dwóch interwałach czasu, tj. 1 h i 3 h, z zastosowaniem dwóch wartości indukcji magnetycznej – 20 mT i 87 mT. Hodowlę po procesie stymulacji prowadzono przez 96 h, dokonując pomiaru zmętnienia co 24 h w skali McFarlanda. Stwierdzono istotne różnice w kinetyce wzrostu niektórych szczepów drożdży wynikające z oddziaływania pola elektromagnetycznego. Należy jednak zaznaczyć, że charakterystyki kinetyki wzrostu drożdży miały charakter nieliniowy, co znacznie utrudnia ich interpretację, ale daje podstawę do dalszych badań w kierunku określenia funkcyjnych zależności między parametrami pola elektromagnetycznego a szybkością wzrostu drożdży *Saccharomyces cerevisiae*.

WYKAZ OZNACZEŃ

- B – indukcja w cewce
- μ_0 – przenikalność magnetyczna w próżni
- n – liczba zwojów solenoidu
- I – prąd zasilający solenoid, A
- l – długość solenoidu, m

1. WPROWADZENIE

1.1. POLA ELEKTROMAGNETYCZNE A ŚRODOWISKO

Pola elektromagnetyczne pochodzenia naturalnego istnieją na Ziemi i towarzyszą organizmom żywym od początku ich istnienia. Pierwotnie ziemskie pola elektromagnetyczne to pola stałe [26]. Naturalne pole elektrostatyczne spowodowane jest różni-

* Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Katedra Eksploatacji Maszyn, Ergonomii i Procesów Produkcyjnych, ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków.

cą potencjałów między powierzchnią planety a jonosferą. Wartości natężenia pola są zależne od pogody. Przy dobrych warunkach atmosferycznych wartości natężenia pola to ok. 100 V/m, podczas burzy jednak w wyniku wyładowań lokalnie wartości natężenia mogą wzrosnąć nawet do 20 kV/m. Ziemskie pole magnetyczne wynika z budowy wnętrza planety. Wartości indukcji są zróżnicowane, zależą od szerokości geograficznej. W Polsce to ok. 48 μ T. Pole to podlega niemiernie licznym zakłóceniom spowodowanym aktywnością słońca – tzw. wiatr słoneczny, burze magnetyczne. Cechują się one względnie niewielkimi wartościami indukcji, ale dość wysokimi częstotliwościami (0,5–10 GHz) [27]. W wyniku tego powstają prądy indukowane geomagnetycznie, stanowiące czynnik szkodliwy dla wielu rodzajów infrastruktury technicznej. Znane są przypadki dezorganizacji systemu sieci elektroenergetycznych w wyniku aktywności słonecznej. Porusza się również problem korozji rurociągów spowodowanej działaniem prądów indukowanych geomagnetycznie [32].

Antropogeniczne promieniowanie elektromagnetyczne wykorzystywane jest w telekomunikacji jako nośnik informacji. Występuje również ubocznie na skutek przesyłu energii elektrycznej [2]. W literaturze przedmiotu uznaje się nadmierną ekspozycję na pola elektromagnetyczne za szkodliwą dla człowieka [15].

1.2. WPŁYW PÓL ELEKTROMAGNETYCZNYCH NA ORGANIZMY ŻYWE

Organizmy żywe musiały przystosować się do ekspozycji na naturalne pola elektromagnetyczne przez wiele stuleci. W ostatnim czasie jednak biocenoza narażona jest na szczególnie intensywne oddziaływanie pól elektromagnetycznych pochodzenia antropogenicznego. Problematyka ich wpływu na organizmy żywe nie jest dobrze poznana, ale od niedawna prowadzi się na ten temat liczne badania, dzięki którym już wiadomo, że PEM wpływa nie tylko na pojedyncze drobnoustroje, lecz także na ich struktury, takie jak np. biofilm [23]. Skutki ekspozycji na PEM rozpatruje się w różnych kategoriach zależnie od rodzaju organizmu i oczekiwanego efektu [5, 15, 24, 30]. W zależności od zastosowanych parametrów oddziaływania można osiągnąć pobudzenie lub zahamowanie aktywności życiowej drobnoustrojów [29].

Na podstawie analizy literatury przedmiotu stwierdza się wieloaspektowy wpływ PEM na biocenozę. Skutkiem przepływu fizjologicznych prądów elektrycznych w organizmach żywych możliwa jest interakcja elektrodynamiczna (z powodu występujących zjawisk jak siła Lorentza czy efekt Halla). Mogą też wystąpić: efekt Villariego, oddziaływanie na nieskompensowane spiny magnetyczne paramagnetyków i wolnych rodników, efekt Dorfmana, czyli przeorientowanie się protein w stałym polu magnetycznym na skutek anizotropowych właściwości białek, interakcje z magnetostrykcyjnymi składnikami organizmów, zmiana energii oddziaływań wewnątrz- i międzyatomowych, indukowanie się prądów wewnątrz organizmów spowodowane zmiennym polem elektromagnetycznym, depolaryzacja komórek [5]. Pola elektromagnetyczne o częstotliwości poniżej 300 Hz mają istotny wpływ na procesy komórkowe [15]. Sugeruje

się, że stałe pole magnetyczne wpływa na orientację fosfolipidów błony komórkowej. To z kolei może prowadzić do zaburzeń w pracy kanałów jonowych przez zmianę kinetyki ich aktywacji. W badaniach kanałów wapniowych i sodowych potwierdzono tę hipotezę [13]. Oddziaływanie zmiennego pola elektromagnetycznego może powodować występowanie efektów termicznych zdolnych do zaburzenia prawidłowego funkcjonowania komórki skutkiem zmiany kinetyki reakcji chemicznych bądź nawet – jej uszkodzenie [6]. W literaturze przedmiotu wskazuje się na możliwość zmiany oporności bakterii na antybiotyki pod wpływem pola elektromagnetycznego [1, 7].

Skutki oddziaływania PEM na poziomie komórkowym rozpatruje się pod kątem proliferacji [9], apoptozy [10], zmian morfologicznych [16], zmiany aktywności enzymów [28], zmiany gospodarki jonowej komórki [11] oraz genotoksyczności [18]. Coraz częściej bada się fizyczne czynniki stymulacji ze względu na ich praktyczne zastosowanie. Odpowiednia stymulacja nasion daje obiecujące efekty w aspekcie kinetyki ich kiełkowania [5, 24].

Jak dotąd nie stworzono uniwersalnego modelu określającego wpływ PEM na organizmy żywe na poziomie komórkowym. Badania na organizmach modelowych mogą pomóc w wyjaśnieniu interakcji. W celu rozpoznania biologicznych efektów oddziaływań prowadzi się badania laboratoryjne i epidemiologiczne [17].

Przy określaniu oddziaływania PEM na człowieka stosuje się dwa kryteria: biologiczne i energetyczne.

Kryterium biologiczne oparte jest na wynikach badań zmian w funkcjonowaniu układu nerwowego, neurohormonalnego, odpornościowego i w funkcjach generatywnych, które wywołane są polami. Z badań wynika, że gęstości mocy poniżej 4 mW/cm^2 wywołują zależne liniowo efekty biologiczne. W przypadku gęstości $4\text{--}10 \text{ mW/cm}^2$ zależność ta jest nieliniowa.

Kryterium energetyczne odnosi się do dawki pochłoniętej przez jednostkę masy danego organizmu – wyraża się ją w watach na kilogramy (W/kg). Opisano je jako swoiste tempo pochłaniania energii SAR (ang. Specific Absorption Rate). Zbadano, że progowa wartość SAR wywołująca mierzalny efekt termiczny, tj. przyrost temperatury ciała o 1°C , wynosi 4 W/kg . Stwierdzono również, że układy biologiczne pochłaniają energię zależnie od częstotliwości pola [17].

1.3. DROŻDŻE *S. cerevisiae* JAKO OBIEKT BADAŃ

Drożdże *Saccharomyces cerevisiae* to organizm modelowy w biologii molekularnej, a jednocześnie najlepiej poznane komórki eukariotyczne od strony genetyki i fizjologii [31]. Ze względu na pokrewieństwo biologicznych procesów komórkowych między wszystkimi organizmami eukariotycznymi drożdże *S. cerevisiae* są chętnie wykorzystywane jako wzorcowy organizm w badaniach – szczególnie dotyczących etiologii chorób neurologicznych [4] oraz leków w onkologii [19]. Dane literaturowe zdają się potwierdzać słuszność doboru drożdży tego gatunku do badań [12]. Wska-

zuje się również na istnieniu licznych homologów genów między drożdżami a człowiekiem [14, 20].

Saccharomyces cerevisiae wykorzystywane są również w wielu procesach produkcyjnych (takich jak np. fermentacja alkoholowa) w celu pozyskania odpowiednich produktów metabolicznych – głównie etanolu [3]. Postrzegane niekiedy jako odpady, w świetle ostatnich badań stają się obiecującym materiałem do produkcji preparatów żywnościowych [25]. Biotechnologiczne wykorzystanie tych drobnoustrojów stanowi alternatywne źródło witamin, białek i enzymów [8, 21]. Z tego powodu są chętnie stosowane jako suplementy diety [21]. Drożdże *S. cerevisiae* mogą być także dodatkiem do paszy dla bydła, co skutkuje zwiększoną wydajnością mleczną FCM przy zmniejszonej ilości komórek somatycznych w mleku badanych krów [8].

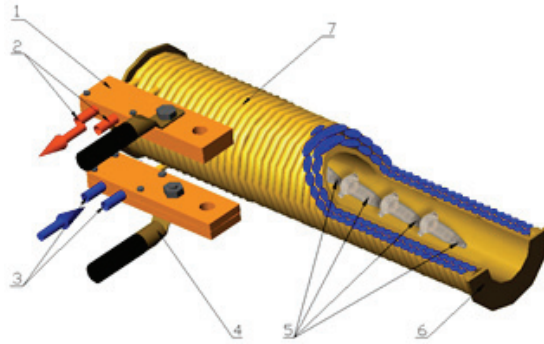
2. CEL PRACY I METODYKA

2.1. CEL BADAŃ

Celem badań było ustalenie wpływu oddziaływania pola elektromagnetycznego na kinetykę wzrostu szczepów drożdży *Saccharomyces cerevisiae* oraz określenie takich parametrów pola elektromagnetycznego i czasu stymulacji, jakie mogą mieć znaczenie w przemysłowych procesach technologicznych.

2.2. METODYKA

W badaniach użyto dwóch szczepów drożdży *Saccharomyces cerevisiae* zdeponowanych w kolekcji Laboratorium Eksperymentalnych Technik Badawczych Surowców i Produktów Biologicznych PCA AB 1698 (Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie). Te szczepy to szlachetne drożdże winiarskie uniwersalne w formie liofilizatu oraz szczep A pochodzący z banku szczepów Laboratorium. W celu przywrócenia funkcji życiowych wykorzystano płynne podłoże YPD (Yeast Pepton Dextrose). Hodowlę prowadzono w cieplarkach w temperaturze 30°C. Przygotowano hodowlę płynną w podłożu YPD. Do jego zaszczerpienia wykorzystano dwudobowe hodowle badanych szczepów drożdży. Jałowe, świeże podłoże zaszczerpięto z ustaleniem gęstości optycznej zawiesin na 0,75 w skali McFarlanda. Następnie po 5 cm³ zaszczerpiętego podłoża przeniesiono do sterylnych probówek, które zostały zabezpieczone korkami. Przygotowano próby kontrolne – próbki poddano działaniu pola elektromagnetycznego przez umieszczenie ich w solenoidzie (il. 2.1) na stanowisku pomiarowym. Jego elementem roboczym był solenoid o długości 480 mm i średnicy pola roboczego 60 mm (il. 2.2). W czasie 60 min i 180 min zastosowano różne natężenia pola (zmierzono składowe magnetyczne – 20 mT i 87 mT) i częstotliwość 50 Hz.

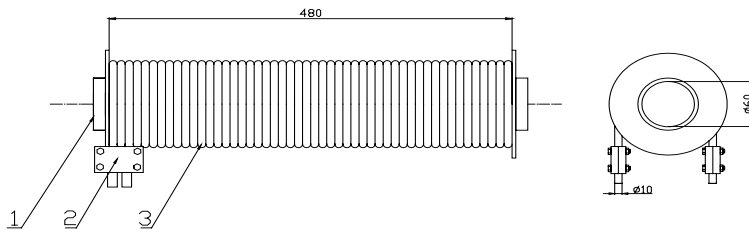


II. 2.1. Schemat części roboczej stanowiska: 1 – płytką zasilającą, 2 – dysza wylotowa chłodziwa, 3 – dysza wlotowa chłodziwa, 4 – przewody zasilające, 5 – probówki z kulturami drożdży, 6 – karkas, 7 – uzwojenie cewki

Ze względu na wydzielanie się dużych ilości ciepła na elemencie roboczym zastosowano ciągłe chłodzenie wodne solenoidu. Hodowlę prowadzono przez 96 h w temperaturze 30°C, dokonując co 24 h pomiaru gęstości optycznej w skali McFarlanda za pomocą densytometru. Doświadczenie przeprowadzono w trzech powtórzeniach.

2.3. OPIS STANOWISKA

Stanowisko badawcze Laboratorium wyposażone jest w element roboczy – solenoid o długości 480 mm i średnicy pola roboczego 60 mm (il. 2.2).

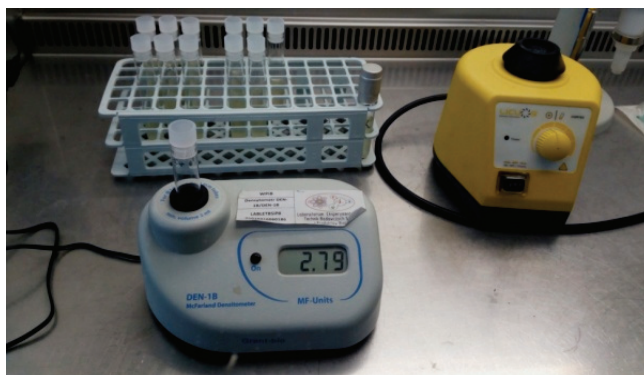


II. 2.2. Widok elementu roboczego solenoidu

Solenoid tego rodzaju zasilany jest specjalnie zaprojektowanym transformatorem o mocy 15 kVA umożliwiającym zgodnie z równaniem skokową regulację wartości indukcji magnetycznej wewnątrz rdzenia powietrznego solenoidu; wartość indukcji B uwarunkowana jest wartością prądu przepływającego przez uzwojenie cewki:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot n \cdot I}{l} \quad [\text{T}]$$

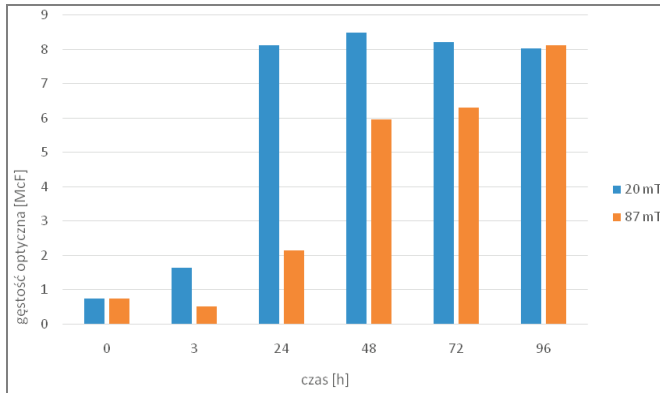
Do określenia gęstości optycznej wykorzystano densytometr DEN-1B znajdujący się na stanowisku Laboratorium (il. 2.3). Przed przystąpieniem do pomiarów probówkę przemywano z zewnątrz roztworem 70% alkoholu etylowego w wodzie w celu usunięcia zabrudzeń powierzchni, które mogłyby spowodować zmianę odczytu. Po umieszczeniu probówki z hodowlą w otworze pomiarowym densytometru na ekranie LCD odczytywana była w skali McFarlanda gęstość optyczna badanej próbki.



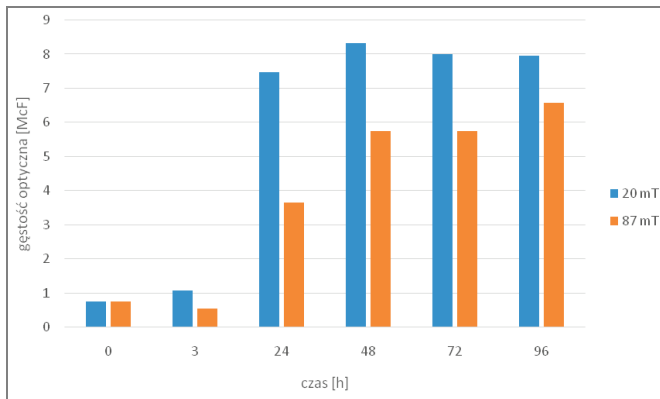
Il. 2.3. Stanowisko do pomiaru gęstości optycznej

3. WYNIKI

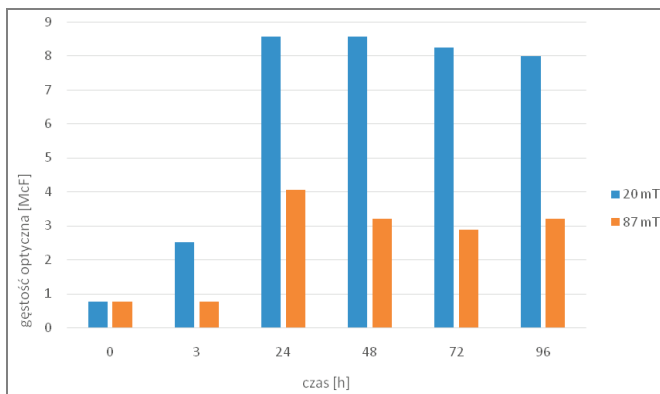
Optyczne gęstości obu szczepów drożdży poddanych działaniu zmiennego pola elektromagnetycznego różniły się względem siebie. W przypadku indukcji wynoszącej 20 mT stwierdzono mniejsze różnice między gęstościami optycznymi zawiesin obu szczepów oraz zmniejszoną zależność od czasu stymulacji. W przypadku indukcji wynoszącej 87 mT pojawiły się natomiast znaczące różnice w optycznej gęstości zawiesin zarówno między szczepami, jak i w obrębie tego samego szczepu poddanego oddziaływaniu w różnym czasie. Największą optyczną gęstość hodowli szczepu A – 8,5 McF uzyskano w drugiej dobie hodowli poddanej godzinnej stymulacji polem elektromagnetycznym o indukcji 20 mT. W badaniu szlachetnych drożdży winiarskich uniwersalnych stymulowanych PEM największą optyczną gęstość zawiesiny wynoszącą 8,57 McF uzyskano w pierwszej i drugiej dobie hodowli w wyniku oddziaływania pola elektromagnetycznego o indukcji 20 mT przez godzinę. Jedynie hodowla szczepu A poddana godzinnej ekspozycji na pole elektromagnetyczne o indukcji 87 mT cechowała się nieznacznie większą gęstością optyczną w czwartej dobie niż hodowla tego samego szczepu poddana działaniu pola o indukcji 20 mT. W przypadku tego szczepu przez pierwsze trzy doby hodowli stwierdzono osłabienie kinetyki wzrostu drożdży.



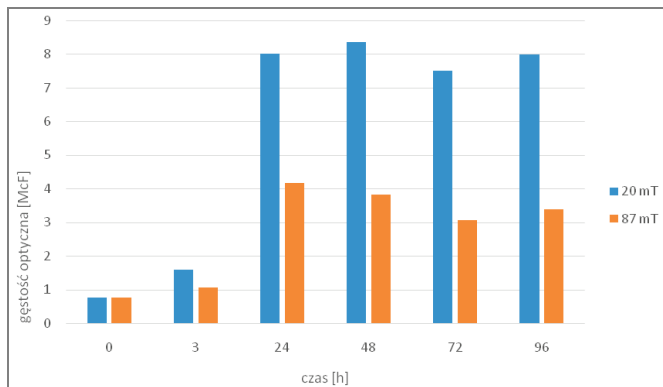
II. 3.1. Stymulacja szczepu A trwająca 1 h



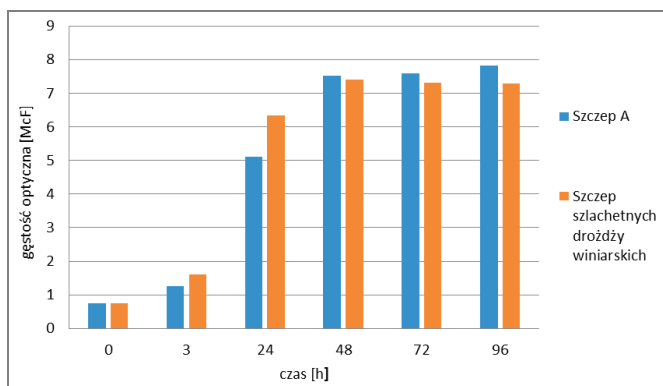
II. 3.2. Stymulacja szczepu A trwająca 3 h



II. 3.3. Stymulacja szczepu szlachetnych drożdży winiarskich trwająca 1 h



II. 3.4. Stymulacja szczepu szlachetnych drożdży winiarskich trwająca 3 h



II. 3.5. Próby kontrolne

4. WNIOSKI

Po analizie krzywych wzrostu gęstości optycznych poszczególnych prób stwierdza się zmianę kinetyki wzrostu badanych szczepów drożdży pod wpływem działania zmiennego pola elektromagnetycznego. W większości przypadków stymulacja polem o składowej magnetycznej 20 mT (niezależnie od czasu oddziaływania) powodowała przyspieszony wzrost drożdży. Ze względu na znaczne osłabienie kinetyki wzrostu w większości przypadków stymulacji polem o składowej magnetycznej 87 mT w stosunku do próby kontrolnej i próby stymulowanej 20 mT przypuszcza się, że istnieje próg dawki ekspozycyjnej [22], powyżej którego obserwuje się osłabienie kinetyki wzrostu danego szczepu.

Skutki ekspozycji zależą w sposób nieliniowy od czasu oddziaływania pola, jego natężenia oraz badanego szczepu. Stwarza to konieczność prowadzenia dalszych badań w kierunku interakcji pól elektromagnetycznych z drobnoustrojami.

Zależnie od parametrów ekspozycji dostrzega się możliwość wykorzystania pola elektromagnetycznego jako potencjalnego czynnika różnicującego szczepy drożdży *Saccharomyces cerevisiae* bądź stymulującego wzrost tych drobnoustrojów.

LITERATURA

- [1] Benson D.E., Grissom Ch.B., Burns G.L., Fazal Mohammad S., *Magnetic Field Enhancement of Antibiotic Activity in Biofilm Forming Pseudomonas Aeruginosa*, „ASAIO Journal” 1994, July–August–September, s. M371–M376.
- [2] Bieńkowski P., Podlaska J., *Pole elektromagnetyczne w środowisku – pomiary i monitoring w Polsce*, „Przegląd Elektrotechniczny” 2017, R. 93, nr 12.
- [3] Bonin S., *Związki powstające w czasie fermentacji winiarskiej*, „Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny”; DOI: 10.15199/64.2018.7.3.
- [4] Pimentel C., Batista-Nascimento L., Rodrigues-Pousada C., Menezes R.A., *Oxidative Stress in Alzheimer’s and Parkinson’s Diseases: Insights from the Yeast Saccharomyces cerevisiae*, Hindawi Publishing Corporation Oxidative Medicine and Cellular Longevity, Vol. 2012, article ID 132146; DOI: 10.1155/2012/132146.
- [5] Cieśla A., Kraszewski W., Skowron M., Syerk P., *Wpływ działania pola magnetycznego na kiełkowanie nasion*, „Przegląd Elektrotechniczny” 2015, R. 91, nr 1.
- [6] Cifra M., Fields J.Z., Farhadi A., *Electromagnetic cellular interactions*, „Progress in Biophysics and Molecular Biology” 2010; DOI: 10.1016/j.pbiomolbio.2010.07.003.
- [7] Creanga D.E., Poiata A., Morariu V.V., Tupu P., *Zero-magnetic field effect in pathogen bacteria*, „Journal of Magnetism and Magnetic Materials” 2004, 272–276, s. 2442–2444.
- [8] Czaplicka M., Puchajda Z., Pawlak M., *Efektywność stosowania drożdży Saccharomyces cerevisiae w żywieniu krów mlecznych*, „Roczniki Naukowe Polskiego Towarzystwa Zootechnicznego” 2014, t. 10 (2014), s. 69–75.
- [9] Davies M.S., *Effects of 60 Hz electromagnetic fields on early growth in three plant species and a replication of previous results*, „Bioelectromagnetic” 1996, 17, s. 154–161.
- [10] Dini L., Abbro L., *Bioeffects of moderate-intensity static magnetic fields on cell cultures*, „Micron”, 2005, 36, s. 195–217; <https://doi.org/10.1016/j.micron.2004.12.009> PMID: 15725590 (dostęp: 30.09.2020).
- [11] Galvanovskis J., Sandblom J., *Periodic forcing of intracellular calcium oscillators. Theoretical studies of the effects of low frequency fields on the magnitude of oscillations*, „Bioelectrochemistry and Bioenergetics” 1998, 46, s. 161–174.
- [12] Hirek K., Vilaprinyo E., Sorribas A., Alves R., *Saccharomyces cerevisiae as a Model Organism: A Comparative Study*, „PLOS ONE” 2011, February, Vol. 6, Issue 2, e16015.
- [13] Hristov J., Perez V.H., *Critical analysis of data concerning Saccharomyces cerevisiae free-cell proliferations and fermentations assisted by magnetic and electromagnetic fields*, „International Review of Chemical Engineering”, 3, 1, s. 3–20.
- [14] Kalchman M., Koide H., McCutcheon K. et al., *HIP1, a human homologue of S. cerevisiae Sla2p, interacts with membrane-associated huntingtin in the brain*, „Nature Genetics” 1997, 16, s. 44–53; <https://doi.org/10.1038/ng0597-44> (dostęp: 30.09.2020).
- [15] Kasprzyk R., Butlewski M., *Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej 2013, Seria: Organizacja i Zarządzanie*, nr 59.
- [16] Liu M., Gao H., Shang P., Zhou X., Ashforth E. et al., *Magnetic field is the dominant factor to induce the response of Streptomyces avermitilis in altered gravity simulated by diamagnetic levitation*, „PLOS One” 2011, 6, e24697; <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0024697> PMID: 22039402 (dostęp: 30.09.2020).

