



Załącznik 4 do wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego

Instytut Nauk Drzewnych i Meblarstwa
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Katedra Technologii i Przedsiębiorczości w Przemysle Drzewnym

WYKAZ OSIĄGNIĘĆ NAUKOWYCH

dr inż. Edyta Małachowska

Warszawa 2025

Spis treści

OKRES PRZED UZYSKANIEM STOPNIA NAUKOWEGO DOKTORA	4
I. WYKAZ AKTYWNOŚCI NAUKOWEJ	4
A. WYKAZ OPUBLIKOWANYCH PRAC NAUKOWYCH	4
B. WYKAZ WYSTĄPIEŃ NA KRAJOWYCH LUB MIĘDZYNARODOWYCH KONFERENCJACH NAUKOWYCH I WYKŁADÓW PLENARNYCH.....	7
C. WYKAZ UCZESTNICTWA W PRACACH ZESPOŁÓW BADAWCZYCH REALIZUJĄCYCH PROJEKTY FINANSOWANE W DRODZE KONKURSÓW KRAJOWYCH LUB ZAGRANICZNYCH.....	7
D. WYKAZ WDROŻONYCH TECHNOLOGII.....	8
OKRES PO UZYSKANIU STOPNIA NAUKOWEGO DOKTORA.....	9
I. OSIĄGNIĘCIA NAUKOWE, O KTÓRYCH MOWA W ART. 219 UST. 1. PKT 2 USTAWY Z DNIA 20 LIPCA 2018 R. PRAWO O SZKOLNICTWIE WYŻSZYM I NAUCE (DZ. U. Z 2021 R. POZ. 478 Z PÓŹN. ZM.)	9
A. TYTUŁ OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO	9
B. WYKAZ PUBLIKACJI WCHODZĄCYCH W SKŁAD OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO.....	9
C. OMÓWIENIE CELU NAUKOWEGO I OSIĄGNIĘTYCH WYNIKÓW OPISANYCH W CYKLU PUBLIKACJI STANOWIĄCYCH OSIĄGNIĘCIE NAUKOWE	12
II. WYKAZ AKTYWNOŚCI NAUKOWEJ	39
A. WYKAZ OPUBLIKOWANYCH PRAC NAUKOWYCH	39
B. WYKAZ WYSTĄPIEŃ NA KRAJOWYCH LUB MIĘDZYNARODOWYCH KONFERENCJACH NAUKOWYCH I WYKŁADÓW PLENARNYCH.....	44
C. WYKAZ UCZESTNICTWA W PRACACH ZESPOŁÓW BADAWCZYCH REALIZUJĄCYCH PROJEKTY FINANSOWANE W DRODZE KONKURSÓW KRAJOWYCH LUB ZAGRANICZNYCH.....	45
D. WYKAZ CZŁONKOSTWA W MIĘDZYNARODOWYCH LUB KRAJOWYCH ORGANIZACJACH I TOWARZYSTWACH NAUKOWYCH.....	45
E. WYKAZ STAŻY W INSTYTUCJACH NAUKOWYCH	46
F. WYKAZ RECENZOWANYCH PRAC NAUKOWYCH.....	46
G. WYKAZ UCZESTNICTWA W PROGRAMACH EUROPEJSKICH LUB INNYCH PROGRAMACH MIĘDZYNARODOWYCH.....	48
H. WYKAZ UCZESTNICTWA W ZESPOŁACH OCENIAJĄCYCH WNIOSKI O FINANSOWANIE BADAŃ, WNIOSKI O PRZYZNANIE NAGRÓD NAUKOWYCH, WNIOSKI W INNYCH KONKURSACH MAJĄCYCH CHARAKTER NAUKOWY LUB DYDAKTYCZNY	48
III.WSPÓŁPRACA Z OTOCZENIEM SPOŁECZNYM I GOSPODARCZYM	48
A. WYKAZ DOROBKU TECHNOLOGICZNEGO	49
B. WSPÓŁPRACA Z SEKTOREM GOSPODARCZYM	51
C. WYKAZ WDROŻONYCH TECHNOLOGII.....	52
D. WYKAZ WYKONANYCH EKSPERTYZ LUB INNYCH OPRACOWAŃ WYKONANYCH NA ZAMÓWIENIE INSTYTUCJI PUBLICZNYCH LUB PRZEDSIĘBIORCÓW	53
E. WYKAZ UDZIAŁU W ZESPOŁACH EKSPERTCKICH LUB KONKURSOWYCH	53
IV.DANE NAUKOMETRYCZNE	54
A. IMPACT FACTOR	54
B. LICZBA CYTOWAŃ PUBLIKACJI	54
C. INDEKS HIRSCHA	54

Niniejszy wykaz stanowi załącznik do wniosku o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego i dokumentuje mój znaczący wkład w rozwój dyscypliny nauki leśnej w dziedzinie nauk rolniczych.

Wykaz obejmuje:

- **Osiągnięcie naukowe**, o którym mowa w art. 219 ust. 1 pkt 2b ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.) – w postaci cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych, przedstawionych w kontekście spójnego problemu badawczego;
- **Wykaz aktywności naukowej;**
- **Współpracę z otoczeniem społecznym i gospodarczym;**
- **Dane naukometryczne.**

Wykaz stanowi syntetyczne zestawienie wymienionych osiągnięć i aktywności naukowych, których szczegółowe omówienie zawarto w Autoreferacie – załączniku 3 do wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego. Osiągnięcia opisano chronologicznie, z podziałem na okres przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora (do listopada 2018 roku) oraz po jego uzyskaniu (od roku 2019), co umożliwia wskazanie kierunku rozwoju mojej działalności naukowej oraz samodzielności badawczej.