- [17] Macher M., Kałuski M., Skrzypek K., *Ochrona środowiska przed elektromagnetycznym promieniowaniem niejonizującym*, „Telekomunikacja i Techniki Informacyjne” 2010, 3–4.
- [18] McCann J., Dietrich F., Rafferty C., *The genotoxic potential of electric and magnetic fields*, „Mutation Research” 1998, 411, PMID: 9675241, s. 45–86.
- [19] Menacho-Márquez M., Murguía J.R., *Yeast on drugs: Saccharomyces cerevisiae as a tool for anticancer drug research*, „Clinical and Translational Oncology” 2007, 9(4), DOI: 10.1007/s12094-007-0043-2, s. 221–228.
- [20] Muchardt C., Yaniv M., *A human homologue of Saccharomyces cerevisiae SNF2/SWI2 and Drosophila brm genes potentiates transcriptional activation by the glucocorticoid receptor*, „EMBO J.”, 1993, 12, s. 4279–4290.
- [21] Muszyńska B., Malec M., Sułkowska-Ziaja K., *Właściwości lecznicze i kosmetyczne drożdży piekarniczych (Saccharomyces cerevisiae)*, „Postępy Fitoterapii” 2013, 1.
- [22] Ostafin M., Bulski K., Dróżdż T., Nawara P., Necka K., Lis S., Kielbasa P., Tomasik M., Oziembłowski M., *Wpływ zmiennego pola elektromagnetycznego na wzrost drożdży Yarrowia lipolytica*, „Przeгляд Elektrotechniczny” 2016, R. 92, nr 12, s. 117–120.
- [23] Ostafin M., Lasatowicz P., Miernik A., Nawara P., Kielbasa P., Dróżdż T., Malaga-Toboła U., *Wpływ zmiennego pola elektromagnetycznego na biofilm utworzony przez Candida albicans*, „Przeгляд Elektrotechniczny” 2018, R. 94, nr 12.
- [24] Pietruszewski S., *Wpływ pól magnetycznych i elektrycznych na kiełkowanie nasion wybranych roślin uprawnych*, „Technica Agraria” 2002, 1(1), s. 75–81.
- [25] Podpora B., Świdorski F., *Preparaty żywnościowe otrzymywane z odpadowych drożdży pofermentacyjnych jako przykład innowacji*[®], „Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego” 2010, 1, s. 94–99.
- [26] Rochalska M., *Wpływ pól elektromagnetycznych na florę i faunę*, „Medycyna Pracy” 2009, t. 60, nr 1, s. 43–50.
- [27] Rochalska M., *Wpływ pól elektromagnetycznych na organizmy żywe: rośliny, ptaki i zwierzęta*, „Medycyna Pracy” 2007, t. 58, nr 1, s. 37–48.
- [28] Sabo J., Mirossay L., Horovcak L., Sarissky M., Mirossay A., Mojzisz J., *Effects of static magnetic field on human leukemic cell line HL-60*, „Bioelectrochem.” 2002, 56, s. 227–231.
- [29] Santos L.O., Alegre R.M., Garcia-Diego C., Cuellar J., *Effects of magnetic fields on biomass and glutathione production by the yeast Saccharomyces cerevisiae*, „Process Biochemistry” 2010, 45(8), s. 1362–1367.
- [30] Trimmel M., Schweiger E., *Effects of an ELF (50 Hz, 1 mT) electromagnetic field (EMF) on concentration in visual attention, perception and memory including effects of EMF sensitivity*, „Toxicology Letters” 1998, 1 August, Vol. 96–97, s. 377–382.
- [31] Wawrzycka D., *Drożdże jako model w badaniach chorób neurodegeneracyjnych*, „Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej” 2011, 65, s. 328–337; <https://phmd.pl/resources/html/article/details?id=51945&language=pl> (dostęp: 12.11.2020).
- [32] Zarzycki M., Barański J., *Prądy indukowane geomagnetycznie – realne zagrożenie dla systemów elektroenergetycznych czy naukowa ciekawostka?*, „Elektroenergetyka: Współczesność i Rozwój” 2017, nr 2(17), s 38–51.

INFLUENCE OF VARIABLE ELECTROMAGNETIC FIELD ON THE GROWTH KINETICS OF *Saccharomyces cerevisiae* YEAST

In the research were used two strains of *Saccharomyces cerevisiae* yeast, cultivated on YPD medium in constant temperature 30 degrees of Celcius. Samples were influenced by 50 Hz electromagnetic field through 1 h and 3 h by two values of magnetic induction – 20 mT and 87 mT. Cultivation after the stimulation process was carried out for 96 h and the turbidity was measured every 24 h on the McFar-

land scale. Significant differences in the growth of some yeast strains caused by the effect of the electromagnetic field were found. The characteristics of the yeast growth kinetics were non-linear, which makes their interpretation difficult, but gives the basis for further research to determine the relationship between the parameters of the electromagnetic field and the growth kinetics of *Saccharomyces cerevisiae*.

Anna HORZELA*, Jakub SEMRAU*

KONCEPCJA LEAN MANUFACTURING JAKO NARZĘDZIE DOSKONALENIA PROCESÓW PRODUKCYJNYCH

W niniejszym rozdziale za cel postawiono sobie charakterystykę koncepcji Lean Manufacturing jako narzędzia doskonalenia procesów produkcyjnych. W praktyce produkcyjnej Lean Production oraz Lean Manufacturing stosowane są alternatywnie i oznaczają to samo – podjęta przez autorów próba dotyczy więc scharakteryzowania obu tych koncepcji oraz wyjaśnienia na czym polegają najczęściej stosowane narzędzia doskonalenia, takie jak: zasada ciągłego doskonalenia, czyli filozofia Kaizen, Just in Time, System Kanban oraz najpopularniejsze narzędzia Lean Production. Opis wybranych narzędzi doskonalenia został przeprowadzony przez autorów na podstawie wnikliwej lektury literatury przedmiotu zarówno polskiej, jak i zagranicznej. Autorzy po przeanalizowaniu wybranych narzędzi doskonalenia procesów produkcyjnych udowadniają, że wykorzystywanie ich w przedsiębiorstwach prowadzi do uzyskiwania licznych korzystnych efektów, w których wyniku można uzyskać tak zwane odchudzenie procesów organizacyjnych.

1. WSTĘP

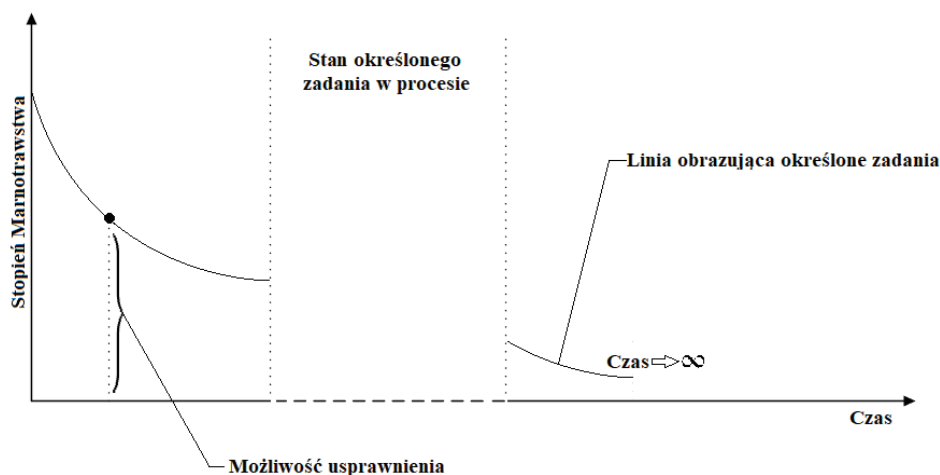
Koncepcja Lean Manufacturing została opracowana i po raz pierwszy wykorzystana przez uczonych z Massachusetts Institute of Technology. Na przełomie lat 90. XX w. D. Roos, J.P. Womack i D.T. Jones wydali, *The Machine That Changed the World*, w której to publikacji zestawili ze sobą parametry wyników i nakładów w przedsiębiorstwach amerykańskich, europejskich oraz japońskich. Toyota Motor Production została uznana za lidera wraz ze swoim systemem Toyota Production System. Branża motoryzacyjna została zrewolucjonizowana przez wykorzystanie zastosowanego w zespole Toyoty podejścia – jego twórcą był kierownik produkcji Taichi Ohno. Dodatkowo trzeba uwzględnić również i to, że system produkcyjny Toyoty został kluczowym elementem japońskiego systemu zarządzania. Podstawową jego funkcją jest minimalizacja marnotrawstwa oraz ciągła chęć do podnoszenia nie tylko jakości

* Politechnika Śląska, Wydział Organizacji i Zarządzania, ul. Roosevelta 24–26, 41-800 Zabrze.

przedsiębiorstwa, lecz także samego wyrobu finalnego. Ohno za marnotrawstwo uważał różne rzeczy, w tym wady wytwarzanych wyrobów, mało wydajne przetwarzanie, czas oczekiwania, nadprodukcję, poziom zapasów oraz problemy transportowe. System przez autorów był uważany za pierwszy odchudzony system produkcyjny – określili go Lean Production. W literaturze przedmiotu spotyka się również określenia takie, jak Lean Manufacturing i Lean Thinking. Termin „szczupłego wytwarzania” wynika z wykorzystania najmniejszej liczby wymienionych czynników podczas procesu produkcyjnego w porównaniu do tradycyjnej metody produkcji, co oznacza: połowę czasu pracy przy nowo zaprojektowanych produktach przez inżynierów, połowę środków wykorzystanych w narzędziach i oprzyrządowaniach, połowę wysiłku pracowników, połowę przestrzeni wykorzystywanej podczas produkcji, wdrażanie nowo zaprojektowanych produktów w krótszym o połowę czasie.

2. LEAN MANUFACTURING JAKO KONCEPCJA

W praktyce produkcyjnej Lean Production oraz Lean Manufacturing stosowane są alternatywnie i oznaczają to samo. Termin „szczupłe wytwarzanie” wynika z wykorzystania najmniejszej liczby wymienionych czynników podczas procesu produkcyjnego w porównaniu do tradycyjnej metody produkcji [16, 19]. Na ilustracji 2.1 przedstawiono graficzną interpretację Lean Manufacturing.



Il. 2.1. Graficzna interpretacja Lean Manufacturing [11, s. 347]

Lean Manufacturing jako koncepcja prowadzi do zniwelowania liczby braków produkcyjnych i zwiększenia asortymentu produkowanych wyrobów dzięki utrzymaniu zapasów o połowę mniejszych. Organizacja produkcji, która ma na celu zmini-

malizowanie wszystkich wykorzystywanych zasobów przeznaczonych do różnego typu działań w przedsiębiorstwie, przewiduje identyfikację i eliminację czynności niedodających wartości w sferze zarządzania łańcuchem dostaw, produkcji, kontaktów z klientami oraz projektowania. W odchudzonej produkcji trzeba stosować szereg wskazówek praktycznych i zasad, dzięki którym można zniwelować koszt przez eliminowanie rozrzutności, a także uproszczenie procesów obsługowych i produkcyjnych. Główną zasadą w Lean Manufacturing jest ciągle usprawnienie. Toyota – wiodąca firma produkcyjna na świecie, na tej zasadzie opiera swój sukces. Na bazie systemu Just in Time powstał Lean Manufacturing, w dalszym ciągu przekształcił się w system zarządzający całymi przedsiębiorstwami – Lean Management. Lean Management obejmuje organizację, kontrolę zamówienia materiałów, planowanie, rozwój oraz badania. W tabeli 2.1 przedstawiono porównanie dwóch odmiennych koncepcji zarządzania organizacją [15, 16].

Tabela 2.1. Porównanie dwóch koncepcji zarządzania organizacją [8, s. 87–95]

	Przedsiębiorstwa zarządzane tradycyjnie	Przedsiębiorstwa zarządzane zgodnie z koncepcją Lean
Integracja procesów	Ograniczona	Zaawansowana/wysoka
Zespołowość i rotacja pracy	Spotykana w niektórych jednostkach	Powszechna
Hierarchia organizacyjna	Wysoce sformalizowana i scentralizowana	Niska formalizacja i hierarchizacja
Ludzie w organizacji	Traktowani przedmiotowo	Traktowani podmiotowo
Współpraca z dostawcami	Wielu przypadkowych dostawców	Długoletnia współpraca partnerska
Wpływ klienta na procesy	Ograniczony wpływ na wytwarzane produkty i innowacje	Włączenie klienta w proces wytwarzania i innowacji

Zgodnie z Lean dąży się do osiągnięcia perfekcyjnego stanu funkcjonowania wszystkich procesów w przedsiębiorstwie. Trzeba postarać się zrozumieć korzenie strat i ich źródła. Poza tym zakłada się eliminację strat u źródła, która oparta jest na fundamentalnych zasadach [1, 13]:

- ciągle dążenie procesu do doskonałości zwiększa wartość dla klienta,
- jedynym sędzią wartości jest klient,
- strata ma kluczowy wpływ na pomniejszenie procesu zwiększania wartości,
- dostarczenie usługi lub produktu klientom,
- doskonałe procesy nie mają strat,
- tworzenie wartości jest procesem.

Ciągle doskonalenie odbywa się przez [4]:

- Muda – analizę marnotrawstw w procesie produkcyjnym,
- Mura – skoncentrowanie się na wyeliminowaniu zakłóceń na poziomie operacyjnym, takich jak ilość i jakość,

- Muri – standard wykonywania poszczególnych etapów w procesie produkcyjnym, który umożliwia eliminację wytwarzania nieuzasadnionych potrzebami, eliminację czasów przestojów oraz skuteczne sprecyzowanie następstw każdego działania.

W dalszej części pracy autorzy przedstawili najważniejsze stosowane narzędzia doskonalenia, takie jak: Kaizen, Just in Time, Kanban oraz najczęściej wykorzystywane narzędzia Lean Production.

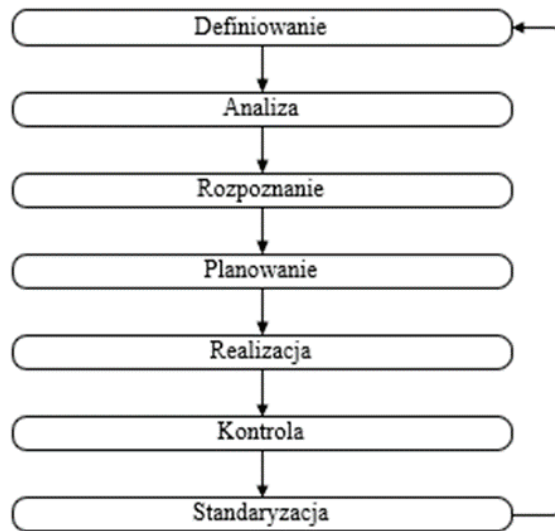
3. ZASADA CIĄGŁEGO DOSKONALENIA – FILOZOFIA KAIZEN

Kaizen w języku japońskim oznacza ciągle usprawnienie. Dotyczy wszystkich pracowników – również menadżerów przedsiębiorstwa. Filozofia Kaizen przewiduje naszą drogę życiową pod znakiem ciągłego doskonalenia. Kaizen jako narzędzie umożliwia pracownikom indywidualnym zarządzanie i organizowanie własnej pracy. Dzięki wprowadzeniu Kaizen pracownicy w przedsiębiorstwach mogą łatwo wskazać problem łącznie z idealnym do niego rozwiązaniem. Członkowie zespołów i liderzy tworzą do nowych standardów pracy nowe procedury, aby dostosować system do zapotrzebowania na rynku. Kaizen również oznacza w równym stopniu usprawnianie zarówno procedur pracy, jak i urządzeń wykorzystywanych w przedsiębiorstwach. Zazwyczaj usprawnienia powinniśmy zaczynać od sposobu wykonywania pracy, zmian sekwencji czynności, a kończyć usprawnieniami związanymi z infrastrukturą przedsiębiorstwa [12].

W Kaizen jako metodzie kluczowy nacisk kładzie się na świadomość problemów oraz na znalezienie jak najlepszego ich rozwiązywania. W przypadku Lean Management charakterystyczna jest zmiana stanowiska pracy. Ułatwieniem dla ciągłych zmian stanowisk roboczych jest standaryzacja wykonywanych operacji. Każdy pracownik powinien się podporządkować, ale również każdy pracownik może ulepszać proces standaryzacji. Standardy są przedstawione w schematach postępowania, instrukcjach i powinny docierać do stanowisk w formie dobrze eksponowanej oraz komunikatywnej [1]. Na ilustracji 3.1 przedstawiono cykl ciągłego doskonalenia Kaizen.

Jednym z szybkich sposobów na usprawnienia jest wykorzystanie Kaizen Event, czyli warsztatów Kaizen. W trakcie warsztatów Kaizen zespoły obierają za swój cel konkretne obszary działań, w których mają znaleźć Mura, Muda i Muri, a następnie wyodrębnić i wyeliminować ze strumienia wartości. Zespoły projektowe, aby właściwie skupić się na warsztatach, wstrzymują całkowicie swoje normalne zajęcia oraz nie zajmują się dostarczaniem usług lub produkcją. Takie podejście wymaga bardzo zaawansowanego planowania. Warsztaty Kaizen nie mogą w żaden sposób wpłynąć negatywnie na całość funkcjonowania przedsiębiorstwa lub na klienta podczas wprowadzania ulepszeń. Rozwiązania zaproponowane w ich trakcie szczerą się przynoszące

niem ogromnych korzyści dla strumienia wartości oraz wykorzystaniem minimalnych nakładów [13].



II. 3.1. Cykl ciągłego doskonalenia Kaizen [1, s. 83]

W dzisiejszych czasach większość osób na stanowiskach kierowniczych uważa za swoje miejsce pracy biurko i woli nie mieć styczności z wydarzeniami mającymi miejsce w gemba, czyli procesami dodającymi wartości. Większość zatrudnionych kierowników w przedsiębiorstwach ma styczność z sytuacją rzeczywistą dzięki dziennym, tygodniowym lub miesięcznym raportom i spotkaniom. Pierwszym krokiem w efektywniejszym zarządzaniu miejscem produkcji jest pozostawanie w jak najbliższym kontakcie z gemba oraz jego zrozumienie. Stąd wynika pięć kluczowych zasad zarządzania [6]:

1. Jeśli pojawi się problem, w pierwszej kolejności idź do gemba.
2. Obserwuj rzeczywiste przedmioty (gembutsu).
3. Podejmij tymczasowe środki zapobiegawcze.
4. Znajdź przyczyny występującego problemu.
5. Standaryzuj, zapobiegasz występowaniu kolejnych problemów.

4. JUST IN TIME

Just in Time jako koncepcja jest w języku polskim określany terminem: „dokładnie na czas”. W swoich założeniach ściśle łączy produkcję z zaopatrzeniem. Jest najbardziej znaną i rozpowszechnianą metodą zarządzania produkcją, w której stawia się trzy warunki dostarczania wsadowych do produkcji, chodzi o [5, 17]:

- dokładanie tego, co jest potrzebne,
- dokładanie wtedy, kiedy jest coś potrzebne,
- dokładanie dokładnie tyle, ile jest potrzebne.

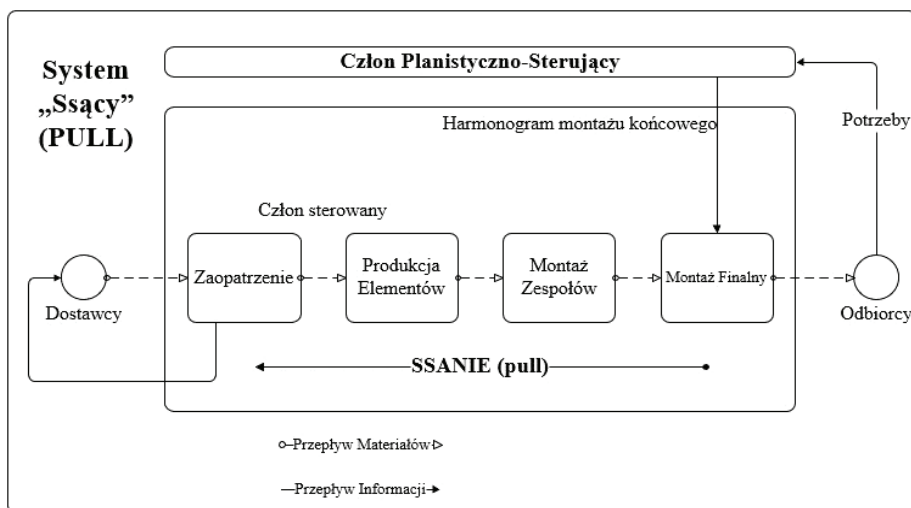
Każdy z tych warunków kształtuje produkcję w przedsiębiorstwie zarówno na poziomie procesu produkcji, jak i całej logistyki produkcji. Zastosowanie Just in Time jako systemu cały czas stanowi próbę eliminacji wszystkich występujących strat w organizacji. Za cel w systemie Just in time stawiane jest wykonanie planów produkcyjnych przy najmniejszej liczbie operacji, niewielkim wyposażeniu oraz przy użyciu najmniejszej ilości materiałów [18].

W koncepcji Just in Time są cztery główne założenia [16]:

- zero defektów, wysoka jakość,
- zero zapasów,
- częste małe uzupełnienia poszczególnych dóbr,
- krótki cykl realizacji zamówienia.

Realizowanie założeń koncepcji umożliwia dostarczenie materiałów w dokładnie określonym czasie i w ściśle określonej ilości, dzięki czemu możliwe jest zminimalizowanie kosztów zapasów. W systemie Just in Time sterowanie przepływem materiałów odbywa się zgodnie z uwzględnieniem trzech podstawowych zasad [16]:

- zdecentralizowany system kontroli realizacji i zlecenia zadań,
- proces produkcyjny wykonywany od fazy strumienia materiałowego w górę, według zasady *pull* od poprzedniej komórki produkcyjnej,
- w przypadku produkcji zmianowej i dziennej harmonogramowanie montażu końcowego.



II. 4.1. Sterowanie przepływem materiałów w systemie Just in Time [16, s. 59]

Na ilustracji 4.1 przedstawiono sterowanie przepływem materiałów w systemie Just in Time.

Korzyści wynikające z zastosowania koncepcji Just in Time [7, 14] można określić następująco:

- W warunkach ograniczonego asortymentu pojawia się możliwość szybkiego przestawiania produkcji.
- Staje się możliwe szybkie reagowanie na zmieniający się popyt na rynku.
- Następuje podniesienie jakości wyrobów oraz zmniejszenie liczby braków.
- Skracają się cykle produkcyjne od zakupu materiałów po dostarczenie gotowych wyrobów do odbiorcy.
- Dzięki zastosowaniu obróbki grupowej zmniejsza się czas przebrojeń linii produkcyjnej.
- Następuje minimalizacja zapasu zabezpieczającego.
- Następuje minimalizacja zapasów produkcji w toku skutkująca:
 - redukcją kontroli zapasów i kosztów ewidencji,
 - zniwelowaniem strat wynikających z oprocentowania zamrożonego kapitału w zapasach,
 - zniwelowaniem kosztów związanych z wyposażeniem potrzebnym do przechowywania zapasów.

5. SYSTEM KANBAN W LEAN MANUFACTURING

Integralną częścią koncepcji Just in Time są metody zarządzania produkcją Kanban. Kanban jako system oparty jest na przepływie dokumentów w formie kart Kanban dołączonych do wózków transportowych, którymi przemieszczane są niewielkie ilości materiałów lub podzespołów potrzebnych do produkcji. Dzięki systemowi Kanban zapewniona jest dokładniejsza kontrola zapasów przedsiębiorstwa. Produkcja składowych wyrobów uruchomiona jest dopiero wtedy, kiedy pojawia się na nie zapotrzebowanie [9].

Podczas użytkowania systemu Kanban do sterowania czasem i ilością przepływu materiałów wykorzystywane są dwa rodzaje kart [3]:

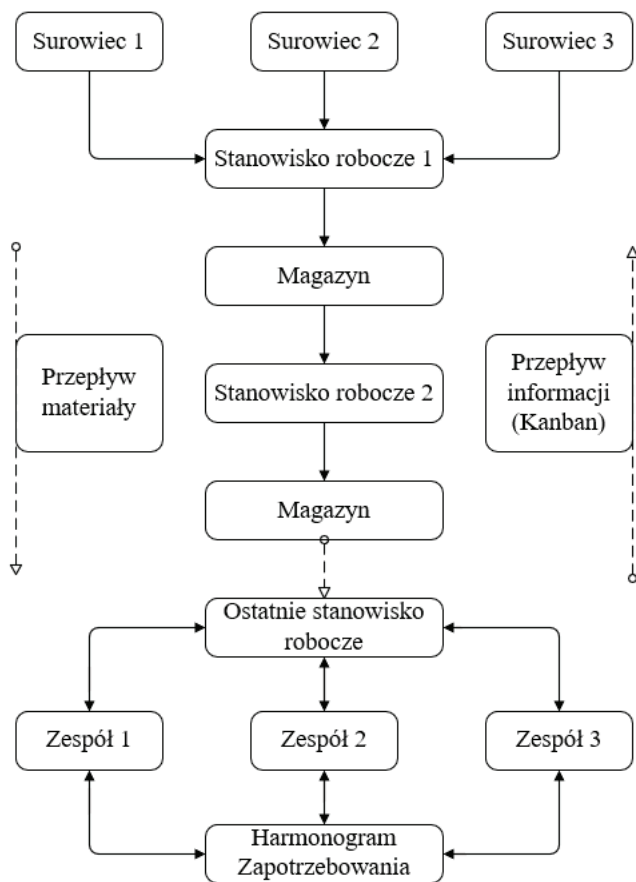
- karta produkcji (KAN – zlecenia produkcji) stanowiąca dokument zlecenia na wytworzenie określonej liczby wyrobów,
- karta zapotrzebowania (BAN – zlecenie przepływu) stanowiąca dokument pobrania poszczególnych produktów z poprzedniego miejsca produkcyjnego.

W systemie Kanban punktem wyjścia jest harmonogramowanie pracy działu montażu wyrobu finalnego, które jest podstawą do wyznaczenia dziennego planu produkcyjnego. Partia wytwarzana w poszczególnej fazie może być uznawana jako ograniczona przez rozmiar pojemników wykorzystywanych do przemieszczania części z jednej fazy do kolejnej [2].

Aby system Kanban mógł efektywnie funkcjonować, trzeba przestrzegać następujących zasad [10]:

- finalne elementy produkcyjne muszą być ulokowane w punkcie przeznaczenia przedstawionym w karcie Kanban,
- do jednego kontenera może być dołączona tylko jedna karta Kanban,
- karty systemu Kanban muszą zostać traktowane według zasady FIFO,
- kolejne stanowisko pracy musi zainicjować ruch elementów,
- nie można przysłać lub produkować różnych ilości produktów niż wskazana w kartach Kanban.

Na ilustracji 5.1 przedstawiono uproszczony schemat systemu Kanban.



Il. 5.1. Uproszczony schemat systemu Kanban [2]

System Kanban znajduje również zastosowanie poza produkcją, na przykład w zarządzaniu logistycznym do rozpoczęcia realizowania dostaw przez dystrybutora su-

rowców – również przy zachowaniu takiej samej zasady, zgodnie z którą materiałów nie zamawia się, jeśli nie są one potrzebne [2].

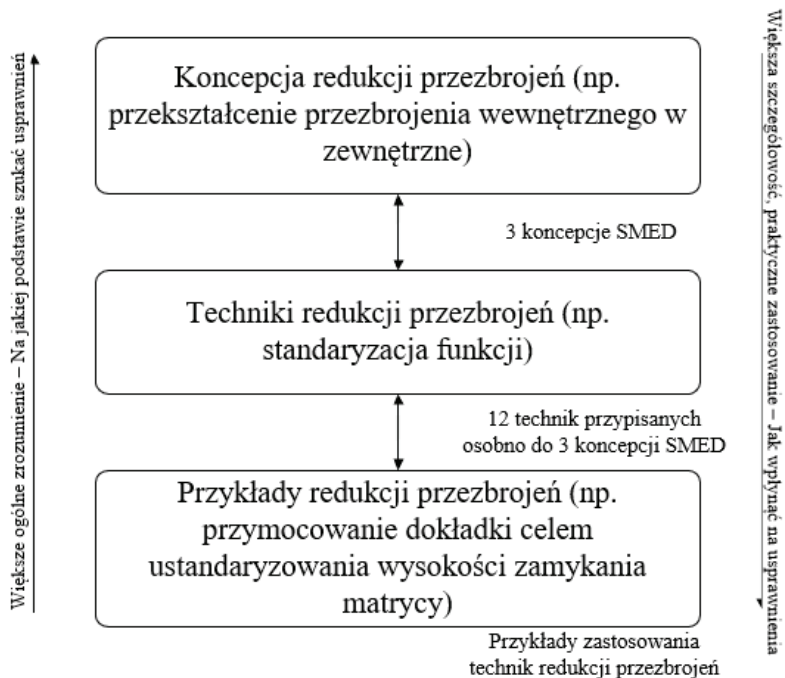
6. NARZĘDZIA LEAN PRODUCTION

Termin „Poka-Yoke” składa się dwóch japońskich słów: *poka* – oznacza błędy popełnione nieumyślnie i *yokeru* – unikać, dlatego znany jest również jako „zasada unikania błędów” oznaczająca unikanie błędów u źródła potencjalnego ich powstawania. W założeniu przyjmuje się, że żadne urządzenie ani system, ani człowiek nie mogą pracować bez popełnienia jakiegokolwiek błędu. Samo występowanie błędów jednak nie powinno automatycznie prowadzić do powstawania błędów lub niezgodności. Proponuje się zastosowanie urządzeń technicznych wyposażonych w nowoczesne systemy przetwarzania i czujniki, aby nie było możliwości popełnienia błędu podczas użytkowania maszyny. Poka-Yoke nie jest jednym narzędziem, jest zastosowaniem wielu prostych mechanizmów w codziennym funkcjonowaniu przedsiębiorstwa. Zasada unikania błędów sprowadza się do odnajdywania wad, aby można było eliminować przyczyny i błędy. Poka-Yoke jest realizowane w siedmiu krokach [1]:

1. Przedstawienie wad.
2. Wykrycie i zidentyfikowanie miejsca występowania wad.
3. Stworzenie wzorca działania, wedle którego wystąpiła wada.
4. Określenie wszystkich odchyłeń lub błędów w stosunku do wzorca miejsca powstawania wad.
5. Określenie w miejscu powstawania wad stanu zagrożenia. Skoro źródło i przebieg zostały zidentyfikowane, należy zorientować się, dlaczego występują błędy.
6. Ustalenie mechanizmu Poka-Yoke koniecznego do przeciwdziałania wadom i błędom.
7. Popularyzacja narzędzia i sprawdzanie wyników.

SMED – czyli skracanie czasu przezbrojeń, a dokładnie wpływ na zmniejszenie partii produkcyjnej stanowi podstawę Lean Manufacturing oraz Just in Time. Jest definiowany jako poprawa elastyczności produkcji oraz element TPM. W metodyce SMED pojawiają się trzy terminy: „przebrojenie”, „przebrojenie zewnętrzne”, „przebrojenie wewnętrzne”. Przebrojenie, czyli wprowadzenie zmian w maszynie czy grupie maszyn polegające na wymianie uchwytu mocującego, formy, matrycy, narzędzi itp. po to, by można było wykonywać inne produkty w procesie wytwórczym. Czas potrzebny do przebrojenia liczony jest od ostatniego produktu „A” do pierwszego produktu „B” w odpowiedniej jakości z zestandaryzowanymi parametrami. Przebrojenie zewnętrzne jest częścią przebrojenia – wykonuje się je podczas pracy linii produkcyjnej lub maszyny. Przeważnie są to czynności przygotowawcze przed zastopowaniem linii produkcyjnej. Przebrojenie wewnętrzne jest również częścią przebrojenia – wykonuje się je wtedy, kiedy linia produkcyjna lub maszyna jest za-

trzymana. Osiągnięcie standardowej wydajności, czas startu, rozruch urządzenia są wliczane do czasu przebrojenia wewnętrznego [12]. Na ilustracji 6.1 przedstawiono aspekty odnoszące się do definicji SMED.



Il. 6.1. Aspekty odnoszące się do definicji SMED [12, s. 36]

TPM – Total Productive Maintenance, czyli globalne zarządzanie, utrzymanie ruchu to metoda, dzięki której możemy zmaksymalizować produktywność oraz bieżącą konserwację narzędzi i sprzętu. W TPM celem jest minimalizacja strat podczas produkcji związanych z awariami lub złym funkcjonowaniem, a także maksymalizacja wydajności sprzętu produkcyjnego. Wydajność sprzętu jako wskaźnik działania zapisywany jest w zrównoważonej tabeli szczególnie w przypadku przedsiębiorstw wytwórczych. Metodę TPM dzieli się na trzy obszary [13]:

- konserwację prewencyjną – wykonuje się ją, jeśli jest możliwe przewidzenie wystąpienia awarii,
- konserwację autonomiczną – oznaczającą wykonywanie konserwacji przez zespół pracowników w ramach ich harmonogramu pracy,
- konserwację planowaną – odnoszącą się do mocno eksploatowanych części lub obciążonych wysokim ryzykiem, które muszą być regularnie wymieniane lub konserwowane, tego typu prace muszą być zaplanowane, ponieważ dane narzędzia, części lub sprzęt muszą zostać wyłączony z użytku.

W metodzie 5S chodzi o właściwe utrzymanie stanowiska pracy. W dzisiejszych czasach stosowanie standardów 5S stało się niezbędne w przedsiębiorstwach zajmujących się produkcją. W gemba brak 5S oznacza nieefektywność, a Muda złą samodyscyplinę, niską jakość, niemożność dotrzymania terminów dostaw, wysokie koszty i słabe morale. Pięć elementów właściwego utrzymania stanowiska pracy odnosi się do punktu wyjścia dla przedsiębiorstwa, które chciałoby być postrzegane jako odpowiedzialny producent mogący ubiegać się o pozycję lidera na rynku [6]. W tabeli 6.1 przedstawiono cele, które można osiągnąć dzięki zastosowaniu metody 5S i jej wpływ na usprawnienia pracy.

Tabela 6.1. Cel stosowania metody 5S i jej wpływ na usprawnienia pracy [1, s. 87]

5S	Definicja	Usprawnienie pracy	Cel
Selekcja	Posortowanie rzeczy na potrzebne i niepotrzebne Usunięcie rzeczy niepotrzebnych	Zmniejszenie zapasów Lepsze wykorzystanie powierzchni roboczej Zapobieganie gubieniu przedmiotów	Redukcja kosztów, usprawnienie pracy
Sortowanie	Właściwe ułożenie wszystkich elementów	Skrócenie czasu poszukiwania rzeczy potrzebnych Poprawa bezpieczeństwa	Poprawa jakości
Sprzątanie	Usunięcie brudu ze stanowisk roboczych	Utrzymanie i poprawa sprawności maszyn Utrzymanie czystego stanowiska pracy	Zmniejszenie awarii
Systematyczność	Utrzymanie czystych i schludnych warunków pracy	Ulepszenie środowiska pracy	Lepsze bezpieczeństwo
Samodyscyplina	Przestrzeganie wszystkich zasad pracy	Zmniejszenie liczby pomyłek wynikających z nieuwagi	Wzrost morale

Właściwe utrzymanie stanowiska pracy w pięciu krokach (zgodne z terminologią japońską) [6]:

1. Selekcja (*seiri*) – rozróżnienie i eliminacja w gemba rzeczy zbędnych od niezbędnych.
2. Systematyka (*seiton*) – porządkowanie pozostałych elementów.
3. Sprzątanie (*seiso*) – utrzymywanie maszyn i miejsca pracy w czystości.
4. Standaryzacja (*seiketsu*) – ciągłe praktykowanie i stosowanie wszystkich punktów.
5. Samodyscyplina (*shitsuke*) – budowa nawyku angażowania się, ustanowienie standardów.

7. PODSUMOWANIE

W niniejszym rozdziale pracy autorzy przedstawili szczegółową charakterystykę koncepcji Lean Manufacturing oraz najczęściej stosowanych narzędzi Lean Production, takich jak: zasada ciągłego doskonalenia Kaizen, koncepcja Just in Time, System Kanban, narzędzia Lean Production. Jednoznacznie można stwierdzić, że wszystkie wymienione narzędzia doskonalenia w przedsiębiorstwach prowadzą do uzyskiwania licznych korzystnych efektów. W ich wyniku przedsiębiorstwa mogą uzyskać tak zwane odchudzenie procesów organizacyjnych. Stosowanie zaprezentowanych narzędzi może w sposób znaczący ograniczyć marnotrawstwo oraz może być punktem zwrotnym podczas opracowywania innowacyjnych rozwiązań poprawiających funkcjonowanie jednostki.

LITERATURA

- [1] Bendkowski J., Matuszek M., *Logistyka produkcji. Praktyczne aspekty*, cz. 2, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2013.
- [2] *Organizacja i sterowanie produkcją. Projektowanie systemów produkcyjnych i procesów sterowania produkcją*, M. Brzeziński (red.), Agencja Wydawnicza Placet, Warszawa 2002.
- [3] Coyle J.J., Bardi E.J., Langley C.J. JR., *Zarządzanie logistyczne*, PWE, Warszawa 2002.
- [4] Czerska J., *Doskonalenie strumienia wartości*, Difin, Warszawa 2009.
- [5] *Kompendium wiedzy o logistyce*, E. Gołemska (red.), Wydawnictwo PWN, Warszawa 2002.
- [6] Imai M., *Gemba Kaizen. Zdroworozsądkowe, niskokosztowe podejście do zarządzania*, Wydawnictwo MT Biznes, Warszawa 2012.
- [7] Kosieradzka A., *Just-in-Time*, „Problemy Jakości” 1993, nr 2, s. 11.
- [8] Kruczek M., Żebrucki Z., *Wykorzystanie narzędzi Lean Manufacturing w logistyce produkcji*, Prace Naukowe, Seria: Transport, z. 64, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2008.
- [9] *Nowoczesne metody zarządzania produkcją*, Z. Martyniak (red.), Wydawnictwo AGH, Kraków 1996.
- [10] Martyniak Z., *Organizacja i zarządzanie. 60 problemów teorii i praktyki*, Wydawnictwo Antykwa, Kluczbork 1996.
- [11] Pająk E., *Zarządzanie Produkcją*, PWE, Warszawa 2006.
- [12] Pawłowski E., Pawłowski K., Trzecieliński S., *Metody i narzędzia Lean Manufacturing*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2010.
- [13] Sayer N.J., Williams B.: *Lean dla bystrzaków*, Helion, Gliwice 2015.
- [14] Słowiński B., *Wprowadzenie do logistyki*, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2008.
- [15] Spear S.J., *Jak Toyota wychowuje menadżerów*, „Harvard Business Review Polska” 2005, styczeń, nr 23, s. 93.
- [16] Szymonik A., *Logistyka Produkcji*, Difin, Warszawa 2012.
- [17] Wild T., *Best Practice in Inventory Management*, Wiley, New York 1997.
- [18] Witkowski J., *Logistyka firm japońskich*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej, Wrocław 1999.
- [19] Womack J.P., Jones D.T., Roos D., *The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production*, HarperBusiness, New York 1991.

LEAN MANUFACTURING CONCEPT
AS IMPROVEMENT TOOLS OF PRODUCTION PROCESS

The aim of this article is to characterize the concept of Lean Manufacturing as a tool for improving production processes. In contemporary literature, we also find similar terms such as Lean Manufacturing and Lean Thinking. In the article, the authors attempt to characterize both of these concepts and explain what the most commonly used improvement tools are, such as: the principle of continuous improvement, i.e. the Kaizen philosophy, Just in Time, the Kaizen System and the most popular Lean Production tools. In order to characterize the improvement tools, the authors conducted detailed literature research based on domestic and foreign literature. The authors, after analyzing the improvement tools, prove that using them in enterprises leads to obtaining numerous beneficial effects and that as a result, the so-called slimmer organizational processes can be obtained.

Paulina JAGÓDKA*, Agata ŁAMACZ*

SYNTEZA I CHARAKTERYSTYKA KOMPOZYTU MOF/CNT

Jednym z najszerzej wykorzystywanych szkieletów metalo-organicznych (MOF) jest HKUST-1 charakteryzujący się dużą powierzchnią właściwą, trwałą porowatością czy odpornością termiczną i chemiczną. Dodatkową zaletą HKUST-1 jest obecność w jego strukturze węzłów typu *paddle-wheel*, które są niezwykle atrakcyjne ze względu na zastosowania tego materiału – w szczególności katalizy. Wśród możliwych modyfikacji MOF, w tym także HKUST-1, wymienia się wymianę węzłów i linkerów, postsyntetyczną metalację, a także syntezę materiałów kompozytowych, m.in. z materiałami węglowymi. W pracy przedstawiono metodę syntezy i charakterystykę kompozytu HKUST-1/CNT. Omówiono także potencjalne zastosowanie otrzymanego materiału kompozytowego w katalizie.

WYKAZ OZNACZEŃ

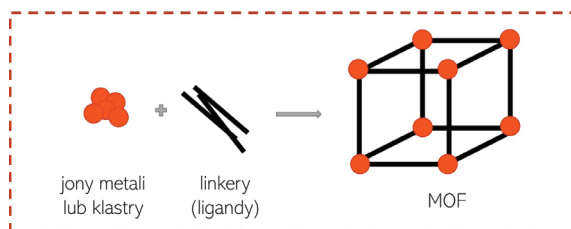
MOF	– sieci metaliczno-organiczne (ang. Metal-Organic Frameworks)
SBU	– drugorzędowa jednostka budulcowa (ang. Secondary Building Unit)
H ₃ BTC	– kwas 1,3,5-benzenotrikarboksylowy
CNT	– nanorurki węglowe (ang. Carbon Nanotubes)
XRD	– dyfraktometria rentgenowska (ang. X-Ray Diffraction)
SEM	– skaningowa mikroskopia elektronowa (ang. Scanning Electron Microscopy)
XPS	– rentgenowska spektroskopia fotoelektronów (ang. X-ray Photoelectron Spectroscopy)
TGA	– analiza termogravimetryczna (ang. Thermogravimetric Analysis)
DTG	– termogravimetryczna krzywa różniczkowa (ang. Derivative Thermogravimetric)
BET	– metoda określania powierzchni właściwej materiałów przy zastosowaniu izotermu Brunauera–Emmetta–Tellera
HKUST-1	– szkielet metalo-organiczny składający się z jonów Cu ²⁺ oraz kwasu 1,3,5-benzenotrikarboksylowego
MOF/CNT	– kompozyt składający się z MOF oraz nanorurek węglowych
HKUST-1/CNT	– kompozyt składający się z HKUST-1 oraz CNT

* Politechnika Wroclawska, Katedra Chemii i Technologii Paliw, ul. Gdańska 7/9, 50-344 Wroclaw.

1. WPROWADZENIE

1.1. SZKIELETY METALO-ORGANICZNE

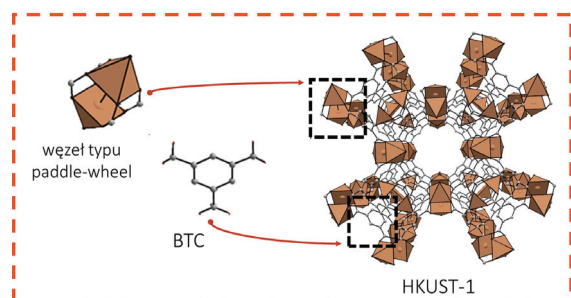
Szkielety metalo-organiczne są zbudowane z organicznych ligandów (linkerów) i nieorganicznych węzłów połączonych za pomocą wiązań kowalencyjnych (il. 1.1) [6].



Il. 1.1. Struktura szkieletów metalo-organicznych

Nieorganicznymi węzłami mogą być pojedyncze jony metali lub metaliczne klastry zawierające większą liczbę jonów, nazywane SBU (ang. Secondary Building Units). Mnogość dostępnych klastrów metalicznych i organicznych linkerów sprawia, że otrzymywane szkielety metalo-organiczne mogą być niezwykle różnorodne [4]. Materiały typu MOF wyróżniają się takimi cechami, jak krystaliczna struktura, trwała porowatość (sięgająca nawet 50% objętości materiału), bardzo duża powierzchnia właściwa, odporność chemiczna i termiczna oraz możliwość wszechstronnej modyfikacji [6]. Dzięki wspomnianym właściwościom mogą być one szeroko stosowane m.in. w sorpcji i separacji gazów, katalizie, a także jako sensory, membrany czy nośniki leków [8, 11, 27].

Jednym z najczęściej wykorzystywanych materiałów typu MOF jest HKUST-1 (Cu-BTC) opisany po raz pierwszy przez Chui i in. w 1999 r. Składa się on z organicznych łączników – kwasu 1,3,5-benzenotrikarboksylowego, który koordynuje jony Cu^{2+} tak, że powstają metaliczne węzły typu *paddle-wheel* (il. 1.2) [3].



Il. 1.2. Struktura sieci metalo-organicznej o akronimie HKUST-1

Opisywany materiał charakteryzuje się trójwymiarowym systemem porów o rozmiarach 5, 10 i 11 Å i objętości 0,3–0,7 m³/g, a także porowatością na poziomie 40,7%. Ponadto wyróżnia się bardzo dużą powierzchnią właściwą BET sięgającą zwykle 600–1600 m²/g oraz odpornością termiczną nawet do 350°C. Dodatkowymi zaletami HKUST-1 jest także możliwość jego modyfikacji i neutralność elektryczna [1, 3].

1.2. KOMPOZYTY TYPU MOF/CNT

W celu ulepszenia właściwości fizykochemicznych szkieletów metalo-organicznych mogą być one wszechstronnie modyfikowane, np. przez częściową wymianę jonów w węzłach, wymianę linkerów, metalację MOF czy zastosowanie templatów [19, 22]. Oryginalnym rozwiązaniem jest także tworzenie materiałów hybrydowych, m.in. przez wprowadzanie do struktury nanocząstek metali [22], polimerów [27] czy materiałów węglowych [13].

Do syntezy kompozytów ze szkieletami metalo-organicznymi coraz częściej wykorzystuje się nanorurki węglowe (CNT), które za sprawą swoich wyjątkowych właściwości umożliwiają otrzymanie materiałów o cechach charakterystycznych dla MOF, takich jak duża powierzchnia właściwa czy pojemność sorpcyjna [26], a także zwiększone przewodnictwo cieplne i elektryczne, wytrzymałość mechaniczna czy hydrofobowość [33]. Wymienione zalety pozwalają na zastosowanie hybryd MOF/CNT w magazynowaniu i separacji gazów [31, 32], sorpcji [13, 26] czy produkcji elektrod [20, 21, 23].

1.3. ZASTOSOWANIE W KATALIZIE

Szkielety metalo-organiczne są powszechnie wykorzystywane jako katalizatory ze względu na obecność dostępnych centrów aktywnych, dużą powierzchnię właściwą czy porowatość. Jednym z bardziej atrakcyjnych materiałów do zastosowania w katalizie wydaje się być HKUST-1 mający wolne miejsca koordynacyjne na atomach miedzi w węzłach (nienasycone jony Cu²⁺ koordynują atomy tlenu w taki sposób, że tworzą mostki μ_2 -O uniemożliwiające nasycenie centrów aktywnych). Dodatkową zaletą tego typu otwartych centrów aktywnych jest większa stabilność niż w przypadku układów homogenicznych [12].

HKUST-1 był testowany w wielu reakcjach katalitycznych. Przykładami są reakcja utleniania kwasu trans-ferulowego do waniliny [36] czy synteza 1,4-dihydropirydyny w etanolu [2]. Powszechnie wykorzystuje się także materiały modyfikowane. Guo i in. [9] badali aktywność HKUST-1 z częściowo wymienionymi jonami Cu²⁺ na Pd²⁺ w węzłach, który okazał się być aktywnym katalizatorem wielu reakcji utleniania alkoholi i związków allilowych oraz przegrupowania, cykloizomeryzacji i uwodornienia olefin. Bardzo dobre rezultaty uzyskano także podczas testowania HKUST-1 z nanocząstkami Fe₃O₄ [28], Pd [35] czy impregnowania roztworem soli ceru [25].

Ostatnio coraz częściej odnotowuje się doniesienia na temat wykorzystania szkieletów metalo-organicznych do otrzymywania metali i tlenków metali zdyspergowanych na nośniku węglowym [7]. Uzyskane w procesie karbonizacji MOF materiały cechują się wyjątkową przewodnością elektronową i bardzo dużą porowatością [34], a więc są chętnie wykorzystywane w bateriach [37], superkondensatorach [30] oraz katalizie [24] i elektrokatalizie [16]. Obiecującym prekursorem katalizatorów miedziowych jest HKUST-1. Kaimeng i in. [14] donoszą, że otrzymane w wyniku karbonizacji HKUST-1 katalizatory $\text{Cu}@\text{CuO}_x$ /węgiel są aktywne w reakcji oksydacyjnego sprzęgania imin.

Materiały katalityczne o dobrze zdyspergowanych miedziowych centrach aktywnych na szkieletach węglowych można otrzymać także w wyniku pirolizy kompozytu HKUST-1/CNT. Rozkład części organicznej kompozytu (BTC) prowadzi do otrzymania nanokryształów Cu, Cu_2O lub CuO, obecność nośnika węglowego (CNT) zapewnia natomiast dobre przewodnictwo ciepła i ładunku, wytrzymałość i właściwości hydrofobowe otrzymanego katalizatora. Jednym z bardziej interesujących potencjalnych zastosowań katalizatora miedziowego uzyskanego w wyniku pirolizy HKUST-1/CNT jest reakcja otrzymywania *p*-hydroksyfenyloetanolu, ważnego półproduktu wykorzystywanego w przemyśle farmaceutycznym do syntezy wielu leków [10]. Wśród metod otrzymywania *p*-hydroksyfenyloetanolu uwagę zwraca wysokociśnieniowe uwodornienie z zastosowaniem katalizatora CuO-ZrO_2 . Jak donoszą Wang i in. [29], wprowadzenie do układu nanorurek węglowych może poprawiać aktywność katalizatorów w reakcji uwodornienia CO_2 . Uważamy, że podobny efekt będzie można obserwować w przypadku katalizatora miedziowego opartego na nanorurkach węglowych otrzymanego w wyniku pirolizy HKUST-1/CNT.

2. MATERIAŁY I METODY

2.1. SYNTEZA

Odczynniki: nanorurki węglowe (CNT, Sigma Aldrich), azotan (V) miedzi trójwodny ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, Sigma Aldrich), kwas 1,3,5-benzenotrikarboksylowy (H_3BTC , 95%, Sigma Aldrich), *N,N*-dimetyloformamid (DMF, Eurochem BGD Sp. z o.o.), alkohol etylowy ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, 96%, P.P.H StanLab Sp. z o.o.), chloroform (CHCl_3 , POCH SA), kwas azotowy (65%, POCH SA).

Synteza HKUST-1: 5 g $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ i 2,5 g H_3BTC rozpuszczono w mieszaninie DMF (62,5 ml) oraz $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (62,5 ml). Mieszaninę poddano działaniu ultradźwięków przez 10 min aż do uzyskania niebieskiego przejrzystego roztworu. Roztwór umieszczono w autoklawie i ogrzewano w temperaturze 120°C przez 24 h. Po ochłodzeniu roztworu do temperatury pokojowej otrzymane niebieskie ciało stałe sączone pod zmniejszonym ciśnieniem, przemywając 130 ml DMF oraz 200 ml CHCl_3 i suszono w temperaturze 70°C przez 2 h.

Synteza HKUST-1/CNT: 1 g CNT rozpuszczono w 400 ml kwasu azotowego. Mieszaninę poddano działaniu ultradźwięków przez 45 min aż do uzyskania dobrze zdyspergowanej mieszaniny nanorurek węglowych w kwasie. Otrzymany roztwór ogrzewano w temperaturze 60°C przez 5 h. Po ochłodzeniu roztworu do temperatury pokojowej mieszaninę sączono pod zmniejszonym ciśnieniem, przemywając wodą destylowaną aż do uzyskania przesączu o odczynie obojętnym. Otrzymane czarne ciało stałe (CNT_{act}) suszono w temperaturze 120°C przez 12 h. Masę 0,002 g CNT_{act} rozpuszczono w DMF. Roztwór poddano działaniu ultradźwięków przez 10 min. Do otrzymanej zawiesiny dodano 5 g Cu(NO₃)₂·3H₂O, 2,5 g H₃BTC, 50 ml DMF oraz 50 ml C₂H₅OH. Mieszaninę umieszczono w reaktorze i ciągle mieszając, ogrzewano w temperaturze 120°C przez 24 h. Po ochłodzeniu roztworu do temperatury pokojowej mieszaninę sączono pod zmniejszonym ciśnieniem, przemywając 100 ml DMF oraz 200 ml CHCl₃. Otrzymane ciało stałe suszono w temperaturze 70°C przez 2 h.

2.2. CHARAKTERYSTYKA

Proszkową dyfraktometrię rentgenowską wykonano w zakresie 5–80° z krokiem 0,03° przy użyciu dyfraktometru X'Pert Pro (PANalytical) z promieniowaniem Cu K α ($\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$). Do analizy wyników wykorzystano program X'Pert HighScore Plus.

Skaningową mikroskopię elektronową wykonano za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego Jeol JSM-6610LVnx z napięciem przyspieszającym od 300 V do 300 kV.

Adsorpcję N₂ w 77 K wykonano za pomocą urządzenia Autosorb 1C (Quantachrome Instruments). Przed wykonaniem analizy próbkę odgazowano w próżni w 100°C przez 12 h. Wielkość powierzchni właściwej została oznaczona metodą BET, a całkowitą objętość porów – wyznaczono z wykorzystaniem objętości N₂ zaadsorbowanej w ciśnieniu $p/p_0 = 0,99$.

Spektroskopię rentgenowską fotoelektronów wykonano za pomocą spektrometru Thermo-Scientific K-ALPHA wyposażonego w lampę rentgenowską emitującą promieniowanie Al-K (1486,6 eV). Cylindryczny półkulistyczny analizator energii elektronów został uruchomiony w trybie stałej energii z energiami skanowania 200 eV (w celu pomiaru całego pasma energii) i 50 eV (w celu selektywnego pomiaru poszczególnych pierwiastków). Wykonano odjęcie tła i dopasowanie krzywej eksperymentalnej do kombinacji linii Lorentza (30%) i Gaussa (70%). Energie wiązania odniesiono do linii C 1s przy 284,6 eV. Ich dokładność wynosiła $\pm 0,1 \text{ eV}$.

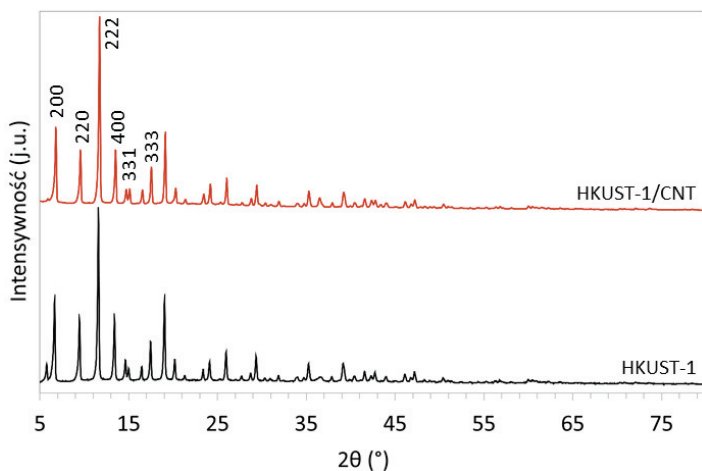
Analiza termogravimetryczna została wykonana z wykorzystaniem urządzenia Mettler-Toledo. Ubytek masy próbki rejestrowano podczas analizy wykonanej w prze-

plywie powietrza podczas ogrzewania próbki w zakresie temperatur 25–900°C z narostem 10°C/min.

3. WŁAŚCIWOŚCI FIZYKOCHEMICZNE

3.1. STRUKTURA KRystaliczna

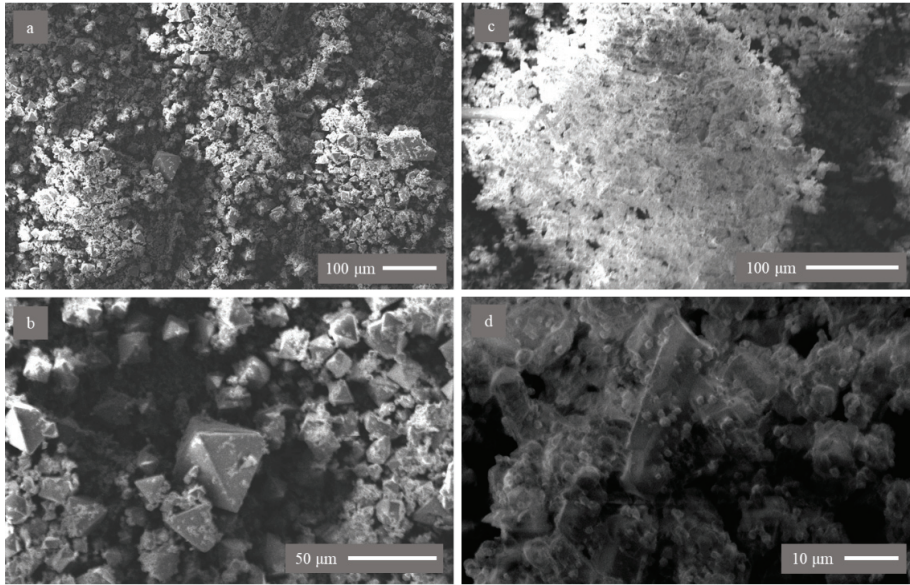
Dyfraktogramy rentgenowskie HKUST-1 i HKUST-1/CNT przedstawiono na il. 3.1. Otrzymane materiały charakteryzują się krystaliczną strukturą. Sygnały dyfrakcyjne przy 6,6°, 9,4°, 11,5°, 13,4°, 14,8° i 17,8° odpowiadają następującym płaszczyznom krystalograficznym (200), (220), (222), (400), (331) oraz (333) [17] – charakterystycznym dla HKUST-1. Położenie wymienionych sygnałów dyfrakcyjnych na dyfraktogramie HKUST-1/CNT jest identyczne jak na dyfraktogramie HKUST-1, co świadczy o tym, że zastosowanie CNT podczas syntezy nie zniszczyło struktury krystalicznej HKUST-1.