OKRES PRZED UZYSKANIEM STOPNIA NAUKOWEGO DOKTORA

I. WYKAZ AKTYWNOŚCI NAUKOWEJ

A. Wykaz opublikowanych prac naukowych

Lp.	Dane bibliometryczne artykułów wraz z udziałem własnym	Impact Factor	Punktacja MNiSW
Publikacje naukowe z Części A Wykazu Czasopism Naukowych MNiSW, posiadające współczynnik wpływu <i>Impact Factor</i> i indeksowane w bazie <i>Journal Citation Reports</i> (w kolejności chronologicznej)			
[1]	Przybysz Kamila, Małachowska Edyta, Martyniak Danuta, Boruszewski Piotr, Iłowska Jolanta, Kalinowska Halina, Przybysz Piotr* Yield of pulp, dimensional properties of fibers, and properties of paper produced from fast growing trees and grasses <i>BioResources</i>, 2018, 13(1): 1372-1387 DOI: 10.15376/biores.13.1.1372-1387	1,396	40
<i>Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współudziale w wykonanych w ramach pracy analizach badawczych – roztworzeniu badanych surowców włóknistych, scharakteryzowaniu właściwości wytworzonych mas włóknistych, wytworzeniu laboratoryjnych arkuszy papieru, zbadaniu ich właściwości oraz współudziale w interpretacji otrzymanych wyników.</i> Mój udział procentowy szacuję na 2%.			
[2]	Przybysz Buzala Kamila, Kalinowska Halina, Małachowska Edyta, Przybysz Piotr* The utility of selected kraft hardwood and softwood pulps for fuel ethanol production <i>Industrial Crops and Products</i>, 2017, 108: 824-830 DOI: DOI: 10.1016/j.indcrop.2017.07.038	3,849	40
<i>Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na udziale w wykonanych w ramach pracy analizach badawczych – roztworzeniu badanych surowców włóknistych, scharakteryzowaniu parametrów procesu roztwarzania i właściwości wytworzonych mas włóknistych oraz współudziale w interpretacji otrzymanych wyników.</i>			

* Autor korespondencyjny

Mój udział procentowy szacuję na 10%.

- | | | | |
|---|--|-------|----|
| [3] | Przybysz Buzala Kamila *, Kalinowska Halina,
Przybysz Piotr, Małachowska Edyta | 1,706 | 40 |
| Conversion of various types of lignocellulosic biomass
to fermentable sugars using kraft pulping and
enzymatic hydrolysis | | | |
| <i>Wood Science and Technology</i> , 2017, 51: 873-885 | | | |
| DOI: 10.1007/s00226-017-0916-7 | | | |
-

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu oznaczeń stopnia polimeryzacji celulozy badanych mas włóknistych oraz współudziale w tworzeniu roboczej wersji manuskryptu.

Mój udział procentowy szacuję na 5%

Publikacje naukowe z Części B Wykazu Czasopism Naukowych MNiSW, nie posiadające współczynnika wpływu *Impact Factor*

- | | | | |
|---|--|---|----|
| [4] | Małachowska Edyta* , Przybysz Piotr, Dubowik
Marcin, Kucner Marta, Buzala Kamila | – | 10 |
| Comparison of papermaking potential of wood and
hemp cellulose pulps | | | |
| <i>Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW,
Forestry and Wood Technology</i> , 2015, 91: 134-137
104-110 | | | |
-

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współtworzeniu koncepcji pracy, wykonaniu prac badawczych, interpretacji wyników, napisaniu manuskryptu i złożeniu pracy do wydawnictwa.

Mój udział procentowy szacuję na 60%.

- | | | | |
|--|---|---|----|
| [5] | Przybysz Piotr *, Kucner Marta, Dubowik Marcin,
Małachowska Edyta , Buzala Kamila | – | 10 |
| Papermaking potential of poplar pulps reinforced
with pine fibers | | | |
| <i>Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW,
Forestry and Wood Technology</i> , 2015, 92: 351-354 | | | |
-

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współudziale w analizach badawczych.

Mój udział procentowy szacuję na 5%.

- | | | | |
|--|---|---|----|
| [6] | Buzala Kamila*, Przybysz Piotr, Kucner Marta,
Dubowik Marcin, Małachowska Edyta | – | 10 |
| Selection of enzymes for pulp refining | | | |
| <i>Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW,
Forestry and Wood Technology</i> , 2015, 92: 60-63 | | | |
-

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współudziale w edycji manuskryptu.

Mój udział procentowy szacuję na 5%.

-
- | | | | |
|-----|--|---|----|
| [7] | Kucner Marta*, Dubowik Marcin, Buzala Kamila,
Małachowska Edyta , Przybysz Piotr | — | 10 |
| | Influence of temperature on Bendtsen air permeability | | |
| | <i>Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Forestry and Wood Technology</i> , 2015, 92: 234-237 | | |
-

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współudziale w interpretacji wyników badań.

Mój udział procentowy szacuję na 5%.

-
- | | | | |
|-----|--|---|----|
| [8] | Dubowik Marcin*, Kucner Marta, Buzala Kamila,
Małachowska Edyta , Przybysz Piotr | — | 10 |
| | Effect of refiner load on Bendtsen air permeability | | |
| | <i>Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Forestry and Wood Technology</i> , 2015, 92: 92-95 | | |
-

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współudziale w interpretacji wyników badań.

Mój udział procentowy szacuję na 5%.

Materiały konferencyjne

- | | | |
|-----|---|--|
| [9] | Kucner Marta*, Przybysz Piotr, Dubowik Marcin, Przybysz Kamila, Małachowska Edyta | |
| | The impact of storage conditions of pulp on its susceptibility to refining and properties of fibers | |
| | <i>Journal of International Scientific Publications, Materials, Methods & Technologies</i> , 2016,10: 224-231 | |
-

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współudziale w interpretacji wyników badań.

Mój udział procentowy szacuję na 5%.

-
- | | | |
|------|---|--|
| [10] | Dubowik Marcin*, Przybysz Piotr, Kucner Marta, Przybysz Kazimierz, Małachowska Edyta | |
| | Effect of refiner load on papermaking potential of cellulosic pulp | |
| | <i>Journal of International Scientific Publications, Materials, Methods & Technologies</i> , 2016,10: 231-238 | |
-

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współudziale w interpretacji wyników badań.

Mój udział procentowy szacuję na 5%.