Il. 3.1. Dyfraktogramy rentgenowskie HKUST-1 i HKUST-1/CNT

3.2. MORFOLOGIA

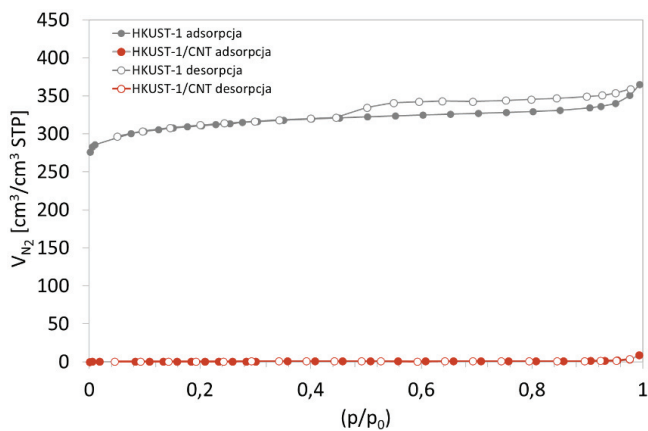
Morfologię HKUST-1 i HKUST-1/CNT obserwowano za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej. Kryształy HKUST-1 (il. 3.2a i b) mają kształt oktaedrów o średnicach 10–50 μm, kompozyt HKUST-1/CNT (il. 3.2c i d) składa się natomiast z cząstek o średnicach do 10 μm i okrągłym kształcie. W celu porównania: Liu i in. [21] oraz Sule i in. [26], którzy również prowadzili badania nad otrzymywaniem kompozytu HKUST-1/CNT, uzyskali oktaedryczne kryształy HKUST-1 o większych rozmiarach.



II. 3.2. Morfologia HKUST-1 (a, b) i HKUST-1/CNT (c, d)

3.3. WŁAŚCIWOŚCI TEKSTURALNE

Właściwości teksturalne HKUST-1 i HKUST-1/CNT (tab. 3.1) zostały określone za pomocą adsorpcji/desorpcji N_2 w temperaturze ciekłego azotu. Izoterma adsorpcji/desorpcji N_2 dla HKUST-1 (il. 3.3) zgodnie z klasyfikacją IUPAC jest izotermą I typu charakterystyczną dla materiałów mikroporowatych. Pętla histerezy, którą ob-

II. 3.3. Izoterma adsorpcji i desorpcji N_2 w standardowej temperaturze i ciśnieniu (STP) dla HKUST-1 i HKUST-1/CNT

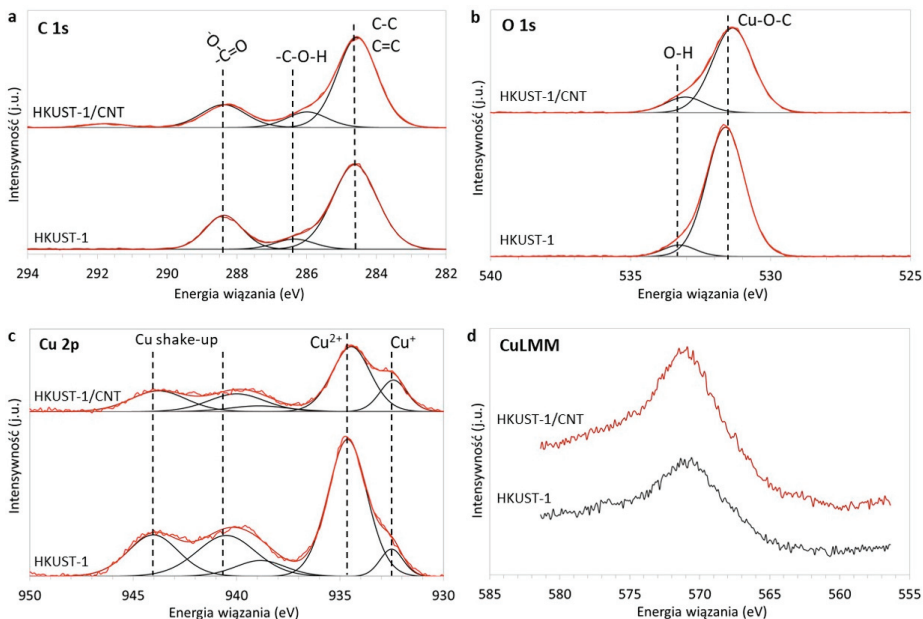
serwuje się w ciśnieniach względnych $p/p_0 > 0,4$, wskazuje na występowanie zjawiska kondensacji kapilarnej w mezoporach, co może być spowodowane obecnością defektów strukturalnych. Wielkość powierzchni właściwej S_{BET} HKUST-1 wynosi $1110 \text{ m}^2/\text{g}$ (tab. 3.1), a więc jest większa od powierzchni właściwej otrzymanej przez Chui i in. [3] i zbliżona do powierzchni odnotowanej przez Liu i in. [19]. W przeciwieństwie do rezultatów otrzymanych przez Sule i in. [26], a także Xiang i in. [31] w opisywanym przypadku zastosowanie CNT podczas syntezy skutkuje utratą porowatości próbki (il. 3.3) i drastycznym spadkiem wielkości powierzchni właściwej (tab. 3.1). Prawdopodobnie jest to spowodowane niedostatecznym usunięciem DMF z próbki.

Tabela 3.1. Właściwości teksturalne HKUST-1 i HKUST-1/CNT: powierzchnia właściwa (S_{BET}), całkowita objętość porów (V_{total}) i średnia średnica porów (d)

Próbka	S_{BET} [m^2/g]	V_{total} [cm^3/g]	d [nm]
HKUST-1	1110	0,5613	2,023
HKUST-1/CNT	1	0,0133	–

3.4. WŁAŚCIWOŚCI ELEKTRONOWE

Właściwości elektronowe HKUST-1 i HKUST-1/CNT określono za pomocą rentgenowskiej spektroskopii fotoelektronów (XPS). Widma C 1s, O 1s oraz Cu 2p



Il. 3.4. XPS C 1s (a), O 1s (b), Cu 2p (c) i widmo Augera CuLMM (d) HKUST-1 i HKUST-1/CNT

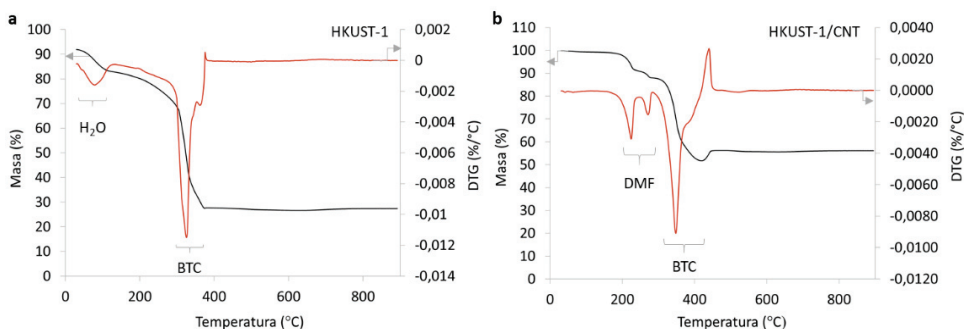
(il. 3.4a–c) umożliwią określenie stanów elektronowych C, O i Cu w otrzymanych próbkach.

Na widmie C 1s widoczne są piki przy 285,3, 286,5 oraz 288,6 eV, które odpowiadają kolejno wiązaniom C–C/C=C, C–O–H oraz O=C–O w linkerze organicznym [5]. Widmo O 1s przedstawia piki charakterystyczne dla dwóch form tlenu, tj. C–O–Cu przy ok. 531,5 eV oraz O–H przy ok. 533,2 eV [15, 38]. Widmo XPS Cu 2p również składa się z kilku pików i wskazuje na dominację Cu^{2+} w otrzymanych próbkach (pik przy 934,5 eV oraz satelita przy 944 eV). Obecność Cu^+ potwierdza pik przy 932,5 eV, satelita przy 940,5 eV, a także pik Augera CuLMM (il. 3.4d) przy 571,5 eV. Ze względu na brak sygnału przy ok. 569,5 eV (pik Augera dla Cu^0), można założyć, że Cu^0 nie jest obecne w żadnej z próbek.

Stosunek $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^+$ w otrzymanych próbkach wynosi 2,44 (HKUST-1) oraz 1,99 (HKUST-1/CNT). Większy udział jonów Cu^+ w przypadku kompozytu HKUST-1/CNT wskazuje na większą zawartość defektów strukturalnych w materiale hybrydowym niż w konwencjonalnym HKUST-1.

3.5. ODPORNOŚĆ TERMICZNA

Odporność termiczna HKUST-1 i HKUST-1/CNT została zbadana za pomocą analizy termograwimetrycznej – uzyskane wyniki przedstawiono na il. 3.5. W przypadku HKUST-1 pierwszy ubytek masy miał miejsce w temperaturze ok. 100°C, co można przypisać usunięciu wody zaadsorbowanej w próbce. Znaczny ubytek masy z maksimum w temperaturze 330°C jest natomiast wynikiem rozkładu termicznego linkera BTC. W przypadku analizy TGA/DTG dla próbki HKUST-1/CNT obserwuje się ubytek masy w temperaturze 220°C i 280°C, co można przypisać odpowiednio desorpcji cząsteczek DMF zaadsorbowanych na CNT oraz usuwaniem cząstek DMF skoordynowanych na zdeformowanych klastrach Cu^{2+} . Z kolei gwałtowny spadek masy w temperaturach 284–416°C wynika z rozkładu termicznego linkera BTC. Można zatem zauważyć, że wprowadzenie CNT zwiększa odporność termiczną HKUST-1.



Il. 3.5. Wykresy TGA (czarny) i DTG (czerwony): a) HKUST-1, b) HKUST-1/CNT

Zarówno w przypadku próbki HKUST-1, jak i HKUST-1/CNT po spaleniu części organicznej (BTC), tj. odpowiednio ok. 380°C i 450°C, obserwuje się przyrost masy, który jest związany z utlenianiem Cu z do CuO. Zjawisko to jest widoczne przede wszystkim dla kompozytu HKUST-1/CNT, ponieważ ze względu na mniejszy rozmiar krystalitów HKUST-1 (jak wykazały obserwacje SEM) w tej próbce więcej cząstek Cu było wyeksponowanych na działanie powietrza.

Ubytek masy (tab. 3.2) wynikający z rozkładu linkerów organicznych wynosi 44,12%, co jest wartością wyższą niż typowy spadek masy notowany w przypadku materiału HKUST-1 [18]. Może być to spowodowane obecnością defektów w strukturze krystalicznej, np. wakancjami w klastrach metalicznych Cu. W przypadku kompozytu HKUST-1/CNT ubytek masy spowodowany rozkładem termicznym BTC wynosi 31,78%.

Tabela 3.2. Temperatury rozkładu i ubytek masy wynikający z rozkładu linkera BTC podczas ogrzewania HKUST-1 i HKUST-1/CNT

Próbka	Temperatura rozkładu [°C]	Ubytek masy [%]
HKUST-1	204–377	44,12
HKUST-1/CNT	284–416	31,78

4. WNIOSKI

W niniejszym rozdziale przedstawiono metodę syntezy i charakterystykę fizykochemiczną HKUST-1 oraz jego kompozytu z nanorurkami węglowymi. Oba materiały zostały z powodzeniem otrzymane metodą solwotermalną. Zaobserwowano, że materiał hybrydowy HKUST-1/CNT ma strukturę krystaliczną charakterystyczną dla HKUST-1. Dodatkowo zauważono, że zastosowanie CNT powoduje zmniejszenie średnicy kryształów w porównaniu do czystego HKUST-1 (zdyspergowanie cząstek szkieletu metalo-organicznego przez CNT). Widma XPS wskazały, że zarówno HKUST-1, jak i kompozyt HKUST-1/CNT zawierają wiązania występujące w BTC, tj. C–C/C=C, C–O–H, O=C–O i O–H, a także C–O–Cu w węzłach typu *paddle-wheel*. W obu materiałach odnotowano także obecność centrów miedziowych Cu²⁺ i Cu⁺. Zaobserwowano, że wykorzystanie CNT podczas syntezy powoduje zmniejszenie stosunku Cu²⁺/Cu⁺, co wskazuje na większą zawartość defektów strukturalnych w materiale hybrydowym niż w konwencjonalnym HKUST-1. Zauważono także pozytywny wpływ zastosowania CNT na wytrzymałość termiczną materiału, ale także zanotowano utratę porowatości kompozytu.

Stwierdzono, że materiały hybrydowe HKUST-1/CNT są obiecującymi prekursorami katalizatorów miedziowych dobrze zdyspergowanych na szkieletach węglowych. Ze względu na możliwość otrzymania nanokryształów Cu, Cu₂O lub CuO w wyniku

pirolizy części organicznej (BTC), karbonizacja HKUST-1/CNT doprowadzi do uzyskania katalizatora z dużo lepiej zdyspergowanymi centrami aktywnymi niż w przypadku pirolizy czystego HKUST-1. Dodatkowo, obecność nośnika węglowego (CNT) zapewnia dobre przewodnictwo ciepła i ładunku, poprawia wytrzymałość termiczną oraz hydrofobowość otrzymanego katalizatora. Interesującym zastosowaniem dla katalizatora miedziowego uzyskanego w ten sposób może być reakcja otrzymywania *p*-hydroksyfenyloetanolu, który jest ważnym półproduktem w przemyśle farmaceutycznym.

LITERATURA

- [1] Al-Janabi N., Hill P., Torrente-Murciano L., Garforth A., Gorgojo P., Siperstein F., Fan X., *Mapping the Cu-BTC metal-organic framework (HKUST-1) stability envelope in the presence of water vapour for CO₂ adsorption from flue gases*, „Chem. Eng. J.” 2015, 281, s. 669–677.
- [2] Arzehgar Z., Sajjadifar S., Arandiyani H., *HKUST-1 as an efficient and reusable heterogeneous catalyst for synthesis of 1,4-dihydropyridine at room temperature*, „Asian J. Green Chem.” 2018.
- [3] Chui S.S.-Y., Lo S.M.-F., Charmant J.P.H., Orpen A.G., Williams I.D., *A Chemically Functionalizable Nanoporous Material [Cu₃(TMA)₂(H₂O)₃]_n*, „Science” 1999, 283, s. 1148–1150.
- [4] Eddaoudi M., Moler D.B., Li H., Chen B., Reineke T.M., O’Keeffe M., Yaghi O.M., *Modular Chemistry: Secondary Building Units as a Basis for the Design of Highly Porous and Robust Metal-Organic Carboxylate Frameworks*, „Acc. Chem. Res.” 2001, 34, s. 319–330.
- [5] Fan C., Dong H., Liang Y., Yang J., Tang G., Zhang W., Cao Y., *Sustainable synthesis of HKUST-1 and its composite by biocompatible ionic liquid for enhancing visible-light photocatalytic performance*, „J. Clean. Prod.” 2019, 208, s. 353–362.
- [6] Furukawa H., Cordova K.E., O’Keeffe M., Yaghi O.M., *The Chemistry and Applications of Metal-Organic Frameworks*, „Science” 2013, 341, s. 1230444.
- [7] Gu Z.-G., Zhang D.-X., Fu W.-Q., Fu Z.-H., Vohra M.I., Zhang L., Wöll C., Zhang J., *Facile Synthesis of Metal-Loaded Porous Carbon Thin Films via Carbonization of Surface-Mounted Metal-Organic Frameworks*, „Inorg. Chem.” 2017, 56, s. 3526–3531.
- [8] Guerrero V.V., Yoo Y., McCarthy M.C., Jeong H.-K., *HKUST-1 membranes on porous supports using secondary growth*, „J. Mater. Chem.” 2010, 20, s. 3938–3943.
- [9] Guo P., Froese C., Fu Q., Chen Y.T., Peng B., Kleist W., Fischer R.A., Muhler M., Wang Y., *CuPd Mixed-Metal HKUST-1 as a Catalyst for Aerobic Alcohol Oxidation*, „J. Phys. Chem.” 2018, C. 122, s. 21433–21440.
- [10] Guzmán-López O., Trigos Á., Fernández F.J., de Jesús Yañez-Morales M., Saucedo-Castañeda G., *Tyrosol and tryptophol produced by Ceratocystis adiposa*, „World J. Microbiol. Biotechnol.” 2007, 23, s. 1473–1477.
- [11] Hendon C.H., Walsh A., *Chemical principles underpinning the performance of the metal-organic framework HKUST-1*, „Chem. Sci.” 2015, 6, s. 3674–3683.
- [12] Isaeva V.I., Kustov L.M., *The application of metal-organic frameworks in catalysis (Review)*, „Pet. Chem.” 2010, 50, s. 167–180.
- [13] Jabbari V., Veleta J.M., Zarei-Chaleshtori M., Gardea-Torresdey J., Villagrán D., *Green synthesis of magnetic MOF-GO and MOF-CNT hybrid nanocomposites with high adsorption capacity towards organic pollutants*, „Chem. Eng. J.” 2016, 304, s. 774–783.
- [14] Kaimeng H., Siyuan C., Changjiu X., Chenhao L., Bin Z., Hongyi G., Xinxin P., Min L., Yibin L., Ge W., Xingtian S., *HKUST-1 derived Cu-CuO_x/carbon catalyst for base-free aerobic oxidative coupling of*

- benzophenone imine: high catalytic efficiency and excellent regeneration performance*, „RSC Adv.” 2020, 10, s. 36111–36118.
- [15] Kozachuk O., Yusenko K., Noei H., Wang Y., Walleck S., Glaser T., Fischer R.A., *Solvothermal growth of a ruthenium metal-organic framework featuring HKUST-1 structure type as thin films on oxide surfaces*, „Chem. Commun.” 2011, 47, s. 8509–8511.
- [16] Laouiti A., Rammah M.M., Rammah M.B., Marrot J., Couty F., Evano G., *Copper-Catalyzed Oxidative Alkynylation of Diaryl Imines with Terminal Alkynes: A Facile Synthesis of Ynimines*, „Org. Lett.” 2012, 14, s. 6–9.
- [17] Lin K.-S., Adhikari A.K., Ku C.-N., Chiang C.-L., Kuo H., *Synthesis and characterization of porous HKUST-1 metal-organic frameworks for hydrogen storage*, „Int. J. Hydrog. Energy” 2012, 37, s. 13865–13871.
- [18] Liu B., Li Y., Cheun Oh S., Fang Y., Xi H., *Fabrication of a hierarchically structured HKUST-1 by a mixed-ligand approach*, „RSC Adv.” 2016, 6, s. 61006–61012.
- [19] Liu Q., Jin L.-N., Sun W.-Y., *Facile fabrication and adsorption property of a nano/microporous coordination polymer with controllable size and morphology*, „Chem. Commun.” 2012, 48, s. 8814–8816.
- [20] Liu Y., Li G., Fu J., Chen Z., Peng X., *Strings of Porous Carbon Polyhedrons as Self-Standing Cathode Host for High-Energy-Density Lithium-Sulfur Batteries*, „Angew. Chem. Int. Ed.” 2017, 56, s. 6176–6180.
- [21] Liu Y., Li G., Guo Y., Ying Y., Peng X., *Flexible and Binder-Free Hierarchical Porous Carbon Film for Supercapacitor Electrodes Derived from MOFs/CNT*, „ACS Appl. Mater. Interfaces” 2017, 9, s. 14043–14050.
- [22] Ma L., Lin W., *Designing Metal-Organic Frameworks for Catalytic Applications*, [w:] *Funct. Met.-Org. Framew. Gas Storage Sep. Catal.*, M. Schröder (ed.), Springer, Berlin 2010, s. 175–205.
- [23] Mao Y., Li G., Guo Y., Li Z., Liang C., Peng X., Lin Z., *Foldable interpenetrated metal-organic frameworks/carbon nanotubes thin film for lithium-sulfur batteries*, „Nat. Commun.” 2017, 8, s. 14628.
- [24] Shen K., Chen X., Chen J., Li Y., *Development of MOF-Derived Carbon-Based Nanomaterials for Efficient Catalysis*, „ACS Catal.” 2016, 6, s. 5887–5903.
- [25] Stawowy M., Jagódka P., Matus K., Samojeden B., Silvestre-Albero J., Trawczyński J., Łamacz A., *HKUST-1-Supported Cerium Catalysts for CO Oxidation*, „Catalysts” 2020, 10, s. 108.
- [26] Sule R., Mishra A.K., *Synthesis of Mesoporous MWCNT/HKUST-1 Composite for Wastewater Treatment*, „Appl. Sci.” 2019, 9, s. 4407.
- [27] Tian N., Gao Y., Wu J., Luo S., Dai W., *Water-resistant HKUST-1 functionalized with polydimethylsiloxane for efficient rubidium ion capture*, „New J. Chem.” 2019, 43, s. 15539–15547.
- [28] Toyao T., Styles M.J., Yago T., Sadiq M.M., Riccò R., Suzuki K., Horiuchi Y., Takahashi M., Matsuoka M., Falcaro P., *Fe₃O₄-HKUST-1 and Pd/Fe₃O₄-HKUST-1 as magnetically recyclable catalysts prepared via conversion from a Cu-based ceramic*, „Cryst. Eng. Comm.” 2017, 19, s. 4201–4210.
- [29] Wang G., Chen L., Sun Y., Wu J., Fu M., Ye D., *Carbon dioxide hydrogenation to methanol over Cu/ZrO₂/CNTs: effect of carbon surface chemistry*, „RSC Adv.” 2015, 5, s. 45320–45330.
- [30] Wang J., Rao M., Ye C., Qiu Y., Su W., Zheng S., Fan J., Cai S., Zhang W.-G., *Cu-MOF derived Cu-C nanocomposites towards high performance electrochemical supercapacitors*, „RSC Adv.”, 2020, 10, s. 4621–4629.
- [31] Xiang Z., Hu Z., Cao D., Yang W., Lu J., Han B., Wang W., *Metal-Organic Frameworks with Incorporated Carbon Nanotubes: Improving Carbon Dioxide and Methane Storage Capacities by Lithium Doping*, „Angew. Chem. Int. Ed.”, 2011, 50, s. 491–494.
- [32] Xiang Z., Peng X., Cheng X., Li X., Cao D., *CNT-Cu₃(BTC)₂ and Metal-Organic Frameworks for Separation of CO₂/CH₄ Mixture*, „J. Phys. Chem. C.” 2011, 115, s. 19864–19871.
- [33] Yang S.J., Choi J.Y., Chae H.K., Cho J.H., Nahm K.S., Park C.R., *Preparation and Enhanced Hydrostability and Hydrogen Storage Capacity of CNT-MOF-5 Hybrid Composite*, „Chem. Mater.” 2009, 21, s. 1893–1897.

- [34] Yang W., Li X., Li Y., Zhu R., Pang H., *Applications of Metal-Organic-Framework-Derived Carbon Materials*, „Adv. Mater.”, 2019, 31, s. 1804740.
- [35] Ye J., Liu C., $Cu_3(BTC)_2$: *CO oxidation over MOF based catalysts*, „Chem. Commun.”, 2011, 47, s. 2167–2169.
- [36] Yopez R., García S., Schachat P., Sánchez-Sánchez P., González-Estefan J.H., González-Zamora E., Ibarra I.A., Aguilar-Pliego J., *Catalytic activity of HKUST-1 in the oxidation of trans-ferulic acid to vanillin*, „New J. Chem.”, 2015, 39, s. 5112–5115.
- [37] Zhang X., Chen A., Zhong M., Zhang Z., Zhang X., Zhou Z., Bu X.-H., *Metal-Organic Frameworks (MOFs) and MOF-Derived Materials for Energy Storage and Conversion*, „Electrochem. Energy Rev.” 2019, 2, s. 29–104.
- [38] Zhou L., Niu Z., Jin X., Tang L., Zhu L., *Effect of Lithium Doping on the Structures and CO_2 Adsorption Properties of Metal-Organic Frameworks HKUST-1*, „ChemistrySelect” 2018, 3, s. 12865–12870.

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF MOF/CNT COMPOSITE

One of the most widely used metal-organic frameworks (MOF) is HKUST-1. It is characterized by a large specific surface, permanent porosity and thermal and chemical resistance. An additional advantage of HKUST-1 is the presence of paddle-wheel nodes, which are extremely attractive from the point of view of its application, especially in catalysis. There are many possible modifications of MOF as the exchange of nodes and linkers, post-synthetic metallation, as well as the synthesis of composite materials, e.g., with carbon materials. The paper shows the method of synthesis and the properties of the HKUST-1/CNT composite. The potential use of the obtained composite in catalysis is also discussed.

Maciej RÓZIEWICZ*,
Michalina STAWOWY*, Agata ŁAMACZ*

WPLYW PARAMETRÓW SYNTEZY NA WŁAŚCIWOŚCI FIZYKOCHEMICZNE UiO-66(Ce)

Niniejszy rozdział dotyczy nowej klasy materiałów zaawansowanych, którymi są szkielety metalo-organiczne, ze szczególnym uwzględnieniem struktury UiO-66 zawierającej cer w klastrach metalicznych. Zaprezentowano w nim wyniki badań nad wpływem parametrów syntezy UiO-66(Ce) na jego właściwości fizykochemiczne oraz pojemność sorpcyjną względem CO₂, co jest istotne ze względu na możliwości jego zastosowania w procesach sorpcyjnych oraz reakcjach katalitycznej konwersji CO₂.

1. WPROWADZENIE

1.1. SZKIELETY METALO-ORGANICZNE JAKO KLASA MATERIAŁÓW ZAAWANSOWANYCH

Szkielety metalo-organiczne (MOF; ang. *metal-organic frameworks*) to zgodnie z ogólną definicją przestrzenne sieci, w których występuje część organiczna – łańcuchy węglowodorów (tzw. linkery) i część nieorganiczna – klastry metali. Części te łączą się w sposób uporządkowany i tworzą skoordynowaną sieć rozwijającą się w trzech wymiarach, zbudowaną z regularnych, powtarzających się segmentów, z czego wynika krystaliczna natura tych materiałów. Wewnątrz ich struktury występują luki – ich kształt i wielkość zależy od rodzaju jednostek budulcowych [1].

Szkielety metalo-organiczne są nową klasą materiałów. Pierwszy raz termin: „MOF” w tym znaczeniu pojawił się w publikacji w 1995 r. Od tego czasu jednak popularność tego rodzaju szkieletów stale rośnie. Według istniejących zaleceń IUPAC MOF kwalifikuje się jako trójwymiarowe polimery koordynacyjne. Do tej pory nie opracowano ujednoliconego sposobu nazywania nowo otrzymanych struk-

* Politechnika Wroclawska, Katedra Chemii i Technologii Paliw, ul. Gdańska 7/9, 50-344 Wroclaw.

tur, dlatego najczęściej nadaje się im nazwy związane z jednostkami naukowymi, w których zostały po raz pierwszy uzyskane (np. nazwa szkieletu UiO-66 pochodzi od Universitetet i Oslo, a HKUST-1 od Hong Kong University of Science and Technology) [1].

Pod względem morfologicznym MOF są ciałami krystalicznymi i porowatymi z dużymi możliwościami modyfikacji ich struktury, wprowadzania dodatkowych grup funkcyjnych lub centrów aktywnych. Większość szkieletów metalo-organicznycych ma bardzo dobrze rozwiniętą powierzchnię właściwą – w niektórych przypadkach równą kilku tysiącom metrów kwadratowych na gram (np. 7000 m²/g w przypadku NU-109E) [2]. Ważniejszą cechą jest jednak możliwość dowolnej modyfikacji struktury oraz składu, co ma ogromne znaczenie ze względu na właściwości aplikacyjne tych materiałów. Modyfikacje MOF przeprowadza się na gotowej strukturze i dotyczą one zarówno części organicznej szkieletów (tj. linkerów), jak i klastrów metalicznych. Modyfikacje takie polegają m.in. na wprowadzaniu grup funkcyjnych do struktury MOF, częściowej lub całkowitej wymianie metalu w klastrze lub wprowadzeniu dodatkowego metalu do struktury np. przez metalację linkera [3].

1.2. METODY SYNTEZY MOF

Otrzymywanie MOF jest procesem, który nie wymaga stosowania skrajnych warunków, np. wysokiej temperatury lub dużego ciśnienia. Podstawową metodą syntezy szkieletów metalo-organicznycych jest synteza solwotermalna, czyli reakcja zachodząca w podwyższonej temperaturze w środowisku rozpuszczalnika (wody, rozpuszczalnika organicznego lub mieszaniny rozpuszczalników).