B. Wykaz wystąpień na krajowych lub międzynarodowych konferencjach naukowych i wykładów plenarnych

- [1] **Seminarium podsumowujące Fazę A projektu „EKOPOLPAK”** pt. „Możliwości wykorzystania surowców odnawialnych i innowacyjnych impregnatów parafinowych w produkcji opakowań przeznaczonych do kontaktu z żywnością. Innowacje i postęp technologiczny”, Opole: 16–17/11/2017
Ocena zdolności papierotwórczej jednorocznych szybkoorosnących surowców włóknistych do produkcji papieru – prezentacja
- [2] **VII Wyjazdowa Sesja Naukowa Doktorantów Politechniki Łódzkiej**, Rogów: 10–12/04/2017
Application of pulps from alternative raw materials as a way to improve efficiency in refining process of cellulose pulps – poster
- [3] **XVII Festiwal Nauki, Techniki i Sztuki**, Łódź: 06/04/2017
Kwaśny papier – prezentacja
- [4] **Mała Wielka Nauka „W labiryncie nauki”**, Łódź: 09–10/12/2016
Zdolność papierotwórcza mas celulozowych z surowców szybkoorosnących – prezentacja
- [5] **Pan Pacific Conference 2016** of the Technical Associations of the Pulp and Paper Industry, Seul: 25–28/10/2016
Pulps from fast-growing plants as a way to reduce energy consumption in refining process – poster
- [6] **XVI Festiwal Nauki, Techniki i Sztuki**, Łódź: 21/04/2016
Wszechstronne konopie – prezentacja
- [7] **VI Wyjazdowa Sesja Naukowa Doktorantów Politechniki Łódzkiej**, Rogów: 11–13/04/2016
Comparison of papermaking potential of wood and hemp cellulose pulps – poster
- [8] **XXIX Międzynarodowa Konferencja Naukowa Wydziału Technologii Drewna SGGW “DREWNO – MATERIAŁ XXI WIEKU”**, Rogów: 17–18/11/2015
Comparison of papermaking potential of wood and hemp cellulose pulps – prezentacja
- [9] **XV Festiwal Nauki, Techniki i Sztuki**, Łódź: 23/04/2015
Czy opakowanie oddziałuje na żywność – prezentacja

C. Wykaz uczestnictwa w pracach zespołów badawczych realizujących projekty finansowane w drodze konkursów krajowych lub zagranicznych

- [1] 02/2016–09/2017 – wykonawca na stanowisku specjalisty B+R w projekcie BIOSTRATEG2/298537/7/NCBR/2016
Nowe opakowania z wykorzystaniem surowców odnawialnych i innowacyjnych impregnatów parafinowych
- [2] 10/2014–03/2017 – wykonawca na stanowisku specjalisty B+R w projekcie LIDER/042/407/L-4/12/NCBR/2013
Badanie mechanizmu i kinetyki fibrylacji włókien celulozowych w aspekcie

zmniejszenia jednostkowego zużycia energii w procesie mielenia

- [3] 10/2014–02/2016 – wykonawca na stanowisku specjalisty B+R w projekcie PBS1/A8/16/2013

Wykorzystanie linii topoli o zwiększonym potencjale przyrostu biomasy i ulepszonej kompozycji chemicznej drewna w technologii produkcji papieru i biopaliw

D. Wykaz wdrożonych technologii

- [1] **Technologia nanoszenia emulsji parafinowych na papiery pakowe** – opracowanie warunków technologicznych procesu nanoszenia emulsji parafinowych na papiery pakowe, realizowane w ramach projektu BIOSTRATEG2/298537/7/NCBR/2016 „Nowe opakowania z wykorzystaniem surowców odnawialnych i innowacyjnych impregnatów parafinowych”. Technologia została wdrożona w firmie Opakowaniamax i umożliwia uzyskanie powłok zapewniających poprawę odporności powierzchni papieru na czynniki zewnętrzne oraz zwiększenie jego funkcjonalności użytkowej.

OKRES PO UZYSKANIU STOPNIA NAUKOWEGO DOKTORA

I. OSIĄGNIĘCIA NAUKOWE, O KTÓRYCH MOWA W ART. 219 UST. 1. PKT 2 USTAWY Z DNIA 20 LIPCA 2018 R. PRAWO O SZKOLNICTWIE WYŻSZYM I NAUCE (DZ. U. Z 2021 R. POZ. 478 Z PÓŹN. ZM.)

A. Tytuł osiągnięcia naukowego

Przedstawione osiągnięcie naukowe stanowi cykl 8 tematycznie powiązanych publikacji, pod wspólnym tytułem:

OCENA ZDOLNOŚCI PAPIEROTWÓRCZEJ MAS MAKULATUROWYCH ORAZ MOŻLIWOŚCI JEJ POPRAWY W WARUNKACH ROSNĄCEGO ODZYSKU PAPIERNICZEGO SUROWCA WTÓRNEGO,

z których 5 opublikowano w czasopismach posiadających współczynnik wpływu Impact Factor (IF) i indeksowanych w bazie Journal Citation Reports (JCR), pozostałe 3 natomiast opublikowano w czasopiśmie ujętym w Części B Wykazu Czasopism Naukowych MNiSW.

B. Wykaz publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego

Lp.	Dane bibliometryczne artykułów wraz z udziałem własnym	Impact Factor	Punktacja MNiSW
Publikacje naukowe z Części A Wykazu Czasopism Naukowych MNiSW, posiadające współczynnik wpływu <i>Impact Factor</i> i indeksowane w bazie <i>Journal Citation Reports</i> (w kolejności chronologicznej)			
[1]	Małachowska Edyta* Impact of retention agents on functional properties of recycled paper in sustainable manufacturing <i>Applied Sciences</i> , 2025, 15(2): 875 DOI: 10.3390/app15020875	2,5	100
<i>Praca wykonana samodzielnie.</i> Mój udział procentowy szacuję na 100%.			
[2]	Małachowska Edyta* Striving for sustainable solutions: optimizing utility properties of recycled paper with the addition of wet	3,3	100

* Autor korespondencyjny

strength resin <i>Sustainability</i>, 2024, 16(9): 3752 DOI: 10.3390/su16093752		
<i>Praca wykonana samodzielnie.</i> Mój udział procentowy szacuję na 100%.		
[3] Małachowska Edyta*, Dubowik Marcin, Przybysz Piotr Morphological differences between virgin and secondary fibres <i>Sustainability</i>, 2023, 15(10): 8334 DOI: 10.3390/su15108334	3,3	100
<i>Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na stworzeniu koncepcji pracy, roztworzeniu pierwotnych mas włóknistych, współudziale w wykonanych w ramach pracy analizach badawczych masy i włókien, interpretacji wyników, współtworzeniu wersji roboczej manuskryptu, złożeniu pracy do redakcji, korespondencji z edytorem, jak również ustosunkowaniu się do uwag recenzentów wraz z przygotowaniem finalnej wersji manuskryptu.</i> Mój udział procentowy szacuję na 80%.		
[4] Małachowska Edyta*, Lipkiewicz Aneta, Dubowik Marcin, Przybysz Piotr Which wastepaper should not be processed? <i>Sustainability</i>, 2023, 15(4): 2850 DOI: 10.3390/su15042850	3,3	100
<i>Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współtworzeniu koncepcji i metodyki badawczej, współudziale w wykonanych w ramach pracy analizach badawczych, interpretacji wyników, współtworzeniu wersji roboczej manuskryptu, wysłaniu pracy do redakcji, korespondencji z edytorem, jak również ustosunkowaniu się do uwag recenzentów wraz z przygotowaniem finalnej wersji manuskryptu.</i> Mój udział procentowy szacuję na 70%.		
[5] Lipkiewicz Aneta, Małachowska Edyta*, Dubowik Marcin, Przybysz Piotr Impact of shredding degree on papermaking potential of recycled waste <i>Scientific Reports</i>, 2021, 11, 17528 DOI: 10.1038/s41598-021-96325-4	4,997	140
<i>Mój wkład w realizację pracy polegał na współtworzeniu zakresu badań i metodyki badawczej, udziale w wykonanych w ramach pracy analizach badawczych, współtworzeniu wersji roboczej manuskryptu, wysłaniu pracy do redakcji, korespondencji z edytorem i odniesieniu się do uwag</i>		

recenzentów wraz z przygotowaniem finalnej wersji manuskryptu.

Mój udział procentowy szacuję na 35%.

Publikacje naukowe z Części B Wykazu Czasopism Naukowych MNiSW, nie posiadające współczynnika wpływu *Impact Factor* (w kolejności chronologicznej)

[6] **Wolska Weronika, Małachowska Edyta*** — **70**

Paper recycling as an element of sustainable development

Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Forestry and Wood Technology, 2023, 123: 66-75

DOI: 10.5604/01.3001.0054.1351

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na stworzeniu koncepcji pracy, opracowaniu zakresu tematycznego publikacji oraz współudziale w tworzeniu finalnej wersji manuskryptu.

Mój udział procentowy szacuję na 50%.

[7] **Nikalaichyk Anhelina, Małachowska Edyta*** — **40**

The influence of screening process parameters on paper properties produced from wastepaper

Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Forestry and Wood Technology, 2020, 110: 16-24

DOI: 10.5604/01.3001.0014.3677

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na stworzeniu koncepcji, zakresu i metodyki badań, pozyskaniu mas makulaturowych do badań, a także współudziale w interpretacji wyników badań oraz współudziale w tworzeniu finalnej wersji manuskryptu.

Mój udział procentowy szacuję na 50%.

[8] **Niska Aleksandra, Małachowska Edyta*** — **40**

The effect of the addition of primary fibers on the papermaking ability of wastepaper

Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Forestry and Wood Technology, 2019, 108: 104-110

DOI: 10.5604/01.3001.0013.7690

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji pracy oraz metodyki badawczej, pozyskaniu mas włóknistych do badań, a także współudziale w interpretacji wyników analiz badawczych oraz edycji i przygotowaniu finalnej wersji manuskryptu.

Mój udział procentowy szacuję na 50%.

C. Omówienie celu naukowego i osiągniętych wyników opisanych w cyklu publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe

Prezentowane wyniki, opracowane w ramach cyklu 8 powiązanych tematycznie publikacji, stanowią osiągnięcie naukowe będące podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk rolniczych w dyscyplinie nauki leśne. Wskazane publikacje stanowią część prac badawczych realizowanych w latach 2019–2023 w ramach projektu POIR.01.01.01-00-0084/17, pt. „Opracowanie innowacyjnej technologii usuwania nadmiarowej frakcji drobnej i mineralnej z masy makulaturowej w celu optymalizacji zdolności papierotwórczej masy papierniczej do produkcji papierów sanitarno-higienicznych wraz z pilotażową instalacją technologiczną w przedsiębiorstwie JACK-POL”. Sumaryczny wskaźnik Impact Factor publikacji, zgodnie z rokiem ich wydania, wynosi 17,397, natomiast suma punktów według klasyfikacji MNiSW kształtuje się na poziomie 690. Przedstawione w ramach cyklu prace w większości powstały według mojej koncepcji badawczej lub z jej istotnym uwzględnieniem w pozostałych przypadkach. W każdej z prac pełniłam rolę autora korespondencyjnego, a w większości także autora wiodącego.

Wprowadzenie – geneza zagadnienia

Współczesna era charakteryzuje się dynamicznym wzrostem zapotrzebowania na papier, napędzanym zarówno potrzebami codziennego użytku, jak i intensywnym rozwojem sektora opakowaniowego. W 2023 roku globalna konsumpcja papieru i tektury osiągnęła poziom około 420 milionów ton¹, co czyni z przemysłu papierniczego jedną z kluczowych gałęzi przetwórstwa surowców naturalnych. Jednocześnie intensywna eksploatacja surowca drzewnego, prowadzi do systematycznego wyczerpywania zasobów leśnych oraz rosnącej presji na środowisko naturalne. Drewno jako podstawowy surowiec włóknisty pokrywa obecnie jedynie około 50% światowego zapotrzebowania na włókna celulozowe^{2,3}, a jego deficyt już w październiku 2021 roku osiągnął rekordowy poziom 35%⁴, znacząco ograniczając możliwości operacyjne wielu zakładów produkcyjnych. W obliczu niestabilności podaży, rosnących kosztów surowca, narastającej presji środowiskowej oraz rosnącego popytu na wyroby papiernicze, ograniczona dostępność surowca drzewnego staje się jednym z najpoważniejszych wyzwań dla współczesnego przemysłu papierniczego. W odpowiedzi na te trudności rośnie znaczenie alternatywnych źródeł włókien celulozowych, w szczególności surowców wtórnych. Jednym z najbardziej perspektywicznych kierunków działań staje się zwiększenie udziału makulatury w produkcji papieru. Jej wykorzystanie jako substytutu włókien pierwotnych przestaje być zatem jedynie rozwiązaniem ekologicznym – staje się warunkiem koniecznym do zapewnienia ciągłości produkcji na skalę odpowiadającą globalnemu zapotrzebowaniu.