Wraz ze zwiększającym się zainteresowaniem szkieletami metalo-organicznymi nastąpił znaczny rozwój metod ich otrzymywania. Niektóre techniki powstały przez rozwinięcie idei klasycznej syntezy solwotermalnej, m.in. przez wykorzystanie promieniowania mikrofalowego lub ultradźwięków. Trochę inne podejście stosuje się w metodzie mechanochemicznej polegającej na mieleniu surowców w młynie kulowym bez lub z niewielkim dodatkiem rozpuszczalnika. Z kolei w metodzie elektrochemicznej źródłem jonów metali jest roztwarzająca się anoda, a w metodzie mikrofluidalnej krystalizacja MOF zachodzi na granicy fazy wodnej i organicznej. Zwiększenie liczby dostępnych technologii umożliwiło syntezę konkretnych struktur MOF w różnych procesach i otrzymywanie produktu o zmienionych właściwościach. Dzięki doborowi odpowiedniej metody syntezy można już na etapie planowania wzmocnić lub ograniczyć konkretne cechy materiału [4].

1.3. ZASTOSOWANIE SZKIELETÓW METALO-ORGANICZNYCH

Charakterystyczne właściwości MOF, takie jak: krystaliczna struktura, porowatość, obecność grup funkcyjnych i centrów metalicznych, sprawiają, że łatwo znalaziono

dla nich zastosowanie w obszarze magazynowania i separacji gazów oraz katalizy heterogenicznej. Przykładami wykorzystania szkieletów metalo-organicznych w dwóch pierwszych obszarach są m.in. zbiorniki gazów wypełnione MOF, dzięki czemu możliwe jest zwiększenie ich pojemności, czy separacja CO₂ z gazów odlotowych oraz wody z powietrza w celu uzyskania wody pitnej. W dziedzinie katalizy heterogenicznej takie struktury mogą pełnić rolę zarówno nośnika katalitycznego (np. Cu/MOF-5 w syntezie metanolu), jak i centrów aktywnych katalitycznie [5, 6].

Szkielety metalo-organiczne ze względu na łatwość ich funkcjonalizacji mogą znaleźć zastosowanie jako nośniki leków, powłoki antykorozyjne lub sensory chemiczne [7].

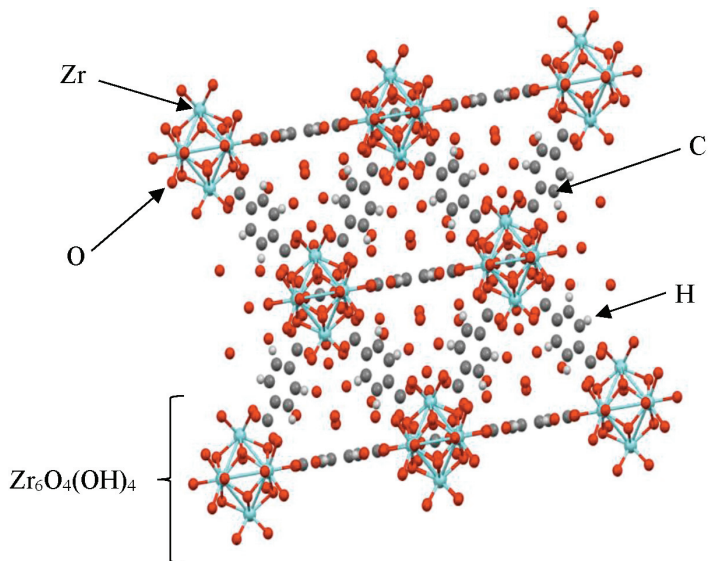
Jak dotąd większość prób aplikacji MOF prowadzona była w sferze rozważań akademickich, coraz więcej firm jednak, często ściśle współpracujących z ośrodkami naukowymi, oferuje szkielety metalo-organiczne w komercyjnych formach i ilościach. Z takich można wymienić chociażby start-upy: MOF Technologies lub NuMat Technologies, ale też dużego gracza przemysłu chemicznego jak BASF [8].

1.4. MOF O STRUKTURZE UiO-66

Duże zainteresowanie szkieletami metalo-organicznymi przełożyło się na dynamiczny wzrost liczby opisanych struktur MOF. Szacuje się, że dotychczas zgłoszono ponad 20 000 różnych materiałów. Struktura w szkieletach metalo-organicznych to sposób budowy sieci zależny od wzajemnych oddziaływań między klastrami metalicznymi i mostkami organicznymi, które zależą od rodzaju wykorzystanych do tego substancji. Inaczej mówiąc, cząsteczki jednego linkera organicznego mogą stworzyć MOF o dwóch różnych strukturach, jeśli dodamy do niego dwa różne prekursorzy metali. Zjawisko to, chociaż rzadziej, zachodzi też w drugą stronę. Dzięki temu w obrębie konkretnej struktury możliwa jest wymiana linkerów na inne bez utraty tej struktury – wykorzystuje się to do sterowania wielkością porów materiału (np. dla MOF-5) [5, 7].

Jedną z popularnych struktur MOF jest UiO-66 składający się z klastrów cyrkonowych Zr⁴⁺ połączonych cząsteczkami kwasu tereftalowego. UiO-66 ma dwa rodzaje luk strukturalnych – większą oktaedryczną i mniejszą tetraedryczną. Przykładową strukturę UiO-66 przedstawiono na il. 1.1 [9, 10].

Struktura UiO-66(Zr) świetnie sprawdzała się do rozdzielania mieszanin gazów, np. CO₂ i CH₄. W celu funkcjonalizacji tego MOF podejmowano próby wymiany Zr⁴⁺ na inne metale, m.in. Hf, Ti i Ce. Domieszki ceru są szczególnie interesujące, ponieważ cer i cyrkon wykazują duże podobieństwa w zakresie właściwości chemicznych, a jego związki ponadto – dużą aktywność katalityczną w reakcjach redox związków organicznych. UiO-66(Ce) o dobrych właściwościach mógłby zostać wykorzystany jako katalizator w reakcjach syntez organicznych (np. uwodornianie CO₂ do metanolu) [9, 10].



II. 1.1. Struktura UiO-66

2. CEL BADAWCZY

Celem badań było określenie wpływu parametrów syntezy solwotermalnej UiO-66(Ce) na jego właściwości fizykochemiczne, w szczególności krystaliczność, homogeniczność, morfologię, właściwości teksturalne, stabilność termiczną, skład chemiczny oraz pojemność sorpcyjną względem CO₂.

3. METODYKA BADAŃ

3.1. SYNTEZA I WYKORZYSTANE W NIEJ SUROWCE

Materiał UiO-66(Ce) został otrzymany metodą solwotermalną w serii syntez różniących się parametrami, m.in. zastosowanym prekursorem ceru, rozpuszczalnikiem czy czasem syntezy (tab. 3.1).

Prekursor ceru (5,322 mmol) rozpuszczono w 10 ml wody destylowanej, a kwas tereftalowy (5,322 mmol) w 30 ml rozpuszczalnika organicznego (N,N-dimetyloformamidu (DMF) albo N,N-dietyloformamidu (DEF)). Tak przygotowane roztwory połączono w naczyniu teflonowym. W jednym przypadku do mieszaniny dodano czynnik wspomagający krystalizację, tj. kwas trifluoroctowy (5,322 mmol). Następnie naczynie teflonowe umieszczono w stalowej obudowie i podgrzano do temperatury 120°C w łaźni olejowej na

mieszadłe magnetycznym lub w suszarce. Syntezy prowadzono przez 0,5 h, 17 h lub 72 h. Po tym czasie reaktor był ochładzany do temperatury otoczenia. Otrzymany krystaliczny osad był filtrowany pod zmniejszonym ciśnieniem i kilkakrotnie przemywany wodą oraz rozpuszczalnikiem organicznym stosowanym podczas syntezy.

Tabela 3.1. Zestawienie parametrów syntezy UiO-66(Ce)

Nazwa próbki	Prekursor ceru	Rozpuszczalnik	Dodatek	Mieszanie	Czas [h]
MOF-1	$(\text{NH}_4)_2\text{Ce}(\text{NO}_3)_6$	DEF	–	tak	0,5
MOF-2	$(\text{NH}_4)_2\text{Ce}(\text{NO}_3)_6$	DMF	–	tak	0,5
MOF-3	$\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	DEF	–	tak	17
MOF-4	$\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	DMF	–	tak	17
MOF-2A	$(\text{NH}_4)_2\text{Ce}(\text{NO}_3)_6$	DMF	–	tak	17
MOF-2B	$(\text{NH}_4)_2\text{Ce}(\text{NO}_3)_6$	DMF	–	nie	72
MOF-2C	$(\text{NH}_4)_2\text{Ce}(\text{NO}_3)_6$	DMF	CF_3COOH	nie	72

Kolejnym krokiem była wymiana pozostałego w porach produktu rozpuszczalnika (DMF lub DEF) na bardziej lotny, tj. chloroform. W tym celu zalano produkt syntezy 100 ml CHCl_3 i pozostawiono na 24 h. Po upływie tego czasu produkt odsączono pod zmniejszonym ciśnieniem i przemyto chloroformem, a następnie suszono w temperaturze 120°C przez kolejne 24 h.

3.2. BADANIE WŁAŚCIWOŚCI FIZYKOCHEMICZNYCH

Otrzymane materiały poddano analizom dyfrakcji promieniowania rentgenowskiego (XRD), obserwacji mikroskopowej (z zastosowaniem elektronowego mikroskopu skaningowego (SEM)), sorpcji N_2 (zgodnie z teorią Brunauera–Emmetta–Teller (BET)), rentgenowskiej spektroskopii fotoelektronów (XPS), termicznej analizie grawimetrycznej (krzywe TGA i DTG) oraz sorpcji CO_2 – w celu określenia ich właściwości fizykochemicznych.

Badanie XRD wykonano z wykorzystaniem aparatu X'Pert Pro przy następujących parametrach: promieniowanie $\text{K}\alpha$ (Cu z filtrem Ni, $\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$), zakres kątów $5\text{--}80^\circ$, z pomiarem co $0,03^\circ$.

Obserwację mikroskopową przeprowadzono z wykorzystaniem aparatu Jeol JSM-6610LVnx z napięciem przyspieszającym w zakresie 300 V–300 kV.

Sorpcję N_2 przeprowadzono przy użyciu aparatu Autosorb 1C produkcji Quantachrome Instruments w temperaturze 77 K. Przed badaniem próbki odgazowano w próżni w temperaturze 100°C przez 12 h. Powierzchnię właściwą obliczono z zastosowaniem wielopunktowej metody BET. Całkowitą objętość porów określono na podstawie poboru azotu przy ciśnieniu względnym $p/p_0 = 0,99$.

Analizę składu metodą XPS przeprowadzono przy użyciu aparatu Thermo-Scientific K-ALPHA wykorzystującym promieniowanie Al-K (1486.6 eV), wyposażonym w podwójne monochromatory krystaliczne. Energie wiązań określono z dokładnością do 0,1 eV.

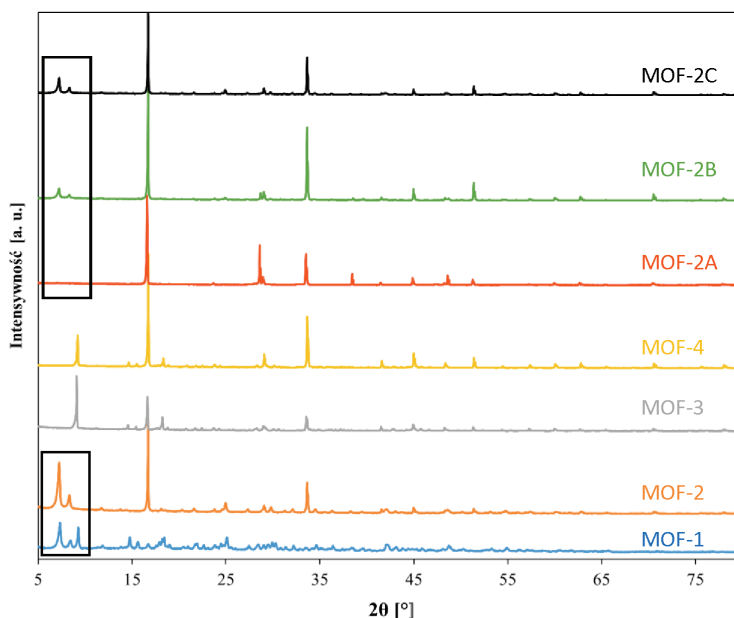
Badania termogravimetryczne (TGA) przeprowadzono z wykorzystaniem aparatu Mettler-Toledo. Zmiany masy próbki rejestrowano w przepływie powietrza w temperaturze 25–900°C, przy prędkości ogrzewania 10 °C/min.

Sorpcję CO₂ wykonano w temperaturze 273 K, pod ciśnieniem 0–100 kPa. Przed badaniem próbki odgazowano w próżni w temperaturze 100°C przez 12 h.

4. OMÓWIENIE WYNIKÓW

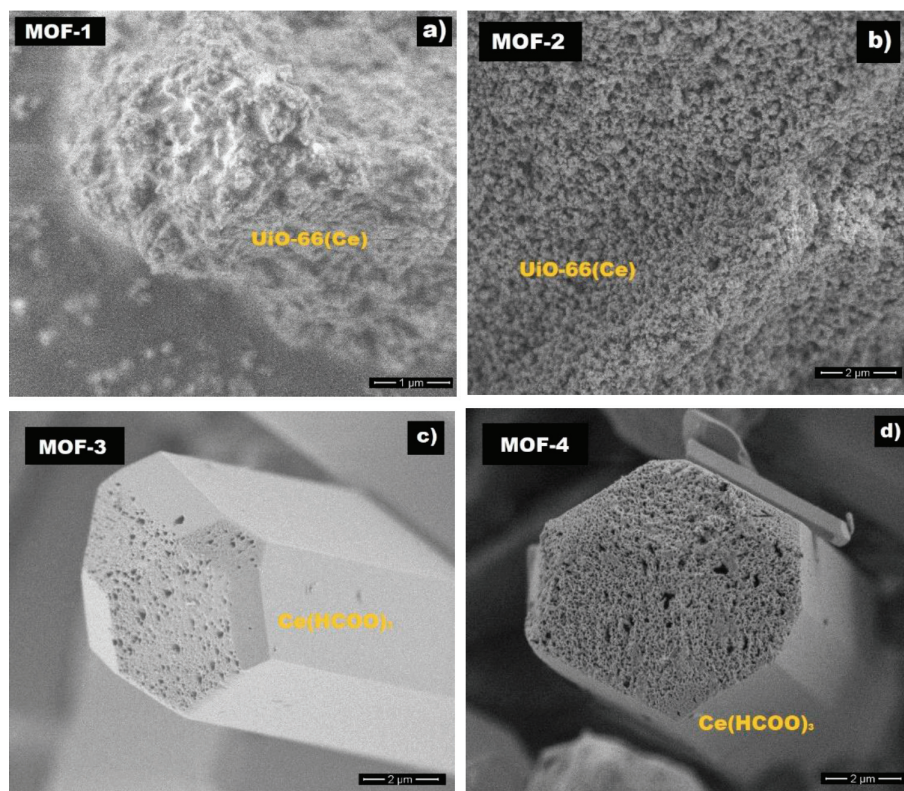
4.1. BADANIA STRUKTURY KRYSZALICZNEJ I MORFOLOGII PRODUKTÓW

Wyniki analizy XRD przedstawiono na il. 4.1. Intensywne refleksy widoczne na dyfraktogramach wszystkich próbek świadczą o tym, że produkty syntez były krystaliczne. Typowe dla struktury UiO-66 refleksy występują przy 2θ ok. 7° i 12°. Obecność tych refleksów jest obserwowana w przypadku próbek: MOF-1, MOF-2, MOF-2A, MOF-2B i MOF-2C. Intensywne refleksy natomiast przy 2θ ok. 16° i 34° – obserwowane na dyfraktogramach wszystkich próbek oprócz MOF-1 dowodzą ich niehomogeniczności związanej z wykrystalizowaniem się mrowczanu ceru(III).



Il. 4.1. Dyfraktogramy otrzymanych produktów

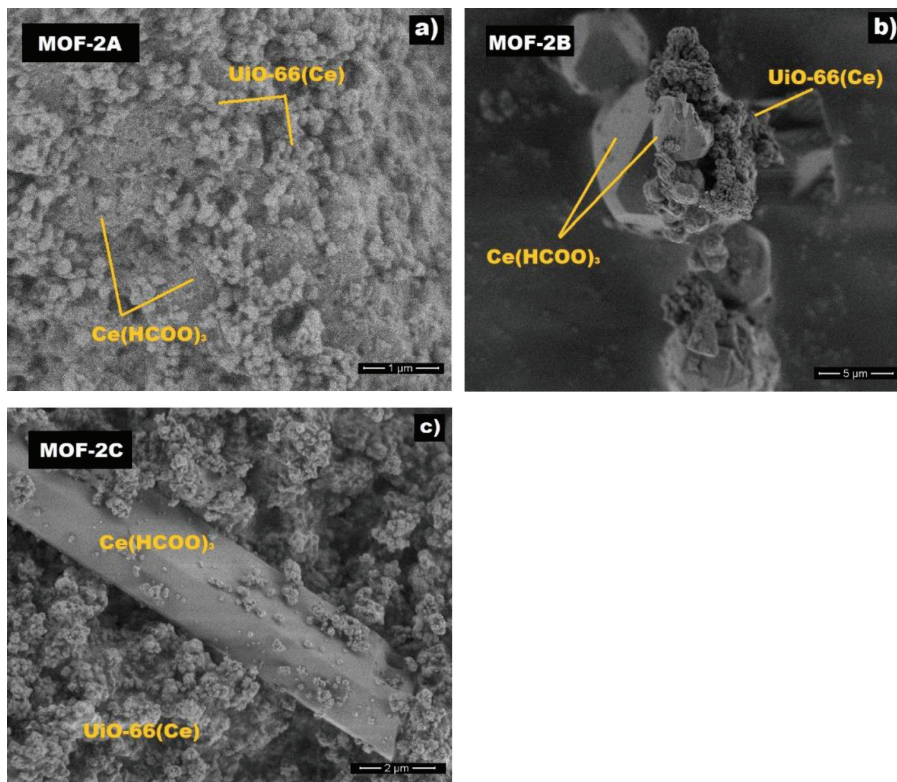
Na podstawie obserwacji mikroskopowych SEM (il. 4.2a, b) wykazano, że próbki MOF-1 i MOF-2 uzyskane w krótkich, półgodzinnych syntezach wspomaganych mieszaniem składają się z drobnokrystalicznej fazy UiO-66(Ce), której ziarna mają średnicę ok. 70–100 nm. Nie zaobserwowano wpływu zastosowanego rozpuszczalnika na morfologię UiO-66(Ce). Materiały otrzymane natomiast w długich syntezach (il. 4.2c, d), ale co najważniejsze – wykorzystujące azotan ceru(III) jako prekursor metalu – są niehomogeniczne i zawierają dużych rozmiarów cząstki mrówczanu ceru(III), co potwierdzono za pomocą XRD. Można zatem stwierdzić, że stosowanie soli Ce(III) będzie skutkowało powstaniem mrówczanu ceru(III) zamiast UiO-66(Ce), a powodzenie syntezy jest możliwe tylko dzięki zastosowaniu soli ceru na IV stopniu utlenienia jako prekursora do wytworzenia klastrów $Ce_6O_4(OH)_4(CO_2)_{12}$.



Il. 4.2. Zdjęcia SEM próbek: a) MOF-1, b) MOF-2, c) MOF-3, d) MOF-4

Modyfikacja syntezy materiału MOF-2, a konkretnie wydłużenie czasu syntezy do 17 h i 72 h skutkowało niehomogenicznym produktem, w którym oprócz drobnokrystalicznej fazy UiO-66(Ce) była obecna również faza $Ce(HCOO)_3$, co potwierdziło się w analizie XRD (il. 4.1) oraz podczas obserwacji SEM (il. 4.3). Można zatem stwier-

dzić, że wydłużenie czasu syntezy i dodatek kwasu trifluorooctowego wspomaga krystalizację niepożądanego produktu, jakim jest mrówczan ceru(III).



II. 4.3. Zdjęcia SEM próbek: a) MOF-2A, b) MOF-2B, c) MOF-2C

4.2. WŁAŚCIWOŚCI TEKSTURALNE

Wyniki analiz sorpcji N_2 w temperaturze ciekłego azotu są przedstawione w tab. 4.1. Można zauważyć, że najlepszym rozwinięciem powierzchni cechowała się próbka MOF-2 otrzymana w krótkiej syntezie (0,5 h), w środowisku DMF i wspomaganym mieszanym. Materiał uzyskany w analogiczny sposób, ale w środowisku DEF (próbka MOF-1) również charakteryzował się rozwiniętą powierzchnią właściwą, lecz jego wielkość była niespełna 2 razy mniejsza. Na podstawie obserwacji SEM wskazano, że obie próbki miały zbliżoną morfologię, różnica w ich właściwościach teksturalnych może zatem wynikać z niepełnej wymiany DEF na chloroform na etapie syntezy UiO-66(Ce), co w efekcie znacznie zmniejsza rozwinięcie powierzchni tego materiału. Długie syntezы prowadzone z wykorzystaniem $(NH_4)_2Ce(NO_3)_4$ jako prekursora ceru (MOF-2A, MOF-2B, MOF-2C) skutkowały produktami o stosunkowo niewielkiej po-

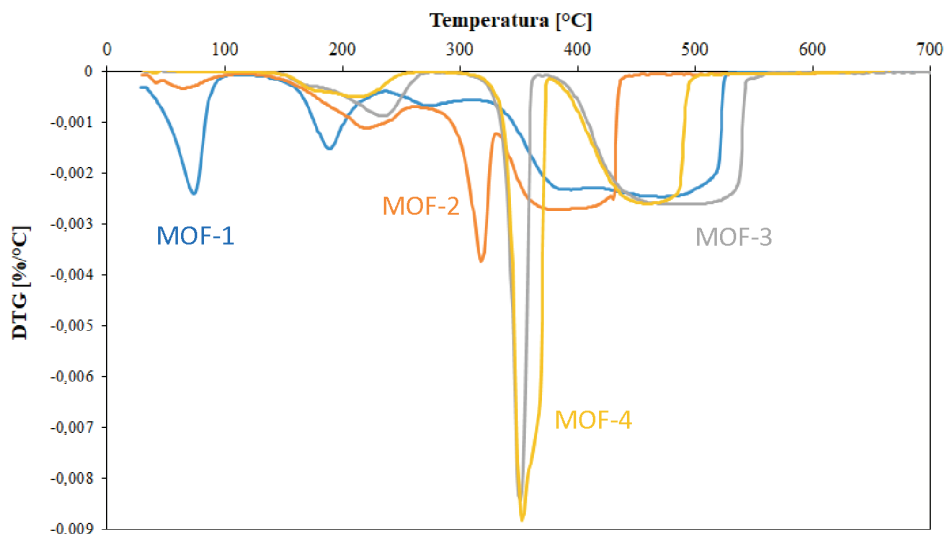
wierzchni właściwej, co wynika z ich niehomogeniczności i obecności fazy $Ce(HCOO)_3$. Można jednak zauważyć pewien wzrost rozwinięcia powierzchni właściwej materiału w przypadku zastosowania kwasu trifluorooctowego, który jest czynnikiem wspomagającym krystalizację. Brak rozwinięcia powierzchni właściwej i porowatości zaobserwowano w przypadku pozostałych próbek, tj. MOF-3 i MOF-4, otrzymanych z $Ce(NO_3)_3$.

Tabela 4.1. Wyniki badań teksturalnych metodą sorpcji N_2

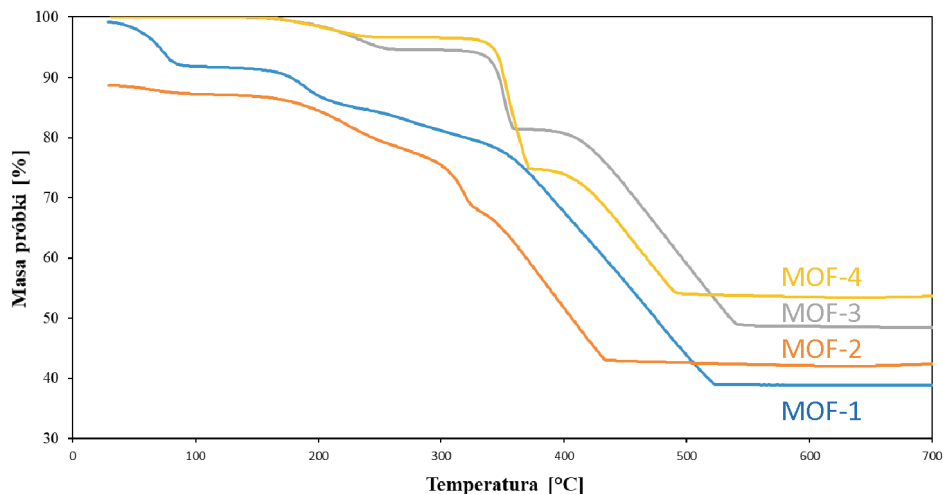
Próbka	Powierzchnia właściwa [m ² /g]	Objętość porów [cm ³ /g]	Średni rozmiar porów [nm]
MOF-1	354	0,16	6,1
MOF-2	606	0,27	4,8
MOF-3	0	–	–
MOF-4	2	–	–
MOF-2A	17	0,03	b.d.
MOF-2B	98	0,06	b.d.
MOF-2C	284	0,17	b.d.

4.3. BADANIE STABILNOŚCI TERMICZNEJ PRODUKTÓW

Na wykresie (il. 4.4) przedstawiono rezultaty przeprowadzonego TGA w atmosferze powietrza dla próbek MOF-1, MOF-2, MOF-3, MOF-4, a na il. 4.5 wyniki DTG tych



Il. 4.4. TGA próbek MOF-1, MOF-2, MOF-3, MOF-4



Il. 4.5. DTG próbek MOF-1, MOF-2, MOF-3, MOF-4

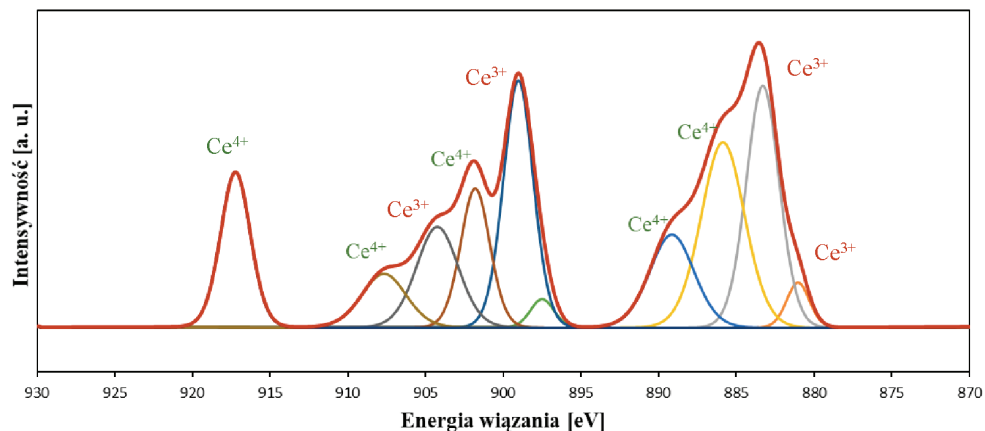
próbek. Na podstawie wykonanych badań termogravimetrycznych można stwierdzić, że próbki zawierające strukturę UiO-66(Ce) (MOF-1 i MOF-2) są termicznie stabilne do temperatury 300°C, a pozostałe próbki (MOF-3 i MOF-4) rozkładają się w temperaturze ok. 350°C. Ubytki masy w niskich temperaturach obserwowane w przypadku próbek MOF-1 i MOF-2 odpowiadają odparowaniu resztek rozpuszczalnika (chloroformu oraz DMF/DEF) z porów UiO-66(Ce), ponieważ są to nieduże ubytki, ale o dużych szybkościach. Wynika z tego również, że próbka MOF-2 była znacznie mniej zanieczyszczona w stosunku do MOF-1, a próbki MOF-3 i MOF-4 ze względu na brak porowatości nie zawierały dużej ilości rozpuszczalnika wewnątrz kryształów. Ubytki masy powyżej 300°C odpowiadają rozkładowi substancji organicznej, tj. linkera – BDC.