Od początku XXI wieku europejski łańcuch wartości w branży papierniczej konsekwentnie dąży zatem do realizacji dwóch kluczowych celów: poprawy wskaźników recyklingu oraz intensyfikacji działań mających na celu usunięcie przeszkód utrudniających ponowne wykorzystanie papieru i tektury w Europie. W ramach tych działań, w 2021 roku sygnatariusze europejskiej deklaracji w sprawie recyklingu papieru (European Declaration on Paper Recycling 2021 – 2030)⁵ zobowiązali się do osiągnięcia 76% wskaźnika recyklingu papieru (stosunek recyklingu zużytego papieru, w tym handel netto papierem do recyklingu, do zużycia nowego papieru i tektury) do 2030 roku. Jak wynika z najnowszych raportów

Europejskiej Rady Recyklingu Papieru (European Paper Recycling Council, EPRC)^{6,7}, w 2023 roku recykling papieru osiągnął rekordowy poziom 79,3%, przewyższając wartości notowane dla wszystkich innych materiałów. W 2024 roku wskaźnik ten spadł do 75,1%, należy jednak zauważyć, że wynik z 2023 roku był wyjątkowo wysoki ze względu na stosunkowo niski poziom widocznego zużycia. Analiza postępów poczynionych od 1998 roku, roku bazowego dla pierwszego dobrowolnego zobowiązania ustanowionego w europejskiej deklaracji w sprawie recyklingu papieru, pokazuje, że recykling papieru wzrósł o 34,2%, co odzwierciedla skuteczność podejmowanych działań na rzecz poprawy gospodarki obiegu zamkniętego.

Wysokie wskaźniki recyklingu papieru w Europie oraz ich dynamiczny wzrost w ostatnich latach jasno wskazują na ogromny potencjał wykorzystania surowców wtórnych w produkcji papieru i tektury. Recykling papieru bowiem to nie tylko sposób na złagodzenie obserwowanego w ostatnich latach kryzysu surowcowego na rynku drzewnym, to przede wszystkim jedna z najskuteczniejszych form ochrony środowiska, a także jedyna dostępna obecnie droga do produkcji papieru w ilościach wystarczających do zaspokojenia globalnych potrzeb. Trzeba bowiem zauważyć, że realizacja obecnego zapotrzebowania na papier bez udziału surowców pochodzących z recyklingu stanowiłaby ogromne wyzwanie, a być może nawet nie była możliwa. Przetwarzanie makulatury nie sprowadza się jednak jedynie do ocalenia i/lub oszczędności naturalnych zasobów leśnych. Odzysk i recykling papieru przyczynia się również do znacznego ograniczenia zużycia energii i wody⁸. Na każdą tonę papieru wyprodukowanego z surowców wtórnych oszczędza się 3 000 ÷ 4 000 kWh energii elektrycznej^{9,10,11} (w zależności od rodzaju wytwarzanego papieru, technologii recyklingu oraz udziału włókien pierwotnych w masie), co przekłada się na redukcję emisji gazów cieplarnianych o około 700 ÷ 1 000 kg ekwiwalentu CO₂ w porównaniu z produkcją papieru z włókien pierwotnych^{12,13}. W efekcie emisje dwutlenku węgla są o 20 ÷ 50% niższe niż w przypadku produkcji papieru z pierwotnych mas celulozowych. Zużycie wody w procesie recyklingu jest również znacznie niższe – o co najmniej 30 000 litrów na każdą tonę papieru w porównaniu z tradycyjną produkcją z celulozowej masy pierwotnej. Recykling 1 kg papieru to także zmniejszenie zanieczyszczenia powietrza o około 75%, ograniczenie ilości ścieków o około 30% oraz redukcja ilości odpadów na wysypiskach, co w efekcie przyczynia się do obniżenia emisji metanu¹⁴. W związku z tym przemysł papierniczy, jako jeden z sektorów zużywających najwięcej zasobów, odgrywa kluczową rolę w promowaniu zrównoważonego zarządzania zasobami i przeciwdziałaniu degradacji środowiska. Dzięki recyklingowi możliwe jest także tworzenie produktów o wartości dodanej, co przyczynia się do zwiększenia wydajności papierni, rozwiązania problemów środowiskowych i zmniejszenia śladu węglowego^{15,16}. Na globalnym rynku, który coraz bardziej skłania się ku zrównoważonym produktom, przedsiębiorstwa zajmujące się produkcją i sprzedażą wyrobów z recyklingu papieru mogą wykorzystać ten rozwijający się segment, promując zielone innowacje. Ważnym elementem tych działań są wytyczne dotyczące selektywnej zbiórki papieru do recyklingu, która stanowi kluczowy czynnik zwiększający efektywność tego procesu. Selektywne gromadzenie papieru i tektury pozwala na maksymalne wykorzystanie ich potencjału recyklingowego dzięki utrzymaniu surowców w czystości i ograniczeniu zanieczyszczeń. W rezultacie zastosowanie selektywnej zbiórki prowadzi do wzrostu ilości makulatury o wysokiej jakości, co przekłada się na większą przewidywalność i stabilność jakości produkcji. Dodatkowo, sprzyja inwestycjom w innowacyjne technologie przerobu surowca,

napędzając ekologiczny wzrost gospodarczy. Inicjatywy te nie tylko wspierają branżę, ale także kształtują społeczną odpowiedzialność za środowisko. Świadomy recykling papieru buduje kulturę odpowiedzialności i zachęca społeczność do przyjmowania proekologicznych postaw, takich jak ograniczenie zużycia surowców i bardziej świadoma konsumpcja.