4.4. ANALIZA SKŁADU CHEMICZNEGO MATERIAŁÓW

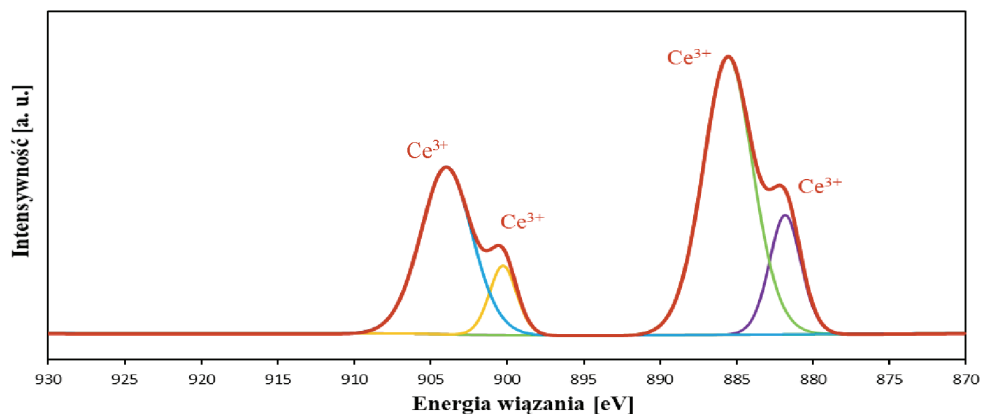
Na podstawie spektroskopii rentgenowskiej fotoelektronów (XPS) otrzymano informację na temat jakościowego składu otrzymanych próbek.

Na ilustracji 4.6 przedstawiono szczegółowe widmo XPS Ce3d dla próbki MOF-2. Analogiczne widma uzyskano dla próbek MOF-1, MOF-2A, MOF-2B oraz MOF-2C. Obserwowane na widmie piki odpowiadają dwóm różnym stanom utlenienia ceru, tj. Ce^{4+} i Ce^{3+} . Jony Ce^{4+} są skoordynowane w klastrach metalicznych, co pośrednio potwierdza istnienie struktur UiO-66(Ce) w przypadku próbek MOF-1, MOF-2, MOF-2A, MOF-2B i MOF-2C. Obecność Ce^{3+} natomiast może mieć dwie przyczyny: pierwsza z nich to obecność w próbce kryształów $Ce(CHOO)_3$, co potwierdzono za pomocą XRD

i SEM, a druga to występowanie defektów strukturalnych w samej sieci UiO-66(Ce) wynikające na przykład z niepełnego skoordynowania jonów metali z cząsteczkami linkera organicznego.



Il. 4.6. Szczegółowe widmo XPS Ce3d próbki MOF-2

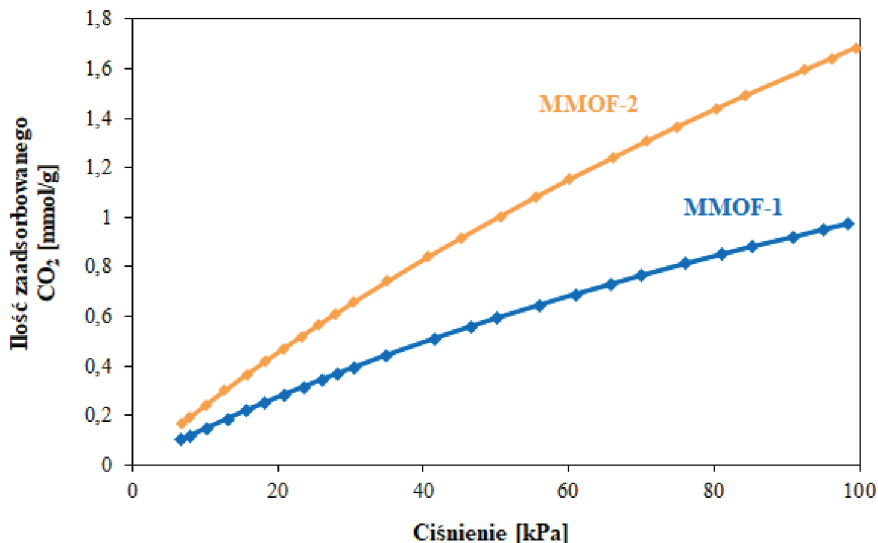


Il. 4.7. Szczegółowe widmo XPS Ce3d próbki MOF-3

Szczegółowe widmo XPS Ce3d dla próbki MOF-3 przedstawiono na il. 4.7 (analogiczne widmo uzyskano dla próbki MOF-4). W przypadku tego materiału wykryto jedynie piki odpowiadające obecności Ce³⁺. Ze względu na brak wykrycia struktury UiO-66(Ce) można stwierdzić, że obecność jonów Ce³⁺ jest związana wyłącznie z krystalizacją mrówczanu ceru(III), co również zostało potwierdzone dzięki analizom XRD i SEM.

4.5. WYZNACZANIE POJEMNOŚCI SORPCYJNEJ CO₂

Próbki materiałów o rozwiniętej powierzchni właściwej (MOF-1 i MOF-2) poddano testom sorpcji CO₂. Jak przedstawiono na il. 4.8, pojemności sorpcyjne próbek MOF-1 i MOF-2 wyniosły odpowiednio 0,97 i 1,68 mmol CO₂/g próbki. Na podstawie analiz XPS wykazano, że oba materiały zawierały w swej strukturze podobne stężenia jonów Ce³⁺ i Ce⁴⁺, dlatego większa pojemność sorpcyjna próbki MOF-2 wynika przede wszystkim z jej lepszych właściwości teksturalnych.

Il. 4.8. Wyniki adsorpcji CO₂ próbek MOF-1 i MOF-2

W celu porównania w tab. 4.2 przedstawiono ilości zaadsorbowanego CO₂ dla wybranych MOF.

Tabela 4.2. Zestawienie pojemności sorpcyjnej CO₂ próbek MOF-1 i MOF-2 z wartościami podanymi w pracy [11] dla innych szkieletów metalo-organicznych

Nazwa MOF	SSA [m ² /g]	Temperatura [K]	Ciśnienie [kPa]	Pojemność sorpcyjna [mmol CO ₂ /g]
UiO-66(Ce) – MOF-1	354	273	100	1,68
UiO-66(Ce) – MOF-2	606	273	100	0,97
CuBTC	b.d.	295	90	4,70
UiO-66(Zr)	1105	298	200	2,71
Mg-MOF-74	1495	296	100	8,0
UMCM-150	b.d.	298	100	2,32
[NH ₂ (CH ₃) ₂][Zn ₃ (BTA)(BTC) ₂ (H ₂ O)]	697	273	100	4,55

5. WNIOSKI

Przeprowadzono serię syntez mających na celu uzyskanie szkieletu metalo-organicznego UiO-66(Ce), aby zbadać wpływ parametrów tych syntez na właściwości fizykochemiczne ich produktów.

Dzięki charakterystyce fizykochemicznej obejmującej analizy XRD, SEM, sorpcję N_2 , TGA oraz XPS wykazano, że wszystkie uzyskane materiały były krystaliczne, struktura UiO-66(Ce) jednak została otrzymana tylko wtedy, kiedy prekursorem ceru była sól Ce(IV) – $(NH_4)_2Ce(NO_3)_4$. Zastosowanie soli Ce(III) natomiast skutkuje krystalizacją mrówczanu ceru. W przeprowadzonych badaniach wskazano również, że istotnym parametrem w syntezie UiO-66(Ce) jest czas syntezy, bowiem homogeniczne materiały o rozwiniętej powierzchni właściwej zostały otrzymane tylko w krótkich, półgodzinnych procedurach. Wydłużenie czasu syntezy do 17 h czy 72 h skutkowało tworzeniem się niepożądanego mrówczanu ceru, a to z kolei negatywnie wpływało na właściwości teksturalne próbek. Nie zaobserwowano wpływu rozpuszczalnika organicznego (DMF lub DEF) na właściwości fizykochemiczne UiO-66(Ce), stwierdzono jednak, że istotnym etapem w syntezie szkieletu UiO-66(Ce) jest wymiana rozpuszczalnika. Niedokładne usunięcie DMF lub DEF z porów UiO-66(Ce) negatywnie wpływa na właściwości teksturalne materiału, a to z kolei przekłada się na jego zdolności sorpcyjne. Konieczne jest zatem kilkukrotne powtórzenie etapu wymiany rozpuszczalnika oraz aktywacja termiczna produktu.

Pojemności sorpcyjne względem CO_2 w przypadku próbek otrzymanych z soli Ce(IV) i H_2BDC w środowisku DEF lub DMF (MOF-1 i MOF-2) wyniosły odpowiednio 0,97 i 1,68 mmol/g, co jest zadowalającym wynikiem.

LITERATURA

- [1] Batten S.R. et al., *Terminology of metal-organic frameworks and coordination polymers (IUPAC Recommendations 2013)*, „Pure Appl. Chem.” 2013, Vol. 85, No. 8, s. 1715–1724.
- [2] Farha O.K. et al., *Metal-Organic Framework Materials with Ultrahigh Surface Areas: Is the Sky the Limit?*, „J. Am. Chem. Soc.” 2012, 134, s. 15016–15021.
- [3] Wang Z., Cohen S.M., *Postsynthetic modification of metal-organic frameworks*, „Chem. Soc. Rev.” 2009, 38, s. 1315–1329.
- [4] Lee Y.R., Kim J., Ahn W.S., *Synthesis of metal-organic frameworks: A mini review*, „Korean J. Chem. Eng.” 2013, 30(9), s. 1667–1680.
- [5] Furukawa H. et al., *The Chemistry and Applications of Metal-Organic Frameworks*, „Science” 2013, 341, s. 974–986.
- [6] Czaja A.U., Trukhan N., Müller U., *Industrial applications of metal-organic frameworks*, „Chem. Soc. Rev.” 2009, 38, s. 1284–1293.
- [7] Silva P. et al., *Multifunctional metal-organic frameworks: from academia to industrial applications*, „Chem. Soc. Rev.” 2015, 44, s. 6774–6803.
- [8] Scott A., *Round two for MOF commercialization*, „Chemical and Engineering News” 2017, Vol. 95, Issue 24, s. 18–19.

- [9] Katz M.J. et al., *A facile synthesis of UiO-66, UiO-67 and their derivatives*, „Chem. Commun.” 2013, 49, s. 9449–9451.
- [10] Lammert M. et al., *Cerium-based metal organic frameworks with UiO-66 architecture: synthesis, properties and redox catalytic activity*, „Chem. Commun.” 2015, 51, s. 12578–12581.
- [11] Chen C., Lee Y.R., AHN W.S., *CO₂ Adsorption Over Metal-Organic Frameworks: A Mini Review*, „J. Nanosci. Nanotechnol.” 2016, Vol. 16, No. 5, s. 4291–4301.

IMPACT OF SYNTHESIS PARAMETERS
ON PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF UiO-66(Ce)

The paper deals with the new-class, advanced materials that are metal-organic frameworks (MOFs), with the special emphasis on the UiO-66 structure build of the Ce clusters. The results of the study on the influence of the synthesis parameters on the physicochemical properties and CO₂ adsorption capacity of UiO-66(Ce) are shown. The latter is crucial for the potential application of UiO-66(Ce) in CO₂ sorption or catalytic CO₂ conversion.

*proces logistyczny, proces produkcyjny,
zdolność produkcyjna,
system produkcyjny*

Anna HORZELA*, Jakub SEMRAU*

ANALIZA WYBRANYCH ZAGADNIĘŃ ZWIĄZANYCH Z PROCESAMI LOGISTYCZNYMI I PRODUKCYJNYMI

Istotą współczesnej logistyki jest przepływ materiałów i towarzyszący mu przepływ informacji. Spójna i uporządkowana koncepcja zarządzania procesami logistycznymi zapewnia właściwe zrozumienie istoty logistyki. Przedsiębiorstwa produkcyjne, żeby osiągnąć założone cele, kładą wielki nacisk na prawidłowe zaplanowanie produkcji. Zarządzanie wszystkimi procesami logistycznymi stanowi przykład koncepcji zarządzania procesowego przedsiębiorstwa. Filozofia zarządzania przepływem produktów zgodnie z podejściem systemowym oznacza całościowe, zintegrowane podejście do planowania, organizowania i kontrolowania procesów logistycznych. W niniejszym rozdziale postawiono sobie za cel dokonanie analizy na podstawie literatury przedmiotu wybranych zagadnień związanych z logistyką, w szczególności takich, jak: proces produkcyjny, proces logistyczny, zdolność produkcyjna, system produkcyjny.

1. WSTĘP

Zmiany występujące w otoczeniu oraz zmiany powstające w przedsiębiorstwie wymuszają na nim konieczność dostosowania się do panujących warunków. Może to oznaczać potrzebę doskonalenia – jego przedmiotem mogą być zarówno materiały (produkty, funkcje, struktury) i osoby (pracownicy i kierownicy, a konkretnie ich umiejętności, postawy i zachowania), jak i procesy w przedsiębiorstwie. Analizowane w rozdziale procesy logistyczne wspierają procesy podstawowe przedsiębiorstwa i podlegają ciągłym usprawnieniom. Doskonalenie procesów logistycznych może mieć charakter bieżących korekt i/lub poważnych zmian. Niezwykle istotne staje się właściwe zarządzanie procesami logistycznymi oraz produkcyjnymi w przedsiębiorstwie. W konsekwencji w optymalizacji procesów logistycznych przedsiębiorstwa mogą być zastosowane równocześnie różne koncepcje, m.in.: zarządzania projektami, zarządzania

* Politechnika Śląska, Wydział Organizacji i Zarządzania, ul. Roosevelta 24–26, 41-800 Zabrze.

procesami oraz zarządzania jakością. Zaprezentowano charakterystykę procesów logistycznych, procesów produkcyjnych, zdolności produkcyjnych, sterowania produkcją oraz systemów produkcyjnych.

Niniejszy rozdział ma charakter teoretyczno-metodyczny, a do jego przygotowania wykorzystano metodę krytycznej analizy literatury przedmiotu.

2. PROCESY LOGISTYCZNE

Procesy logistyczne są uregulowanym i uporządkowanym łańcuchem operacji związanym ściśle z przepływem materiałów. Proces logistyczny bazuje na fizycznym przemieszczaniu materiałów przez następne fazy funkcjonowania przedsiębiorstwa, aby konsekwentnie prowadzić do realizacji założonego celu.

Procesy logistyczne realizowane w przedsiębiorstwach zestawione ze sobą tworzą systemy logistyczne [5]. System logistyczny jest zbiorem podsystemów, takich jak: magazynowanie, produkcja, transport, zaopatrzenie i zbyt, włącznie z występującymi relacjami między wszystkimi podsystemami oraz między ich własnościami [6].

Procesy logistyczne są wspomagane dzięki systemom informatycznym, m.in. SAP ERP. Zachodzące procesy logistyczne w przedsiębiorstwach produkcyjnych ściśle się wiążą i z dostawcami materiałów, i z dostawcami informacji. Obecnie większość procesów logistycznych poddawanych jest outsourcingowi, czyli przekazywaniu określonych czynności firmom zewnętrznym z lepiej przygotowanymi procesami logistycznymi, co może zagwarantować przedsiębiorstwu lepszą cenę, jakość i terminowość. Efektem końcowym jest zorganizowanie przez przedsiębiorstwo zewnętrzne magazynowania produktu, transportu wraz z całą obsługą, w ilości, jakości, terminie, zgodnie z życzeniami klienta [5].

Wszystkie procesy i czynności logistyczne (tab. 2.1) zachodzące w przedsiębiorstwie powinny być tworzone zgodnie z zasadą 7 Right definiującą obchodzenie się z materiałem w taki sposób, aby zostały zrealizowane podstawowe działania założone przez przedsiębiorstwo, czyli [6]:

- *right product* – właściwy produkt,
- *right quantity* – właściwa ilość,
- *right conditio* – właściwy stan,
- *right place* – właściwe miejsce,
- *right time* – właściwy czas,
- *right customer* – właściwy klient,
- *right price* – właściwa cena.

Procesy występujące w logistyce charakteryzują się następującymi cechami [4]:

- służą realizacji zadań,
- powodują koszty transformacji obiektów,
- mają charakter kreatywny i integracyjny,

- tworzą całość,
- umożliwiają przetworzenie elementów i czynników wejściowych w elementy wyjściowe tworzące wartość dla klienta.

Tabela 2.1. Procesy i czynności logistyczne [13, s. 27]

Procesy	Czynności
Magazynowanie	<ul style="list-style-type: none"> • kompletacja, przyjmowanie, wydanie materiałów do i z magazynu • określenie zapotrzebowania na wykorzystanie powierzchni magazynowej • zaplanowanie rozmieszczenia zapasów
Gospodarka odpadami	<ul style="list-style-type: none"> • wybór opakowań ułatwiających transport i załadunek
Logistyczna obsługa klienta	<ul style="list-style-type: none"> • ustalenie poziomu obsługi klienta • ustalenie zakresu potrzeb klientów przedsiębiorstwa • przewidywanie reakcji klienta na system obsługi
Transport	<ul style="list-style-type: none"> • kontrola stawek transportowych • opracowanie harmonogramu ruchu pojazdów • wybór infrastruktury transportowej • ustalenie sieci przewozu • poziom usług transportowych • wybór rodzaju transportu
Kształtowanie poziomu i struktury zapasów	<ul style="list-style-type: none"> • opracowanie prognoz sprzedaży • określenie rozmiaru, lokalizacji i liczby magazynów • sformułowanie polityki zapasów materiałów, wyrobów gotowych i surowców • określenie struktur magazynowych

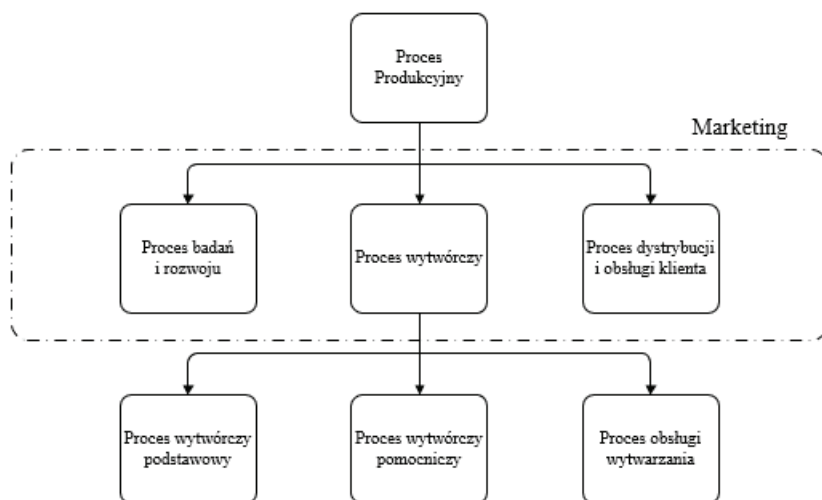
Planowanie procesów logistycznych oznacza wzięcie odpowiedzialności za przyszłe wykonywane działania. Można je potraktować jako przeciwieństwo natychmiastowych działań, w których podejmowane decyzje są spontaniczne bez wcześniejszego zastanowienia i bez przewidzenia konsekwencji. Na początku planowania należy uwzględnić osiągnięcie określonych celów. Podczas planowania procesów logistycznych trzeba zweryfikować wartości rzeczywiste z planowanymi. A ze względu na pojawiające się odchylenia trzeba zabezpieczyć rezerwy, które są niezbędne do ich pokrycia [7]. Na planowanie procesów logistycznych składa się [7]:

- skrupulatne wyznaczenie celów,
- identyfikacja przyczyn warunkujących działalność,
- wykaz problemów,
- wyznaczenie przedsięwzięć podlegających planowaniu,
- wskazanie zasobów potrzebnych do wykonania planu,
- termin realizacji,
- wykonawcy,
- znaczenie oczekiwanych wyników.

Po przeanalizowaniu definicji procesów logistycznych, składników oraz ich rodzajów można stwierdzić, że procesy logistyczne polegają na przemieszczaniu fizycznym dóbr oraz informacji z nimi związanych. Podczas tych procesów występują dalsze transformacje produktu, czyli tworzenie wartości dodanej dzięki czynnościom, takim jak: pakowanie, metkowanie, znakowanie, przygotowanie dokumentacji przewozowej, opracowanie zamówień [5].

3. PROCES PRODUKCYJNY

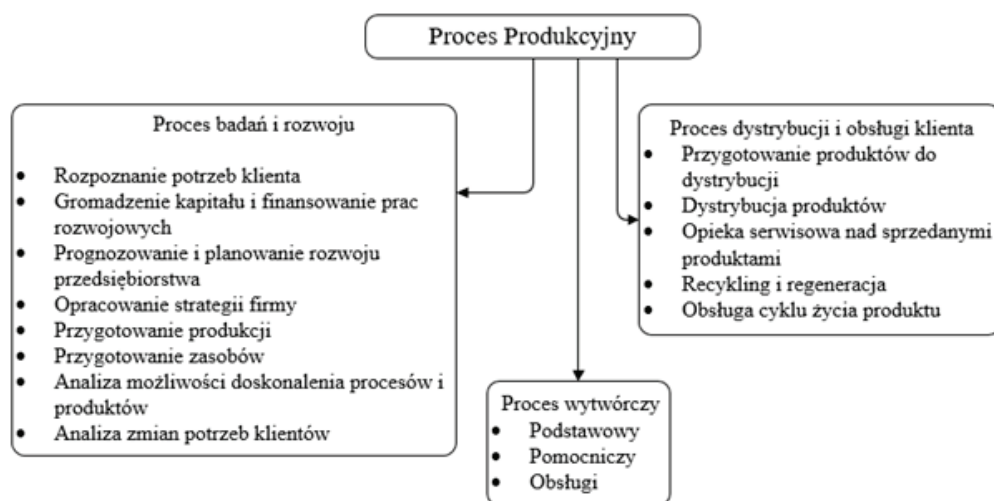
Termin „produkcja” oznacza używanie różnych środków technicznych, materiałów i usług w celu stworzenia nowych produktów pożądaných przez klienta [3]. Proces produkcyjny jest natomiast procesem ewolucji elementów wejścia systemu produkcyjnego w elementy wyjścia systemu produkcyjnego. To zespół uporządkowanych działań, czynności i operacji, których celem jest wytworzenie produktu pożądanego przez klienta, użytkownika. W przedsiębiorstwie przemysłowym do procesu produkcyjnego będą zaliczane wszystkie czynności – od pobrania materiałów wejściowych i surowców z magazynu, przez czynności kontrolne, transportowe, magazynowe i technologiczne, aż do dostarczenia gotowego produktu włącznie [11]. Strukturę procesu produkcyjnego przedstawiono na il. 3.1.



Il. 3.1. Struktura procesu produkcyjnego [3, s. 33]

W skład procesu produkcyjnego wchodzi: procesy wytwórcze, proces rozwoju i badań, proces obsługi klienta i dystrybucji [3]. Proces wytwórczy dotyczy wytworzenia produktu, czyli przetworzenia składowych produkcji w usługi i wyroby gotowe. W jego

skład wchodzi harmonogramowanie operatywne, planowanie operacji, sterowanie ilością i jakością wytwarzania [3]. Proces badań i rozwoju we wszystkich trzech obszarach: organizacyjnym, konstrukcyjnym i technologicznym odnosi się do przygotowania produkcji. Dotyczy finansowania przedsiębiorstwa, prognozowania i planowania strategicznego, szkolenia personelu, gromadzenia kapitału, projektowania produktu, procesu i lokalizacji oraz zapewnienia bazy surowcowej [10]. Proces obsługi klienta i dystrybucji dotyczy natomiast funkcjonowania i zorganizowania badań marketingowych, obsługi serwisowej i sprzedaży, chodzi o utworzenie kanałów dystrybucji, które mają za zadanie dostarczenie wyrobu finalnego do klientów [3, 10]. Na ilustracji 3.2 przedstawiono elementy procesu produkcyjnego.



Il. 3.2. Proces produkcyjny [10, s. 85]

Specjalizacja poszczególnych stanowisk roboczych określa typ organizacji produkcji. Ze specjalizacją związane są poziomy stabilności oraz rodzaj wykonywanych operacji i procesów produkcyjnych. Na typ produkcji ma wpływ częstotliwość przeobrażania stanowisk roboczych w przedsiębiorstwie – odnosi się do poszczególnych stanowisk roboczych, które stanowią ogniwa produkcyjne decydujące o strukturze procesu wytwórczego [12]. Wyróżnia się trzy typy produkcji: jednostkową, seryjną i masową [3]. Produkcja jednostkowa cechuje się powtarzalnym w nieregularnych odcinkach czasu lub niepowtarzalnym wytwarzaniem kilku lub jednej sztuki wyrobów. Występuje wtedy, kiedy popyt został błędnie oszacowany, zapotrzebowanie jest jednorazowe, a normalizacja produkcji i specjalizacja zakładów ograniczona. Podczas planowania produkcji ujawnia się: duży zakres przygotowań, nierównomierne wykorzystanie zdolności produkcji, wymóg zatrudnienia wykwalifikowanej kadry specjali-

stów, różnorodność wyrobów, wzrost powierzchni magazynowych, niska efektywność oraz wydajność produkcji, różnorodność operacji i czynności, wydłużenie cyklu produkcyjnego [3]. Produkcja seryjna charakteryzuje się okresowym wytwarzaniem określonej liczby jednakowych wyrobów. Jej rozpoczęcie nie jest zależne od liczby wyrobów, lecz od okresowości ich powtarzania i podobieństwa. Do stabilizacji produkcji prowadzi ograniczenie wytwarzanych wyrobów. Produkcję seryjną charakteryzuje zwiększona częstotliwość operacji wykonywanych na poszczególnych stanowiskach roboczych. Dzięki niej zwiększa się wydajność pracy oraz możliwość automatyzacji i mechanizacji procesów produkcyjnych, zmniejsza czas bezczynności maszyn i przerw w pracy, rosną umiejętności pracowników i zwiększa się specjalizacja poszczególnych stanowisk roboczych [3]. Produkcję masową cechuje stały asortyment produkcji w ciągu długiego okresu czasu. W produkcji masowej istotna jest ciągłość wytwarzania oraz powtarzalność czynności na poszczególnych stanowiskach roboczych. Charakteryzuje się ona pełną automatyzacją i mechanizacją procesów produkcyjnych, specjalistycznym wyposażeniem, brakiem przebrojeń, dobrą gospodarką zapasami i sprawnym zaopatrzeniem materiałowym [8].

Proces produkcyjny i jego struktura różnią się w różnych branżach i gałęziach przemysłu. Inne procesy występują w przemyśle hutniczym, zupełnie inne w maszynowym. Różnica wynika z odmiennych wytwarzanych produktów i technologii wymaganych do ich wytworzenia. Aby można było przystąpić do projektowania produkcji lub do jej rozpoczęcia, organizator produkcji musi poznać szczegółową charakterystykę techniczną produkowanych wyrobów.

Proces produkcyjny ze względu na jego przebieg w czasie i ciągłość to proces ciągły lub dyskretny [3]. Procesy ciągłe oznaczają trwałe połączenie z maszynami związanymi z produkcją, która przeważnie jest zautomatyzowana stałymi układami. Procesy produkcyjne ciągłe są charakterystyczne w przypadku ciężkiego przemysłu cementowego, energetycznego, ciepłowniczego, chemicznego oraz petrochemicznego. Przeważnie funkcjonuje bez przerw i przestojów w całodobowym cyklu pracy. Procesy dyskretny z kolei są elastycznymi zbiorami operacji określonymi logicznie w przestrzeni i w czasie, o niestąlej strukturze dopasowanej do charakterystyki jakościowo-

Tabela 3.1. Klasyfikacja procesu produkcyjnego wg wybranych kryteriów [3, s. 30]

Klasyfikacja wg rodzaju zastosowanej technologii	Klasyfikacja wg cech organizacyjnych	Klasyfikacja wg zastosowanych środków pracy
Proces montażu	w ujęciu produkowanego wyrobu	zintegrowane komputerowo
Demontaż	w ujęciu technologii grupowej	wspomagane komputerowo
Proces wydobywczy	w ujęciu komórki produkcyjnej	zautomatyzowane
Proces obróbkowy		ręczne
Proces przetwórczy		maszynowe
Procesy biotechnologiczne i naturalne		aparaturowe

-ilościowej wytwarzanych wyrobów. Jedną ze specyficznych cech procesu dyskretnego jest konieczność uwzględnienia roli człowieka w ich konstruowaniu. Człowiek funkcjonuje przez bezpośrednią ingerencję w procesach bądź za pomocą systemu logicznego zautomatyzowanego, wspomaganego technologią komputerową. Procesy produkcyjne dyskretnie są charakterystyczne dla przemysłu samochodowego, odzieżowego, hutniczego, elektromaszynowego, poligraficznego. Procesy produkcyjne można klasyfikować również wg innych kryteriów. Szczegółowy podział zaprezentowano w tab. 3.1.

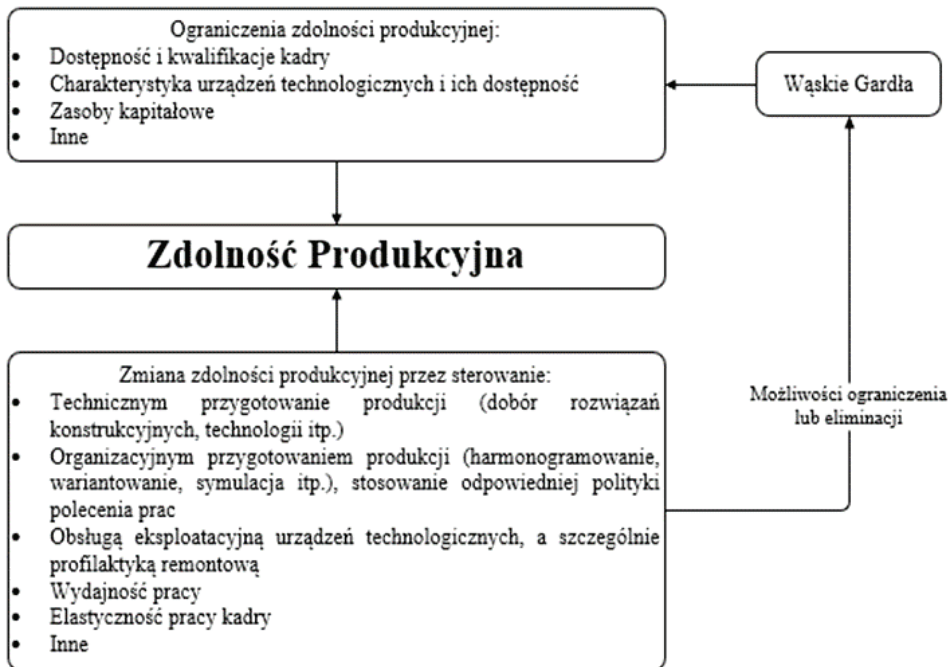
4. ZDOLNOŚĆ PRODUKCYJNA

Zdolność produkcyjna to podstawowe zagadnienie w organizacji produkcji. Jest czynnikiem, dzięki któremu określa się możliwości produkcyjne przedsiębiorstwa. Zdolność produkcyjną można zdefiniować jako możliwość wytworzenia w przedsiębiorstwie w danym okresie czasu maksymalnej liczby wyrobów zgodnie z przestrzeganymi normami jakościowymi, przy właściwym wykorzystywaniu czynników produkcyjnych i najkorzystniejszych metod wytwarzania [1]. W zależności od czasu i szczebla zarządzania wyróżnia się trzy poziomy zdolności produkcyjnej [9]:

- zdolność efektywną – przedstawiającą faktyczne wykorzystanie przedsiębiorstwa w bieżącym okresie planistycznym,
- zdolność potencjalną – przedstawiającą, co może najwyższe kierownictwo przedsiębiorstwa zaproponować w ramach swych kompetencji,
- zdolność aktualną – przedstawiającą, co można osiągnąć dzięki budżetowi zaplanowanemu na dany okres planistyczny.

Zdolność produkcyjna ustalana jest na podstawie optymalnych norm techniczno-ekonomicznych, które określają maksymalne wykorzystanie powierzchni produkcyjnej, urządzeń i maszyn z uwzględnieniem najkorzystniejszych warunków dla procesu organizacyjnego i produkcyjnego pracy. Podczas obliczania zdolności produkcyjnej brane są pod uwagę jedynie elementy wydziałów podstawowej produkcji, pozostałe – powinny zagwarantować prawidłową obsługę i przygotowanie głównego procesu produkcyjnego. Do wykonywanych obliczeń nie bierze się pod uwagę zarówno elementów wypożyczonych innym zakładom i wydziałom, jak i urządzeń i maszyn, które oddelegowane są na stałą rezerwę produkcyjną i użytkowane jedynie podczas przestoju właściwej maszyny produkcyjnej. Zdolność produkcyjna nigdy nie jest ustalana tylko raz dla danego przedsiębiorstwa, ponieważ po dłuższym okresie może wykazać ona wzrost dzięki udoskonalanym metodom wytwarzania, modernizacji, ulepszaniu konstrukcji i zmianie starych maszyn na nowe. Zdolność produkcyjna to określenie w danym przedsiębiorstwie jego możliwości produkcyjnych oraz przedstawienie przyczyn niecałkowitego wykorzystania zdolno-

ści produkcyjnej [1, 2]. Istnieje kilka ograniczeń wpływających na zdolność produkcyjną (il. 4.1).



Il. 4.1. Ograniczenia zdolności produkcyjnej [10, s. 218]

Podstawowymi czynnikami wpływającym na zdolność produkcyjną są czynniki wewnętrzne, które określają zdolność produkcyjną, czyli [3]:

- organizacja produkcji – normy techniczne dotyczące technologii produkcji, możliwe jedynie do uzyskania dzięki posiadanym maszynom, optymalnemu czasowi eksploatacji urządzeń i maszyn oraz powierzchni produkcyjnej przedsiębiorstwa w ciągu całego roku produkcyjnego i dzięki właściwemu poziomowi organizacji pracy, a także typowi produkcji;
- czynniki produkcji – posiadane urządzenia i maszyny produkcyjne przedsiębiorstwa, ich liczba, rodzaje oraz wielkość powierzchni pracy i charakterystyka techniczna;
- struktura asortymentowa produkcji – stosowane paliwo techniczne, surowce, materiały i pełen program asortymentowy produkcji.

Czynnikami zewnętrznymi wpływającymi na zdolność produkcyjną określa się czynniki makroekonomiczne, polityczne oraz popyt wyrażony asortymentem, jakością i ilością potrzebnych wyrobów [13].

5. SYSTEM PRODUKCYJNY

System produkcyjny jest celowo zorganizowanym i zaprojektowanym układem informacyjnym, materialnym i energetycznym eksploatowanym przez pracowników, wykorzystywanym do produkowania różnych wyrobów, produktów i usług w celu usatysfakcjonowania klienta. W skład systemu produkcyjnego wchodzi następujące elementy [3]:

- wejście X – czyli wszystkie czynniki produkcji,
- wyjście Y – czyli usługi, odpady produkcyjne i wyroby,
- proces produkcyjny T – w którym przetwarzane jest wejście X w wyjście Y,
- proces zarządzania systemem,
- sprzężenia informacyjne, materialne i energetyczne – czyli występujące połączenia między elementami systemu produkcyjnego.

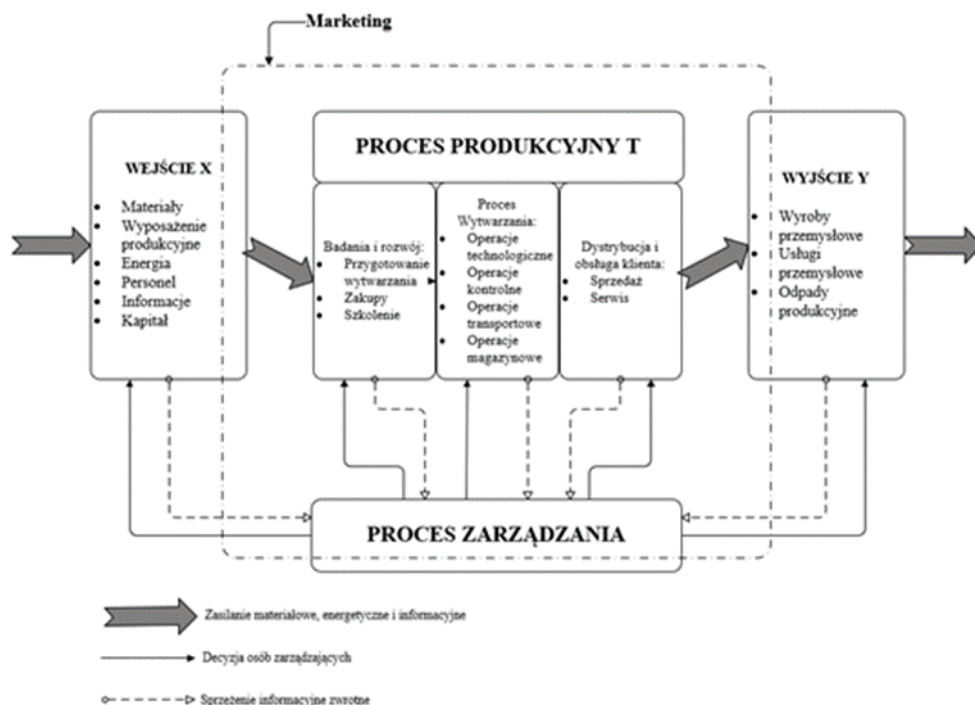
Elementy wejścia X, wyjścia Y, proces produkcyjny T oraz połączenia występujące między tymi elementami nazywane są podsystemem produkcyjnym lub przetwarzania, a wszystkie sprzężenia informacyjne wraz z procesem zarządzania systemem stanowią podsystem zarządzania. Na ilustracji 5.1 przedstawiono ogólny przyjęty model systemu produkcyjnego [3], a elementy wejścia X i wyjścia Y – w tab. 5.1.

Tabela 5.1. Elementy wejścia X i wyjścia Y systemu produkcyjnego [3, s. 32; 14, s. 132]

Elementy wejścia X
Kapitał zamrożony w wyrobach gotowych, urządzeniach, półwyrobach, materiałach, kapitał umieszczony w bankach, kasie lub u klientów
Wiedza, informacje, decyzje
Przedmiot pracy – półwyroby, materiały przeznaczone do montażu lub dalszej produkcji, czynniki ludzkie
Środki techniczne produkcji – budynki i budowle, powierzchnia produkcyjna, teren zakładu przemysłowego, sieci informatyczne, instalacje energetyczne oraz wyposażenie technologiczne
Czynniki energetyczne – energia elektryczna, paliwa stałe i gazowe, ciepło i czynniki oziębiające, woda, sprężone powietrze i gazy
Elementy wyjścia Y
Surowce wtórne i braki produkcyjne, odpady szkodzące środowisku, takie jak: śmieci, hałas, odpady stałe, ścieki
Informacje o stanie procesu produkcyjnego, o faktycznym koszcie własnym, o jakości wyrobu; doświadczenie załogi produkcyjnej

Przedsiębiorstwa, realizując swoje główne cele, dążą do uzyskania określonego zysku. Koszty, zyski i przychody są dynamiczne i zależą od wielu czynników związanych z działaniem systemu produkcyjnego. Wyróżnia się trzy cele projektowania i budowy systemów produkcyjnych [3]:

1. Obniżenie kosztów wytwarzania.
2. Uzyskanie większej produktywności.
3. Uzyskanie nowoczesnych produktów o wysokiej jakości.



Rys. 5.1. Ogólny model systemu produkcyjnego [14, s. 130]

6. PODSUMOWANIE

Logistyka wywiera bezpośrednio wpływ na kształtowanie ekonomii przedsiębiorstwa, tj. jej poziomu kosztów, dynamiki przychodów czy optymalizacji stanów magazynowych. Planowanie jest ważnym elementem logistyki produkcji, w szczególności na etapie projektowania przepływu surowców, materiałów, a także części do produkcji. W dążeniu do poprawy efektywności procesów logistycznych i produkcyjnych w przedsiębiorstwie niezbędne jest ich prawidłowe zrozumienie. Procesy logistyczne i produkcyjne mają bezpośredni związek zarówno z celami krótko- i długookresowymi, jak i z ogółem działalności przedsiębiorstwa. Opisane w rozdziale zagadnienia procesów logistycznych, produkcyjnych, zdolności produkcyjnych oraz system produkcyjny umożliwiają właściwe wykorzystanie ich jako zespołu środków i narzędzi służących do realizacji celów operacyjnych oraz strategicznych, które odpowiednio zarządzane

pozwalają nie tylko na maksymalizację przychodów z działalności przedsiębiorstwa, lecz także mogą być źródłem redukcji kosztów.

LITERATURA

- [1] Borowiecki R., *Ekonomika i organizacja przedsiębiorstwa przemysłowego*, Wydawnictwo PWN, Warszawa 1990.
- [2] *Organizacja i sterowanie produkcją. Projektowanie systemów produkcyjnych i procesów sterowania produkcją*, M. Brzeziński (red.), Agencja Wydawnicza Placet, Warszawa 2002.
- [3] Burchart-Korol D., Furman J., *Zarządzanie produkcją i usługami*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007.
- [4] Ficoń K., *Logistyka ekonomiczna: procesy logistyczne*, BEL Studio, Warszawa 2008.
- [5] *Kompendium wiedzy o logistyce*, E. Gołemska (red.), Wydawnictwo PWN, Warszawa 2002.
- [6] *Vademecum logistyki*, S. Kauf (red.), Wydawnictwo Difin, Warszawa 2016.
- [7] Krawczyk S., *Logistyka, teoria i praktyka*, cz. 2, Wydawnictwo Difin, Warszawa 2011.
- [8] Lubniewski R., Waclawek M., Zymonik J., *Wybrane zagadnienia organizacji produkcji w przedsiębiorstwie przemysłowym*, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1986.
- [9] Muhlemann A.P., Oakland K.G., Lockyer K.G., *Zarządzanie. Produkcja i usługi*, Wydawnictwo PWN, Warszawa 1995.
- [10] Pająk E., *Zarządzanie produkcją*, PWE, Warszawa 2006.
- [11] Pasternak K., *Zarys zarządzania produkcją*, Wydawnictwo PWN, Warszawa 2005.
- [12] Szymonik A., *Logistyka produkcji*, Wydawnictwo Difin, Warszawa 2012.
- [13] *Ekonomika i organizacja przedsiębiorstwa przemysłowego*, J. Wojownik (red.), PWN, Warszawa 1984.
- [14] Durlik I., *Inżynieria zarządzania*, cz. 1, Agencja Wydawnicza Placet, Warszawa 2007.

ANALYSIS OF SELECTED ISSUES RELATED TO LOGISTICS AND PRODUCTION PROCESSES

The essence of modern logistics is the flow of materials and the accompanying flow of information. A coherent and structured concept of managing logistics processes ensures a proper understanding of the essence of logistics. Manufacturing companies, in order to achieve their goals, place great emphasis on the correct planning of production. The management of all logistics processes is an example of an enterprise process management concept. The philosophy of product flow management, in line with the system approach, is based on a holistic, integrated approach to planning, organizing and controlling logistics processes. The aim of this article is to analyze selected literature issues related to logistics, in particular, such as: production process, logistics process, Production capacity and production system.

*owoce, warzywa, proszkowanie,
żywność funkcjonalna*

Jessica BRZEZOWSKA*,
Anna MICHALSKA-CIECHANOWSKA*·**

NOWE KIERUNKI W PRODUKCJI PROSZKÓW OWOCOWYCH I WARZYWNYCH

Owoce i warzywa są surowcami poddawanych licznym procesom przetwórczym i tym samym są dostępne na rynku pod wieloma postaciami. Stosunkowo nową ich formą są proszki, które stanowią atrakcyjną alternatywę dla świeżych surowców. Ogromny potencjał tych produktów wynikający z licznych możliwości ich zastosowania w przemyśle spożywczym, a także dodatkowe aspekty związane ze wzbogacaniem żywności w związki bioaktywne przez ich aplikację wpływa na popularność proszków wśród producentów i konsumentów. Różnorodność surowców, z jakich powstają, oraz dostępne technologie produkcji sprawiają, że sproszkowane formy owoców i warzyw wpisują się w obecne trendy w żywieniu, takie jak personalizacja żywności czy tzw. czyszczenie etykiety ograniczające do niezbędnego minimum bądź prowadzące do całkowitej eliminacji sztucznych dodatków żywnościowych. Przy odpowiednio przeprowadzonym procesie technologicznym proszki owocowe oraz warzywne mogą stanowić cenne źródło składników bioaktywnych, w tym polifenoli o właściwościach antyoksydacyjnych. Stanowi to niezwykle atrakcyjną propozycję dla coraz bardziej świadomych i tym samym wymagających konsumentów. Otrzymanie jednak wysokojakościowych proszków o możliwie najbardziej zbliżonym składzie do surowców wyjściowych oraz zminimalizowanej zawartości związków niepożądanych mogących formować się podczas procesu proszkowania nadal stanowi wyzwanie dla technologów żywności i producentów tego typu produktów. W pracy przedstawiono innowacyjne sposoby produkcji proszków owocowych i warzywnych, dzięki którym możliwa jest nie tylko poprawa ich jakości, lecz także nadanie im zupełnie nowych właściwości funkcjonalnych. Wskazano również kierunki, możliwości i perspektywy rozwoju dla tego rodzaju produktów w kontekście badań naukowych oraz produkcji przemysłowej.

* Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wydział Biotechnologii i Nauk o Żywności, Katedra Technologii Owoców, Warzyw i Nutraceutyków Roślinnych, ul. Chełmońskiego 37, 51-630 Wrocław.

** Polska Akademia Nauk w Olsztynie, Instytut Rozrodu Zwierząt i Badań Żywności, Oddział Nauk o Żywności, ul. Tuwima 10, 10-748 Olsztyn.

1. PROSZKI OWOCOWE I WARZYWNE

1.1. DLACZEGO SPROSZKOWANA FORMA OWOCÓW I WARZYW STAŁA SIĘ TAK POPULARNA?

Owoce i warzywa zawierają liczne związki biologicznie aktywne, takie jak: błonnik, witaminy, mikro- i makroskładniki, polifenole. Dlatego w aktualnej piramidzie żywieniowej zostały ulokowane tuż nad aktywnością fizyczną i tym samym powinny stanowić podstawę codziennej diety każdego człowieka [61]. Niestety przestrzeganie tych zaleceń jest coraz trudniejsze – stale rosnący udział wygodnej żywności przetworzonej zasobnej w tłuszcze nasycone i trans, monosacharydy oraz sól znacznie ogranicza udział owoców i warzyw w posiłkach i w konsekwencji prowadzi do ich niedostatecznej podaży w diecie. Monteiro i in. [31] opracowali system klasyfikacji żywności składający się z czterech grup – wskazali w nim, że obecnie w asortymencie produktów dostępnych na rynku praktycznie nie ma żywności nieprzetworzonej. Trzy pierwsze grupy to produkty przetworzone w różnym stopniu, które mogą być częścią schematów żywieniowych. Czwartą grupę stanowi żywność ultraprzetworzona, do której należą m.in. napoje, przekąski i produkty gotowe do spożycia. Do przygotowania tych produktów stosuje się wiele rodzajów dodatków w celu poprawienia ich właściwości strukturalnych lub odtworzenia profilu sensorycznego nieużywanych jednak w domowej kuchni [30]. Niezbilansowana pod względem odżywczym dieta stanowi jeden z głównych czynników zwiększających ryzyko występowania wśród społeczeństwa tzw. chorób cywilizacyjnych, do których należą m.in.: otyłość, powikłania cukrzycowe, choroby układu krążenia, choroby neurodegeneracyjne, a także różne rodzaje nowotworów [22, 56]. Według danych Światowej Organizacji Zdrowia liczba zgonów wywołanych chorobami cywilizacyjnymi sięga ok. 41 mln rocznie, co stanowi ok. 71% wszystkich zgonów na świecie [56]. Mimo tak poważnych konsekwencji spożycie wysokoprzetworzonych produktów nadal rośnie, a sprzedaż w krajach o średnich dochodach wzrasta nawet o 10% rocznie [32].

Z tego względu zwiększenie udziału owoców i warzyw w diecie staje się kluczowe. Biorąc pod uwagę jednak coraz wygodniejsze podejście społeczeństwa sięgającego znacznie częściej po produkty gotowe (*ready-to-eat*), stanowi to duże wyzwanie dla technologów żywności – tym większe, że surowce te charakteryzują się sezonowością występowania oraz stosunkowo krótkim okresem przydatności do spożycia po zbiorze [5]. Dotyczy to szczególnie owoców, dla których typowe są zjawiska takie, jak: niekontrolowane brązowienie, wędnięcie czy utrata wartości odżywczej [3]. W celu wydłużenia dostępu do zawartych w nich cennych składników prozdrowotnych opracowano szereg technologii umożliwiających utrwalenie owoców i warzyw przez produkcję na przykład: soków, koncentratów, puree, dżemów, kiszonek, konserw, mrożonek, suszy, a w tym stosunkowo nowej formy – proszków [49]. Spośród wymienionych, proszkowanie owoców i warzyw jest coraz powszechniej stosowane w przemyśle spożywczym, dlatego też od pewnego czasu obserwuje się znaczną intensyfikację badań w tym

zakresie. Ich nadrzędnym celem jest udoskonalenie istniejących bądź opracowanie innowacyjnych sposobów, dzięki którym możliwe będzie otrzymanie produktu jak najbardziej zbliżonego składem do surowca wyjściowego.

1.2. ZALETY ORAZ WADY PROSZKOWANIA OWOCÓW I WARZYW

Przetwarzanie surowców owocowych i warzywnych do formy proszków umożliwia otrzymanie produktu atrakcyjnego pod wieloma względami. Zasadniczą zaletą jest uniezależnienie konsumpcji od sezonowości występowania owoców i warzyw w ciągu roku [28]. W konsekwencji, dzięki zmniejszeniu zawartości wody, następuje powstrzymanie wzrostu drobnoustrojów, ograniczanie aktywności naturalnie występujących enzymów oraz przeciwdziałanie innym biochemicznym i fizycznym uszkodzeniom produktów. Proszki stają się znacznie stabilniejsze niż surowiec, z którego powstały, i tym samym bezpieczniejsze mikrobiologicznie. Dzięki takiej formie jest możliwe również łatwiejsze ich przechowywanie, transport, a także aplikacja/dozowanie w postaci dodatków do innych produktów żywnościowych, m.in. jako naturalnych barwników, wzmacniaczy smaku, zagęstników lub też zamienników tłuszczu [17]. Z tych powodów proszki są odpowiednimi dodatkami funkcjonalnymi w produktach, takich jak: napoje, jogurty, lody czy wyroby cukiernicze. Są również uzupełnieniem żywności przeznaczonej dla dzieci, dodatkiem do sosów, a także zbożowych produktów ekstrudowanych, w których dodatkowo poprawiają zdolność przechowalniczą [20, 21]. Proszkowanie jest szczególnie pożądane w przypadku nadprodukcji owoców i warzyw – w przeciwnym razie pozostaną niewykorzystane i tym samym zmarnowane, a wraz z nimi cenne składniki prozdrowotne. To samo dotyczy również odpadów poprodukcyjnych, na przykład wytlóków stanowiących pozostałość po procesie tłoczenia soków, niejednokrotnie znacznie bogatszych w bioskładniki niż docelowy produkt – sok [11, 57]. Co więcej, odpowiednio przygotowane proszki owocowe bądź warzywne mogą być produktem o właściwościach prozdrowotnych m.in. o wysokim potencjale antyoksydacyjnym ze względu na obecność w surowcu szeregu związków bioaktywnych, w tym polifenoli [6]. Różnorodność surowców roślinnych, z których mogą być otrzymywane proszki zarówno owocowe, warzywne, jak i ich mieszanki stwarza możliwość opracowania takiej kompozycji składu, która przy właściwie przeprowadzonym procesie technologicznym pozwoli otrzymać produkty wykazujące określone właściwości prozdrowotne. Dzięki temu mogą być z powodzeniem stosowane przez osoby przestrzegające diety o ściśle określonym składzie. Przykładowo proszki o niskiej zawartości węglowodanów mogą być stosowane przez osoby zmagające się m.in. z otyłością oraz jej powikłaniami, np. nadciśnieniem [62], cukrzycą typu II [60]. Ponadto włączone jako uzupełnienie codziennej diety mogą stanowić jednocześnie prewencję przed zachorowaniem. Dodatkowo łatwość przechowywania i transportu w porównaniu do świeżych owoców i warzyw oraz ich przetworzonych form (tj. soków, mrożonek etc.) sprawia, że proszki mogą być przeznaczone także dla innych grup konsumentów,

np. turystów. Mogą także stanowić jeden z artykułów żywnościowych dostarczanych ofiarom kataklizmów.

Mimo licznych zalet proszkowania owoców i warzyw obecne wyzwania stojące przed przemysłem spożywczym są związane z produkcją i sposobem ich otrzymywania. W przypadku proszków wytworzonych z płynnych lub półpłynnych półproduktów, tj. soków, koncentratów lub pulp, konieczne jest zastosowanie substancji nośnikowych, bez których uzyskanie proszków jest praktycznie niemożliwe [10, 33]. Szczególnie kłopotliwym surowcem są soki owocowe. Niska temperatura zeszklenia głównych komponentów soków (niskocząsteczkowych cukrów i kwasów organicznych), ich wysoka higroskopijność oraz niska temperatura topnienia powodują, że bardzo trudno jest wysuszyć soki owocowe na proszki [17]. W odróżnieniu od suszonych owoców i warzyw, których produkcja sprowadza się do eliminacji wody, otrzymywanie proszków z płynnych części owoców i warzyw wiąże się z wprowadzeniem do składu produktu substancji niewystępujących naturalnie w surowcu np. maltodekstryny czy gumy arabskiej. To natomiast stanowi kolejny czynnik oddziałujący na końcową jakość proszków. Ponadto obecnie obserwuje się trend związany z tzw. czyszczeniem etykiety, tzn. z ograniczaniem stosowania dodatków do żywności do absolutnego minimum koniecznego do zapewnienia bezpieczeństwa żywności przy jednoczesnym zachowaniu wydajności procesu produkcyjnego [1]. I choć dodatek powszechnie stosowanych nośników zapewnia zadowalającą efektywność produkcji, konsumenci mają jednak coraz większe wątpliwości czy stosowanie ich w tak dużych ilościach jest konieczne i uzasadnione. W przypadku rynkowych proszków owocowych ilość tych substancji może sięgać nawet 80%. To w konsekwencji prowadzi do braku zainteresowania tego rodzaju produktami coraz to bardziej świadomych konsumentów i skłania ich do poszukiwania innowacyjnych alternatyw. Mimo to dodatek substancji pomocniczej w produkcji proszków nie jest jedynym wyzwaniem, z jakim muszą zmagać się technolodzy. W wyniku nieprawidłowo dobranych parametrów procesowych może dochodzić do znacznej degradacji cennych składników odżywczych i bioaktywnych, co przekłada się na niską jakość proszków [8]. Dodatkowo niezwykle istotny problem stanowi powstawanie szkodliwych produktów reakcji nieenzymatycznego brunatnienia – produktów reakcji Maillarda i karmelizacji, do których dochodzi podczas termicznej obróbki surowców owocowych i warzywnych [50].