Pomimo oczywistych korzyści proces recyklingu papieru boryka się z szeregiem wyzwań, które ograniczają jego wydajność i skuteczność. Współczesny przemysł papierniczy stoi bowiem przed poważnym wyzwaniem związanym z pogarszającą się jakością surowców wtórnych, przy jednoczesnej presji na maksymalizację recyklingu i ograniczenie zużycia pierwotnych zasobów leśnych. Zwiększenie wskaźnika recyklingu papieru wymaga natomiast wykorzystania włókien pochodzących z wysokiej jakości papieru, ponieważ z każdym kolejnym cyklem procesu recyklingu właściwości materiału ulegają pogorszeniu. Włókna stają się krótsze i tracą swoje kluczowe właściwości papierotwórcze, co ogranicza możliwość ich dalszego wykorzystania^{17,18}. Według literatury maksymalna liczba cykli recyklingu włókien papierniczych wynosi od 4 do 7^{19,20}, przy czym w Europie w 2024 roku każde włókno przeszło średnio 4 cykle recyklingu i użytkowania⁶, podczas gdy średnia światowa w 2022 roku wynosiła 2,5 cyklu⁷. Obserwowane pogarszanie się parametrów jakościowych makulatury, wynikające zarówno ze wzrostu liczby cykli recyklingu włókien celulozowych, jak i coraz większej heterogeniczności odpadów papierowych, stawia pod znakiem zapytania zdolność papierotwórczą tego surowca i jego dalszą przydatność w przemyśle.

Pod pojęciem **zdolności papierotwórczej** (ang. *papermaking potential*) rozumie się całokształt właściwości surowcowych pozwalających na ocenę przydatności danego surowca do wytwarzania papieru. Pojęcie to integruje cechy surowca z właściwościami produktu końcowego, stanowiąc pomost między parametrami materiału włóknistego a jego funkcjonalnością w gotowym wyrobie. W Polsce koncepcja ta została wprowadzona i rozwinięta przez prof. dr. hab. inż. Kazimierza Przybysza^{21,22}. Analiza zdolności papierotwórczej obejmuje szereg parametrów, począwszy od charakterystyki morfologicznej włókien, poprzez właściwości masy włóknistej, aż po ocenę parametrów produktu końcowego. Pozwala to w sposób obiektywny monitorować zmiany zachodzące w surowcu włóknistym w toku jego przetwarzania oraz kolejnych cykli recyklingu. Zakres analizowanych właściwości dobiera się każdorazowo w zależności od przeznaczenia papieru – kluczowe parametry różnią się dla papierów opakowaniowych, graficznych czy sanitarno-higienicznych.

Kolejnym istotnym problemem jest zanieczyszczenie surowca papierniczego. Makulatura może zawierać w swoim składzie szerokie spektrum zanieczyszczeń²³ – począwszy od tzw. zanieczyszczeń ciężkich, takich jak ciała obce o wysokiej gęstości, np. metal czy piasek, po zanieczyszczenia chemiczne, w tym substancje lepkie (tzw. *stickies*), substancje żywiczne oraz substancje rozpuszczone. Obecność tych zanieczyszczeń może obniżać jakość papieru, zakłócać procesy technologiczne, takie jak sortowanie czy rozwłóknianie, a także znacząco zwiększać koszty przetwarzania surowca, a w niektórych przypadkach generować dodatkowe koszty związane z utylizacją odpadów. Niespełnienie określonych norm jakościowych często skutkuje zwrotem materiału do dostawcy, co sprawia, że zakłady papiernicze coraz częściej wprowadzają wewnętrzne regulacje dotyczące wymagań wobec dostarczanych surowców. Wśród kryteriów związanych z tym rodzajem surowca uwzględnia się m.in. rodzaje i odmiany makulatury.

Na polskim rynku dominującym rodzajem odzyskiwanej makulatury jest makulatura ze zużytych opakowań, tzw. OCC (*Old Corrugated Container*) z uwagi na ilość zużywanych opakowań. Makulatura tzw. biała, czyli pochodząca ze ścinek oraz zużytych papierów drukowych i do pisania stanowi jedynie około 5% całkowitego pozysku makulatury. Jednakże jest to makulatura, która najlepiej nadaje się do produkcji wytworów o wysokiej białości. Firma PWP JACK-POL Sp. z o. o. w Oławie, z której pozyskiwano materiał do badań wykorzystuje do swojej produkcji właśnie ten rodzaj surowca wtórnego. Spowodowane jest to faktem, że oczekiwany wytwór musi charakteryzować się możliwie wysoką białością. Według badań rynkowych jest to białosc na poziomie minimum 70% (wg ISO 2470). W ramach badań prowadzonych we wspólnie realizowanym projekcie, zaobserwowano, że występują bardzo duże zmiany w jakości makulatury obecnie dostarczanej do papierni, a surowiec jest bardzo zróżnicowanym materiałem pomimo zakwalifikowania poszczególnych sortów do tej samej odmiany, co niewątpliwie utrudnia stabilność procesu produkcyjnego. Biorąc pod uwagę tak dużą zmienność surowca, brak wstępnej kompleksowej analizy wtórnej masy włóknistej może skutkować otrzymaniem każdorazowo produktu końcowego o różnych właściwościach, pomimo zachowania stałych parametrów procesowych. Brak stałości w jakości produktu finalnego może przełożyć się na niezadowolenie konsumentów, ale również szereg problemów technologicznych wywołanych taką zmiennością surowca, co z kolei może generować duże straty dla papierni. Zrównoważona wydajność procesów produkcyjnych z minimalizacją emisji zanieczyszczeń i maksymalnym wykorzystaniem coraz gorszej jakości zasobów zyskuje natomiast na znaczeniu i staje się jednym z nadrzędnych celów branży papierniczej w nadchodzących latach. W związku z tym ocena możliwości efektywnego recyklingu makulatury oraz rozwój technologii przetwarzania wtórnych mas włóknistych stały się kluczowymi obszarami badań naukowych, w których należy podjąć pilne działania. W szczególności, konieczna jest kompleksowa analiza wtórnych mas włóknistych na etapie wstępnym, tak aby finalnie uzyskać produkt charakteryzujący się powtarzalnymi i zadowalającymi właściwościami pomimo nieustannie pogarszającej się jakości masy recyklingowej. W odpowiedzi na te wyzwania podjęto ukierunkowane badania, bazując na następujących przesłankach:

- Wzrost globalnego zapotrzebowania na wyroby papiernicze oraz prognozowany dalszy dynamiczny wzrost konsumpcji papieru na świecie;
- Nasilający się kryzys surowcowy w sektorze drzewnym, ograniczający dostępność pierwotnych włókien celulozowych;
- Spadek zdolności produkcyjnych mas włóknistych, skutkujący deficytem podaży papieru względem jego realnego zużycia;
- Wprowadzenie regulacji prawnych, mających na celu ograniczenie wycinki drzew oraz zwiększenie wskaźników odzysku i recyklingu surowców wtórnych;
- Znaczna zmienność jakościowa makulatury dostarczanej do papierni, obserwowana nawet w obrębie jednego sortu, pomimo formalnej zgodności z obowiązującą klasyfikacją;
- Postępujące obniżanie się jakości makulatury, przy równoczesnej konieczności utrzymania stabilnych parametrów funkcjonalnych papieru, zgodnych z oczekiwaniami konsumentów;

- Brak kompleksowych, empirycznie zweryfikowanych opracowań naukowych, dotyczących oceny przydatności dostępnych obecnie rodzajów makulatury o zróżnicowanej charakterystyce do produkcji papieru oraz ich rzeczywistej zdolności papierotwórczej.

Koncepcja badań i hipotezy badawcze

Punktem wyjścia dla podjęcia prezentowanego cyklu badań była obserwacja postępującego kryzysu surowcowego oraz systematycznego pogarszania się jakości dostępnej na rynku makulatury. Dotychczasowe podejścia badawcze i technologiczne koncentrowały się przede wszystkim na rozwijaniu metod pozyskiwania produktów o wysokiej wartości dodanej z surowców wtórnych, z pominięciem kwestii związanych z fundamentalną zdolnością makulatury do odtworzenia wymaganych właściwości funkcjonalnych papieru. W ramach podjętych analiz postawiono zatem kluczowe pytanie: **czy możliwe jest utrzymanie stabilnych parametrów użytkowych papieru, mimo stosowania makulatury o obniżonej jakości i wysokiej zmienności, oraz jakie operacje technologiczne należy zastosować, aby zachować lub zregenerować zdolność papierotwórczą surowca?** Analiza dostępnej literatury oraz praktyk przemysłowych ujawniła istotną lukę poznawczą w zakresie kompleksowej oceny zdolności papierotwórczej makulatury w kontekście jej postępującej degradacji oraz rosnącej heterogeniczności. Jednocześnie brakowało zweryfikowanych empirycznie strategii technologicznych umożliwiających kompensację niekorzystnych właściwości tego surowca czy jednoczesnym zapewnieniu stabilności parametrów jakościowych wytwarzanego papieru. W odpowiedzi na te potrzeby opracowano koncepcję cyklu badań ukierunkowaną na opracowanie praktycznych rozwiązań technologicznych minimalizujących skutki pogarszającej się jakości surowców wtórnych i wspierających stabilność procesów technologicznych. Wychodząc naprzeciw oczekiwaniom sektora papierniczego – zarówno po stronie producentów, jak i użytkowników końcowych – przeprowadzono badania umożliwiające weryfikację następujących hipotez badawczych:

- Kompleksowa ocena zdolności papierotwórczej masy makulaturowej na etapie wstępnym pozwala na wczesną identyfikację surowców wtórnych o ograniczonym potencjale aplikacyjnym, co umożliwia ich eliminację przed wprowadzeniem do procesu technologicznego, minimalizując ryzyko uzyskania papieru o niezadowalających właściwościach;
- Optymalizacja parametrów technologicznych oraz świadome modelowanie etapów przetwarzania makulatury pozwalają na efektywną kompensację obniżonej jakości surowca wtórnego, umożliwiając wytwarzanie papieru o stabilnych i zgodnych z wymaganiami użytkowymi właściwościach funkcjonalnych;
- Zoptymalizowane strategie recyklingu papieru – obejmujące kontrolowane rozdrobnienie surowca, zastosowanie ukierunkowanych dodatków chemicznych, korektę parametrów operacyjnych oraz odpowiedni udział włókien pierwotnych – skutecznie ograniczają negatywne skutki degradacji wtórnych włókien celulozowych, umożliwiając utrzymanie wysokich standardów jakościowych w produkcji papieru z recyklingu.

Cel i zakres pracy

Celem niniejszej pracy było określenie, czy pomimo postępującej degradacji włókien wtórnych oraz coraz bardziej intensywniej cyrkularności makulatury możliwe jest wytwarzanie papieru o stabilnych i powtarzalnych parametrach jakościowych, a także jakie działania technologiczne mogą wspierać regenerację zdolności papierotwórczej włókien i utrzymanie ich funkcjonalności w kolejnych cyklach recyklingu. Przeprowadzone badania ukierunkowane były na identyfikację krytycznych parametrów makulatury determinujących jej potencjał papierotwórczy oraz wskazanie metod umożliwiających kompensację obniżonych właściwości surowców wtórnych poprzez odpowiednio dobrane strategie technologiczne. Zastosowano przy tym podejście praktyczne – testy przeprowadzono w warunkach przemysłowych, co zapewniło wysoką użyteczność i aplikowalność uzyskanych wyników.

Zakres pracy obejmował następujące obszary badawcze:

- Identyfikacja różnic morfologicznych między włóknami pierwotnymi a wtórnymi:
 - charakterystyka włókien oraz mas włóknistych pochodzących z surowców pierwotnych i wtórnych, jako kluczowy punkt wyjścia do dalszych analiz nad optymalizacją procesów przygotowania masy makulaturowej.
- Określenie parametrów krytycznych makulatury decydujących o ich przydatności do produkcji papieru:
 - ocena zdolności papierotwórczej wybranych rodzajów makulatury;
 - identyfikacja kluczowych właściwości mas makulaturowych umożliwiających eliminację nieperspektywicznych surowców już na etapie przygotowania do procesu.
- Opracowanie metod kompensacyjnych dla pogarszającej się jakości surowca – analiza wybranych procesów technologicznych przerobu i przygotowania mas makulaturowych w celu uzyskania wglądu na działania produkcyjne oraz właściwości produktu finalnego:
 - ocena wpływu stopnia rozdrobnienia surowca (powierzchni niszczonego materiału) na właściwości papieru;
 - weryfikacja skuteczności procesów oczyszczania i sortowania mas wtórnych, w tym analiza wpływu szerokości szczeliny sita;
 - ocena efektywności wybranych dodatków chemicznych (środków retencyjnych i wodoutrwalających) w poprawie funkcjonalności papierów z recyklingu.
- Analiza wpływu dodatku włókien pierwotnych do mas makulaturowych:
 - ocena zmian zdolności papierotwórczej masy z recyklingu w zależności od udziału włókien pierwotnych w masie.
- Testy w skali przemysłowej:
 - weryfikacja przydatności wyników laboratoryjnych i póltechnicznych w rzeczywistych warunkach produkcyjnych.