1.3. ZWIĄZKI NIEPOŻĄDANE W PROSZKACH OWOCOWYCH I WARZYWNYCH

Początkowo w pracach naukowych dotyczących proszków owocowych oraz warzywnych skupiano się głównie na analizie właściwości fizycznych (aktywności wody, porowatości, gęstości nasypowej, gęstości rzeczywistej, barwie etc.) będących głównymi wyróżnikami jakości charakterystycznych dla formy sproszkowanej [2, 7, 46, 51]. Dopiero od niedawna zaczęto prowadzić badania, w których głównym celem jest określenie właściwości chemicznych, a także biologicznych proszków owocowych i warzywnych w zależności od analizowanej zmiennej (rodzaju surowca, sposo-

bu otrzymywania, parametrów procesowych, rodzaju oraz stężenia nośnika). Proces proszkowania wiąże się z wysokim stopniem przetworzenia owoców i warzyw, podczas którego może dochodzić do powstawania związków nieobecnych w świeżych surowcach (w tym produktów niepożądanych), dlatego analizy stanowią cenne uzupełnienie prac nad otrzymaniem wysokojakościowych produktów. Do związków tych należą produkty reakcji Maillarda zachodzących między cukrami redukującymi a aminokwasami, peptydami i białkami, a także produkty karmelizacji w wyniku reakcji zachodzących między cukrami [29]. Na przykład w proszkach z soku z żurawiny oraz uzyskanego z niego ekstraktu w wyniku zastosowanych procesów suszenia (liofilizacja, suszenie próżniowe w temp. 40°C, 60°C, 80°C i 100°C, suszenie rozpyłowe) zidentyfikowano 2-furoilometylowe pochodne aminokwasów oraz hydroksymetylofurfural [27]. Hydroksymetylofurfural oznaczono także w proszkach z soku z czarnej porzeczki (liofilizacja, suszenie próżniowe w temp. 50°C, 70°C i 90°C, suszenie rozpyłowe) [26] oraz w proszkach z soku ze śliwek i otrzymanego z niego ekstraktu (liofilizacja, suszenie próżniowe w temp. 40°C, 60°C i 80 °C, suszenie rozpyłowe) [28]. Związek ten oraz furan zidentyfikowano ponadto w proszkach otrzymanych z całych owoców cytryny w wyniku liofilizacji oraz suszenia próżniowego [12]. Z kolei w proszku z pomidorów otrzymanym metodą rozpyłową oznaczono związki należące do grupy kwasów fruktozoaminowych i difruktozoaminowych stanowiących produkty wstępnego etapu reakcji Maillarda (przegrupowanie Amadori) [36]. W literaturze przedmiotu nadal brakuje badań poświęconych głębszej analizie wpływu poszczególnych czynników na powstawanie tych produktów w proszkach – zwłaszcza warzywnych.

2. TECHNOLOGIA PROSZKOWANIA OWOCÓW I WARZYW

2.1. INNOWACYJNE SPOSOBY OTRZYMYWANIA PROSZKÓW OWOCOWYCH I WARZYWNYCH

Proszki owocowe oraz warzywne mogą być otrzymywane zarówno z całych surowców, jak i z soków, koncentratów, przecierów, pulp czy odpadów poprodukcyjnych, np. wytlóków. W przypadku form płynnych tych surowców, jak wcześniej wspomniano, konieczny jest dodatek nośnika umożliwiającego otrzymanie proszku. Od pewnego czasu w odpowiedzi na panujący trend dotyczący „czyszczenia etykiety” podejmowane są próby zastosowania dodatków funkcjonalnych, które oprócz swojej kluczowej roli również wzbogaciłyby produkt finalny w substancje wpływające na właściwości prozdrowotne. Takim przykładem może być inulina (nośnik węglowodanowy) będąca jednocześnie prebiotykiem [47] czy izolat białka grochu (nośnik białkowy) wykazujący właściwości hipoalergiczne [4].

Początkowo proszki z owoców i warzyw otrzymywano przez stosowanie suszenia konwekcyjnego znacząco obniżającego jakość produktu finalnego w kontekście

zawartości związków bioaktywnych [44]. Dodatkowo proces ten pogarsza wygląd produktu – prowadzi do zmian barwy i nadmiernego skurczu, co z kolei wiąże się z mniejszym popytem wśród konsumentów, dla których cechy te stanowią podstawowe kryterium wyboru [24, 25]. Wraz ze zwiększającym się zapotrzebowaniem na proszki owocowe i warzywne w przemyśle spożywczym oraz rosnącą świadomością konsumentów dotyczącą jakości produktów żywnościowych rozpoczęto opracowywanie alternatywnych technik suszenia tych surowców. Ich nadrzędnym celem jest uzyskanie wysokiej jakości produktów zarówno pod względem właściwości fizycznych, chemicznych, sensorycznych, jak i prozdrowotnych [5]. Opracowano wiele innowacyjnych rozwiązań i nowoczesnych technologii otrzymywania proszków owocowych oraz warzywnych. Wśród nich znajdują się m.in.: sublimacja (liofilizacja) [38], suszenie rozpyłowe [13], suszenie próżniowe, mikrofalowe, w podczerwieni [48], puffingowanie [59]. Interesującą alternatywę stanowi suszenie, podczas którego pasty owocowe bądź warzywne są mieszane z różnymi substancjami pianotwórczymi jak białko sojowe i stabilizatorami piany, np. z pektyną. Umożliwia to otrzymanie stabilnych pianek suszonych za pomocą gorącego powietrza i mielonych do postaci sypek proszków. Dzięki tej technologii można w bardzo dużym stopniu zachować związki wrażliwe na ciepło [16, 53]. Stosunkowo nową metodą jest także otrzymywanie proszków w wyniku zastosowania metody suszenia i mielenia w strumieniu fluidalnym [40–43]. Popularne stały się również techniki polegające na połączeniu dwóch lub więcej metod suszenia jak suszenie gorącym powietrzem łączone z puffingowaniem [48], suszenie w niskich temperaturach z jednoczesną mikronizacją [39], suszenie promieniami podczerwonymi z dosuszaniem mikrofalowo-próżniowym [48] czy też suszenie pianowo-sublimacyjne [15].

2.2. OBECNE MOŻLIWOŚCI I OGRANICZENIA W TECHNOLOGII PROSZKOWANIA OWOCÓW I WARZYZYW

Pojawiające się innowacje w technologii proszkowania owoców i warzyw umożliwiają otrzymywanie produktów o zróżnicowanym profilu sensorycznym, właściwościach fizycznych oraz chemicznych wpływających na właściwości biologiczne, które w szczególności odpowiadają za potencjał prozdrowotny tych produktów. Z tego względu właśnie właściwości chemiczne oraz biologiczne od pewnego czasu stanowią główny przedmiot badań nad proszkami owocowymi i warzywnymi. W zależności od zastosowanych metod suszenia i ich parametrów, możliwe jest minimalizowanie degradacji składników bioaktywnych, w tym polifenoli, a także ograniczanie powstawania szkodliwych produktów reakcji Maillarda i karmelizacji [26, 44]. Co więcej, wykazano, że podczas niektórych procesów suszenia w produkcie finalnym pojawiają się związki niezidentyfikowane w świeżym surowcu [55]. Oznacza to, że dzięki odpowiednio dobranemu procesowi proszkowania istnieje możliwość nadania produktom końcowym nowych właściwości, również o charakterze funkcjonalnym.

W przypadku suszenia surowców płynnych rodzaj oraz stężenie nośnika są niezwykle istotne, szczególnie wtedy, kiedy celem jest uzyskanie wysokojakościowych proszków. W zależności od pochodzenia substancji nośnikowej, a także ilości jej dodatku podczas procesu proszkowania może dochodzić do szeregu zjawisk, mających zarówno pozytywny, jak i negatywny wpływ na końcową jakość produktu [26]. Na podstawie badań dowiedziono, że przez dobór odpowiedniego nośnika możliwa jest do pewnego stopnia ochrona poszczególnych grup polifenoli przed degradacją, podczas gdy w wyniku dodatku innego składnika nośnikowego dochodzi do znacznej redukcji zawartości tych związków w proszkach [9, 34]. Dodatkowo, w przypadku zastosowania nośników o właściwościach prebiotycznych jak oligofruktoza [19] czy izolat białka grochu o własnościach hipoalergicznym [4] proszki mogą stać się żywnością funkcjonalną o wzbogaconym potencjale prozdrowotnym.

Niewątpliwą zaletą wynikającą z różnorodności związków bioaktywnych obecnych w owocach i warzywach oraz ich walorów sensorycznych jest możliwość sporządzania licznych kompozycji. Przy optymalnym składzie, a także poprawnie przeprowadzonym procesie proszkowania mogą stanowić produkty spersonalizowane dla konkretnych grup konsumentów. Przykładowo mogą być to proszki wysokobiałkowe dla sportowców czy proszki o obniżonej zawartości naturalnych cukrów przeznaczone dla osób dążących do redukcji węglowodanów w diecie, w tym diabetyków. Personalizacja żywności pod względem surowca, składników, sposobu produkcji czy też ogólnej percepcji przez konsumentów jest jednym z najnowszych trendów żywnościowych [52], w który doskonale wpisują się właśnie proszki owocowe i warzywne. Jest to również ciekawa alternatywa dla dzieci nie zawsze skłonnych do spożywania owoców czy warzyw w świeżej postaci [18]. Sproszkowane formy tych surowców mogą być wzbogacane innymi naturalnymi składnikami jak wyciągi ziołowe lub ekstrakty z roślin leczniczych, co dodatkowo wzmacnia prozdrowotne właściwości tych produktów. Składniki te mogą odgrywać jeszcze jedną istotną rolę. Udowodniono, że dodatek określonych naturalnych substancji, tj. wyciągów roślinnych, związków mineralnych oraz witamin, może zahamować powstawanie substancji niepożądanych w produkcji końcowym, m.in. związków powstających w wyniku reakcji Maillarda oraz karmelizacji podczas produkcji proszków owocowych [37]. Obfitujące w liczne składniki biologicznie aktywne, w tym polifenole, owoce i warzywa stanowią bardzo złożoną matrycę żywnościową, co powoduje, że dokładne określenie kierunku przemian poszczególnych komponentów tych surowców podczas procesu proszkowania nadal stanowi wyzwanie dla naukowców.

2.3. PODSUMOWANIE

Rosnące zainteresowanie proszkami owocowymi i warzywnymi jest katalizatorem rozwoju gałęzi przetwórstwa świeżych surowców, a nadrzędny cel stanowi opracowanie sposobu umożliwiającego zamknięcie w formie sproszkowanej całego ich bogactwa.

twa bez utraty wartości nawet podczas długotrwałego okresu przechowywania. Z tego względu kluczowa staje się koncentracja na badaniach, dzięki którym możliwe będzie kontrolowanie jakości proszków w zależności od surowca, dodatków oraz zastosowanej technologii produkcji. W literaturze przedmiotu pojawiają się także informacje odnośnie do zagospodarowania odpadów poprodukcyjnych z owoców oraz warzyw [23]. Dotyczą one m.in. prac nad technologią ich proszkowania, innowacyjnego zastosowania jak na przykład prebiotyczny wpływ sproszkowanych odpadów ananasowych na bakterie probiotyczne w jogurcie i późniejsze uwalnianie peptydów przeciwniektoriujących i antymutagennych podczas ich wzrostu [45]. Innym kierunkiem jest pozyskiwanie substancji naturalnie występujących w odpadach poprodukcyjnych z owoców i warzyw mogących po wyizolowaniu odgrywać rolę na przykład substancji nośnikowych do produkcji proszków [35]. Obserwując coraz większe zainteresowanie konsumentów żywnością ekologiczną, której produkcja wyklucza wykorzystywanie szkodliwych substancji, jakimi są pestycydy, ciekawym kierunkiem wydaje się być opracowanie ekologicznych proszków owocowych czy warzywnych. Jeśli uwzględni się przy tym różną tendencję poszczególnych owoców i warzyw do bioakumulacji tych substancji [14, 58] mogącą prowadzić z kolei do szeregu niekontrolowanych oraz nieznanych przemian podczas procesu proszkowania tych surowców – zagadnienie to wydaje się bardzo istotne. Mimo stale rosnącej liczby publikacji na temat wpływu poszczególnych czynników na właściwości fizyczne, chemiczne oraz biologiczne proszków zdecydowana ich większość dotyczy produktów owocowych. Wciąż natomiast brakuje danych na temat proszków warzywnych, szczególnie jeśli rozpatrywana jest ich jakość w kontekście powstawania produktów reakcji Maillarda i karmelizacji [54]. To jeden z nowych kierunków zarówno w zakresie projektowania żywności funkcjonalnej o nowych właściwościach, jak i propozycji dla konsumentów poszukujących żywności wygodnej i jednocześnie prozdrowotnej.

Praca finansowana przez Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu z projektu badawczego o numerze N070/0014/20 (poprz. B031/0014/20) w ramach programu: „Innowacyjny Doktorat”.

LITERATURA

- [1] Asioli D., Aschemann-Witzel J., Caputo V., Vecchio R., Annunziata A., Næs T., Varela P., *Making sense of the “clean label” trends: A review of consumer food choice behavior and discussion of industry implications*, „Food Research International” 2017, Vol. 99, No. 1, s. 58–71.
- [2] Athmaselvi K.A., Kumar C., Balasubramanian M., Roy I., *Thermal, structural and physical properties of freeze-dried tropical fruit powder*, „Journal of Food Processing” 2014, Vol. 2014, s. 1–10.
- [3] Augustin M.A., Riley M., Stockmann R., Bennett L., Kahl A., Lockett T., Osmond M., Sanguansri P., Stonehouse W., Zajac I., Cobiac L., *Role of food processing in food and nutrition security*, „Trends in Food Science and Technology” 2016, Vol. 56, s. 115–125.
- [4] Bajaj P., Tang J., Sablani S., *Pea protein isolates: Novel wall materials for microencapsulating flaxseed oil*, „Food and Bioprocess Technology” 2015, Vol. 8, No. 12, s. 2418–2428.

- [5] Brunner T.A., *Convenience Food*, [w:] *Encyclopedia of Food and Health*, Caballero B, Finglas P.M., Toldrá F. (eds.), Oxford: Academic Press, Waltham, MA, 2016, s. 312–315.
- [6] Correia R.T., Borges K.C., Medeiros M.F., Genovese M.L., *Bioactive compounds and phenolic-linked functionality of powdered tropical fruit residues*, „*Food Science and Technology International*” 2012, Vol. 18, No. 6, s. 539–547.
- [7] Darniadi S., Ho P., Murray B.S., *Comparison of blueberry powder produced via foam-mat freeze-drying versus spray-drying: evaluation of foam and powder properties*, „*Journal of the Science of Food and Agriculture*” 2018, Vol. 98, No. 5, s. 2002–2010.
- [8] Devahastin S., Niamnuy C., *Invited review: Modelling quality changes of fruits and vegetables during drying*, „*International Journal of Food Science and Technology*” 2010, Vol. 45, No. 9, s. 1755–1767.
- [9] Eitzbach L., Meinert M., Faber T., Klein C., Schieber A., Weber F., *Effects of carrier agents on powder properties, stability of carotenoids, and encapsulation efficiency of goldenberry (Physalis peruviana L.) powder produced by co-current spray drying*, „*Current Research in Food Science*” 2020, Vol. 3, s. 73–81.
- [10] Ferrari C.C., Germer S.P.M., Alvim I.D., Vissotto F.Z., Aguirre J.M. de, *Influence of carrier agents on the physicochemical properties of blackberry powder produced by spray drying*, „*International Journal of Food Science and Technology*” 2012, Vol. 47, No. 6, s. 1237–1245.
- [11] *FoPo Food Powder*, 2019; <https://www.globalinnovationexchange.org/innovation/fopo-food-powder> (dostęp: 23.08.2020).
- [12] García-Salas P., Gómez-Caravaca A.M., Arráez-Román D., Segura-Carretero A., Guerra-Hernández E., García-Villanova B., Fernández-Gutiérrez A., *Influence of technological processes on phenolic compounds, organic acids, furanic derivatives, and antioxidant activity of whole-lemon powder*, „*Food Chemistry*” 2013, Vol. 141, No. 2, s. 869–878.
- [13] Gawałek J., Domian E., Ryniecki A., Bakier S., *Effects of the spray drying conditions of chokeberry (Aronia melanocarpa L.) juice concentrate on the physicochemical properties of powders*, „*International Journal of Food Science and Technology*” 2017, Vol. 52, No. 9, s. 1933–1941.
- [14] Group EW, *Dirty Dozen™ Fruits and Vegetables with the Most Pesticides*, 2020; <https://www.ewg.org/foodnews/dirty-dozen.php> (dostęp: 22.09.2020).
- [15] Jakubczyk E., Gondek E., Głód K., *Charakterystyka właściwości fizycznych proszku jabłkowego otrzymanego metodą suszenia pianowo-sublimacyjnego*, „*Acta Agrophysica*” 2010, Vol. 15, No. 2, s. 281–291.
- [16] Javed I.M., Abbas A., Rafique H., Nawaz M.F., Rasool A., *A review paper on foam-mat drying of fruits and vegetables to develop powders*, „*MOJ Food Processing and Technology*” 2018, Vol. 6, No. 6, s. 465–467.
- [17] Jiang H., Zhang M., Adhikari B., *Fruit and vegetable powders*, [w:] *Handbook of Food Powders: Processes and Properties*, Bhandari B.R., Bansal N., Zhang M., Schuck P. (eds.), Woodhead Publishing, Ltd., Cambridge 2013, s. 532–552.
- [18] Karam M., Petit J., Zimmer D., Djantou E., Scher J., *Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review*, „*Journal of Food Engineering*” 2016, Vol. 188, No. C, s. 32–49.
- [19] Kaur N., Gupta A.K., *Applications of inulin and oligofructose in health and nutrition*, „*Journal of Biosciences*” 2002, Vol. 27, No. 7, s. 703–714.
- [20] Kırbaş Z., Kumcuoglu S., Tavman S., *Effects of apple, orange and carrot pomace powders on gluten-free batter rheology and cake properties*, „*Journal of Food Science and Technology*” 2019, Vol. 56, No. 2, s. 914–926.
- [21] Kita A., Nowak J., Michalska-Ciechanowska A., *The effect of the addition of fruit powders on the quality of snacks with Jerusalem artichoke during storage*, „*Applied Sciences*” 2020, Vol. 10, No. 16, s. 5603.

- [22] Kopp W., *How western diet and lifestyle drive the pandemic of obesity and civilization diseases*, „Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity: Targets and Therapy” 2019, Vol. 12, s. 2221–2236.
- [23] Majerska J., Michalska A., Figiel A., *A review of new directions in managing fruit and vegetable processing by-products*, „Trends in Food Science & Technology” 2019, Vol. 88, s. 207–219.
- [24] Maskan M., *Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying*, „Journal of Food Engineering” 2001, Vol. 48, No. 2, s. 169–175.
- [25] Mayor L., Sereno A.M., *Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review*, „Journal of Food Engineering” 2004, Vol. 61, No. 3, s. 373–386.
- [26] Michalska A., Wojdyło A., Brzezowska J., Majerska J., Ciska E., *The influence of inulin on the retention of polyphenolic compounds during the drying of blackcurrant juice*, „Molecules” 2019, Vol. 24, No. 22, s. 4167.
- [27] Michalska A., Wojdyło A., Honke J., Ciska E., Andlauer W., *Drying-induced physico-chemical changes in cranberry products*, „Food Chemistry” 2018, Vol. 240, s. 448–455.
- [28] Michalska A., Wojdyło A., Łysiak G.P., Figiel A., *Chemical composition and antioxidant properties of powders obtained from different plum juice formulations*, „International Journal of Molecular Sciences” 2017, Vol. 18, No. 1, s. 176.
- [29] Michalska A., Zieliński H., *Produkty reakcji Maillarda w żywności*, „Żywność: Nauka–Technologia–Jakość” 2007, nr 2(51), s. 5–16.
- [30] Monteiro C.A., Cannon G., Lawrence M., Louzada M.L.C., Machado P., *Ultra-processed foods, diet quality, and health using the NOVA classification system*, FAO, Rome 2019.
- [31] Monteiro C.A., Cannon G., Moubarac J.-C., Levy R.B., Louzada M.L.C., Jaime P.C., *The UN Decade of Nutrition, the NOVA food classification and the trouble with ultra-processing*, „Public Health Nutrition” 2018, Vol. 21, No. 1, s. 5–17.
- [32] Monteiro C.A., Moubarac J.-C., Cannon G., Ng S.W., Popkin B., *Ultra-processed products are becoming dominant in the global food system*, „Obesity Reviews” 2013, Vol. 14, Suppl. 2, s. 21–28.
- [33] Muzaffar K., Kumar P., *Effect of soya protein isolate as a complementary drying aid of maltodextrin on spray drying of tamarind pulp*, „Drying Technology” 2016, Vol. 34, No. 1, s. 142–148.
- [34] Oliveira É.R., Fernandes R.V.B., Botrel D.A., Carmo E.L., Borges S.V., Queiroz F., *Study of different wall matrix biopolymers on the properties of spray-dried pequi oil and on the stability of bioactive compounds*, „Food and Bioprocess Technology” 2018, Vol. 11, No. 3, s. 660–679.
- [35] Pacheco C., García-Martínez E., Moraga G., Piña J., Nazareno M.A., Martínez-Navarrete N., *Development of dried functional foods: Stabilization of orange pulp powder by addition of biopolymers*, „Powder Technology” 2020, Vol. 362, s. 11–16.
- [36] Pastoriza S., Quesada J., Rufián-Henares J.A., *Lactose and oligosaccharides: Maillard reaction*, [w:] *Reference module in food science*, Elsevier, Amsterdam 2018.
- [37] Rannou C., Laroque D., Renault E., Prost C., Sérot T., *Mitigation strategies of acrylamide, furans, heterocyclic amines and browning during the Maillard reaction in foods*, „Food Research International” 2016, Vol. 90, s. 154–176.
- [38] Ratti C., *Freeze drying for food powder production*, [w:] *Handbook of Food Powders: Processes and Properties*, 1 edition, Bhandari B., Bansal N., Zhang M., Schuck P. (eds.), Woodhead Publishing, Ltd., Cambridge 2013, s. 57–84.
- [39] Sadowska A., Rakowska R., Świdorski F., Hoffmann M., Wasiak-Zys G., *Cechy jakościowe proszków warzywnych otrzymanych innowacyjną metodą suszenia w niskich temperaturach z równoczesną mikronizacją*, „Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego” 2015, t. 25, s. 63–67.
- [40] Sadowska A., Rakowska R., Świdorski F., Kulik K., Hallmann E., *Properties and microstructure of blackcurrant powders prepared using a new method of fluidized-bed jet milling and drying versus other drying methods*, „CyTA – Journal of Food” 2019, Vol. 17, No. 1, s. 439–446.

- [41] Sadowska A., Świdorski F., Hallmann E., *Properties of raspberry powder obtained by a new method of fluidised-bed jet milling and drying compared to other drying methods*, „Journal of the Science of Food and Agriculture” 2020, Vol. 100, No. 11, s. 4303–4309.
- [42] Sadowska A., Świdorski F., Rakowska R., Hallmann E., *Comparison of quality and microstructure of chokeberry powders prepared by different drying methods, including innovative fluidised bed jet milling and drying*, „Food Science and Biotechnology” 2019, Vol. 28, No. 4, s. 1073–1081.
- [43] Sadowska A., Świdorski F., Rakowska R., Hallmann E., *The functional properties of chokeberry and kale powders obtained by an innovative method of fluidised-bed jet milling with drying compared to freeze drying*, „International Journal of Food Engineering” 2017, Vol. 13, No. 6, s. 20160310.
- [44] Sagar V.R., Suresh Kumar P., *Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review*, „Journal of Food Science and Technology” 2010, Vol. 47, No. 1, s. 15–26.
- [45] Sah B.N.P., Vasiljevic T., McKechnie S., Donkor O.N., *Effect of pineapple waste powder on probiotic growth, antioxidant and antimutagenic activities of yogurt*, „Journal of Food Science and Technology” 2016, Vol. 53, No. 3, s. 1698–1708.
- [46] Shishir M.R.I., Taip F.S., Aziz N.A., Talib R.A., *Physical properties of spray-dried pink guava (Psidium guajava) powder*, „Agriculture and Agricultural Science Procedia” 2014, Vol. 2, s. 74–81.
- [47] Shoaib M., Shehzad A., Omar M., Rakha A., Raza H., Sharif H.R., Shakeel A., Ansari A., Niazi S., *Inulin: properties, health benefits and food applications*, „Carbohydrate Polymers” 2016, Vol. 147, s. 444–454.
- [48] Si X., Chen Q., Bi J., Wu X., Yi J., Zhou L., Li Z., *Comparison of different drying methods on the physical properties, bioactive compounds and antioxidant activity of raspberry powders*, „Journal of the Science of Food and Agriculture” 2016, Vol. 96, No. 6, s. 2055–2062.
- [49] Sumonsiri N., Barringer S.A., *Fruits and Vegetables – Processing Technologies and Applications*, [w:] *Food Processing: Principles and Applications*, S. Clark, S. Jung, B. Lamsal (eds.), Wiley, Hoboken, NJ, 2014, s. 363–382.
- [50] Tamanna N., Mahmood N., *Food processing and Maillard reaction products: Effect on human health and nutrition*, „International Journal of Food Science” 2015, Vol. 2015, s. 1–6.
- [51] Tontul I., Topuz A., Ozkan C., Karacan M., *Effect of vegetable proteins on physical characteristics of spray-dried tomato powders*, „Food Science and Technology International” 2016, Vol. 22, No. 6, s. 516–524.
- [52] Ueland Ø., Altintzoglou T., Kirkhus B., Lindberg D., Rognså G.H., Rosnes J.T., Rud I., Varela P., *Perspectives on personalised food*, „Trends in Food Science and Technology” 2020, Vol. 102, s. 169–177.
- [53] Varhan E., Elmas F., Koç M., *Foam mat drying of fig fruit: Optimization of foam composition and physicochemical properties of fig powder*, „Journal of Food Process Engineering” 2019, Vol. 42, No. 4, s. e13022.
- [54] Verma A., Singh S.V., *Spray drying of fruit and vegetable juices – a review*, „Critical Reviews in Food Science and Nutrition” 2015, Vol. 55, No. 5, s. 701–719.
- [55] Vvedenskaya I.O., Rosen R.T., Guido J.E., Russell D.J., Mills K.A., Vorsa N., *Characterization of flavonols in cranberry (Vaccinium macrocarpon) powder*, „Journal of Agricultural and Food Chemistry” 2004, Vol. 52, No. 2, s. 188–195.
- [56] WHO, *Non communicable diseases*, 2018; <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/noncommunicable-diseases> (dostęp: 01.09.2020).
- [57] Wijngaard H.H., Rößle C., Brunton N., *A survey of Irish fruit and vegetable waste and by-products as a source of polyphenolic antioxidants*, „Food Chemistry” 2009, Vol. 116, No. 1, s. 202–207.
- [58] Witczak A., Pohoryło A., *Ocena zanieczyszczenia żywności pestycydami fosforoorganicznymi a ryzyko zdrowotne konsumentów*, „Kosmos” 2016, t. 65, nr 4, s. 503–512.
- [59] Xiaoping F., Yajun W., Zijue Z., Fangying W., Danyang Y., *A review on explosion puffing technology for fruits and vegetables*, „International Journal of Food Engineering” 2018, Vol. 4, No. 4, s. 332–336.

- [60] Yeung C.-M., Tan Y., Tam S., Lu L., Ko K.-H., Yang P.-H., Kung H.-F., Lin M.-C., *The antidiabetic effects of a dry powder of dietary vegetable and fruit mixtures in diabetic db/db mice*, „Biologics” 2008, Vol. 2, No. 3, s. 571–576.
- [61] *Zasady prawidłowego żywienia – Piramidy zdrowego żywienia i aktywności fizycznej*; <http://www.izz.waw.pl/zasady-prawidowego-zywienia> (dostęp: 23.08.2020).
- [62] Zhang J., Oxinos G., Maher J.H., *The effect of fruit and vegetable powder mix on hypertensive subjects: a pilot study*, „Journal of Chiropractic Medicine” 2009, Vol. 8, No. 3, s. 101–106.

NEW DIRECTIONS IN THE PRODUCTION OF FRUIT AND VEGETABLE POWDERS

Fruits and vegetable are subjected to numerous technological processes and therefore these products are available on the market in many forms. The relatively new one is connected with powdering process, that offers an attractive alternative to them. The amazing potential of fruit and vegetable powders results from their wide range of applications in the food industry and is also connected with the presence of bioactive components which affects their popularity among producers and consumers. The variety of ingredients from which the powders are made and availability of different production technologies make the powdered forms of fruit and vegetable easy to fit into the current trends in human nutrition and in the food industry such as food personalization or the so-called “clean label” trend that leads to the reduction to the necessary minimum or complete elimination of artificial food additives. With a properly conducted technological process, fruit and vegetable powders can be a valuable source of bioactive ingredients, including polyphenols with strong antioxidant properties. Such powders are an extremely attractive products for increasingly conscious and thus demanding consumers. However, the obtainment of high-quality powders with similar composition to the fresh fruits and vegetable and minimalization of the content of undesirable compounds that may be formed during the powderisation process is still a huge challenge for food technologists and industry. Therefore, the following paper presents innovative ways of production of fruit and vegetable powders, which allow to improve their quality, and also to create their new functional properties. The directions, possibilities and perspectives of development for this type of products in the context of scientific research and industrial production were also included.

ISBN 978-83-7493-149-6