Z uwagi na fakt, że głównym obszarem badań była ocena zdolności papierotwórczej makulatury, zasadne jest doprecyzowanie przyjętej strategii w kontekście technologii papierniczej i przeprowadzonych badań. Zdolność papierotwórcza, jak już wcześniej wspomniano, odnosi się do kompleksowej oceny przydatności surowca włóknistego do produkcji papieru, a kluczowym elementem tej oceny jest odpowiednie przygotowanie masy włóknistej poprzez proces mielenia, którego celem jest maksymalne rozwinięcie powierzchni

związanej w papierze. Istotne jest przy tym rozróżnienie między potencjalną a rzeczywistą zdolnością papierotwórczą – przed mieleniem ocenia się potencjalną zdolność włókien, natomiast po jego przeprowadzeniu określa się rzeczywistą zdolność papierotwórczą masy włóknistej. Mielenie zwiększa bowiem elastyczność włókien i ich zdolność do tworzenia wiązań, co korzystnie wpływa na właściwości mechaniczne oraz strukturalno-wymiarowe papieru, jednocześnie oddziałując na odwadnialność masy, co wymaga precyzyjnej optymalizacji procesu. Na podstawie danych literaturowych oraz doświadczeń przemysłowych przyjęto, że smarność na poziomie około 30°SR stanowi optymalny kompromis między wytrzymałością papieru a efektywnością odwadniania masy. Z tego względu wszystkie badane masy włókniste były mielone do poziomu 30°SR, co umożliwiło porównywalną i miarodajną ocenę ich potencjału papierotwórczego, zapewniając maksimum właściwości wytrzymałościowych mas i zdolność do ich łatwego odwodnienia.

Opis wyników badań

Publikacja [6] zatytułowana *Paper recycling as an element of sustainable development* stanowi punkt wyjścia do rozważań nad rolą recyklingu papieru w kontekście realizacji założeń zrównoważonego rozwoju. Przemysł papierniczy, będący sektorem o szczególnie wysokim zużyciu zasobów, odgrywa bowiem niezwykle istotną rolę w kształtowaniu proekologicznych strategii zarządzania surowcami. W ślad za tym, w pracy zaprezentowano koncepcję zrównoważonego rozwoju jako ramy teoretycznej dla oceny znaczenia recyklingu papieru, wskazując na jego wielowymiarowe korzyści środowiskowe, ekonomiczne i społeczne. Szczególny nacisk położono na wyzwania związane z jakością makulatury, która w sposób istotny determinuje efektywność i opłacalność całego procesu recyklingu. W tym kontekście autorzy postulują potrzebę wdrożenia kompleksowych rozwiązań systemowych, obejmujących: rozwój technologii umożliwiających efektywne przetwarzanie obecnie dostępnej makulatury, działania edukacyjne na rzecz kształtowania świadomości ekologicznej społeczeństwa, mechanizmy ekonomiczne wspierające inwestycje w recykling oraz odpowiednie ramy prawne i normatywne^{24,25,26,27}. Wskazano również na potrzebę standaryzacji surowców wtórnych oraz doprecyzowania wymogów jakościowych dla różnych klas makulatury. Tego rodzaju regulacje mogłyby znacząco usprawnić logistykę surowcową oraz zwiększyć skalę wykorzystania odpadów papierowych w produkcji, przyczyniając się tym samym do realizacji celów gospodarki o obiegu zamkniętym. Autorzy podkreślają, że skuteczna integracja recyklingu papieru w strukturze przemysłu wymaga holistycznego podejścia, uwzględniającego nie tylko aspekty technologiczne, ale również ekonomiczne i społeczne uwarunkowania rozwoju sektora^{28,29}. Publikacja ta pełni zatem funkcję koncepcyjnego i metodologicznego wprowadzenia do dalszych, bardziej szczegółowych analiz, ukierunkowanych na doskonalenie procesów przerobu makulatury. Stanowi także uzasadnienie dla podejmowania wielokierunkowych działań wspierających rozwój innowacyjnych strategii recyklingu jako integralnego elementu transformacji ku zrównoważonej gospodarce.

Wnioski płynące z publikacji [6] jednoznacznie wskazują na strategiczne znaczenie recyklingu papieru w kontekście realizacji celów zrównoważonego rozwoju, przy jednoczesnym podkreśleniu wyzwań wynikających z pogarszającej się jakości makulatury oraz rosnących wymagań względem parametrów użytkowych produktów papierniczych. Konieczność pogodzenia tych sprzecznych trendów stanowiła punkt wyjścia do dalszych,

ukierunkowanych badań eksperymentalnych. W kolejnych etapach prac, odpowiadając na zidentyfikowane wcześniej problemy związane ze spadkiem jakości surowców wtórnych oraz koniecznością zwiększenia efektywności procesów recyklingu, skoncentrowano się na analizie metod pozwalających na poprawę zdolności papierotwórczej makulatury. Głównym założeniem było opracowanie strategii kompensacyjnych, umożliwiających maksymalne wykorzystanie potencjału materiałów wtórnych, szczególnie w kontekście ograniczonej podaży włókien pierwotnych. W początkowej fazie badań uwagę skupiono na ocenie jakości materiału wtórnego oraz wpływie sposobu jego niszczenia na właściwości włókien, wykazując, że nawet tak wczesne działania jak odpowiedzialne zarządzanie odpadami biurowymi mogą realnie wpłynąć na zdolność papierotwórczą makulatury. Odpady biurowe stanowią bowiem około 20% całkowitego strumienia odpadów papierowych, i odpowiednio przetworzone, mogą być cennym źródłem włókien celulozowych. Jednakże nieodpowiednie metody niszczenia dokumentów, ukierunkowane głównie na bezpieczeństwo danych, często prowadzą do nadmiernej fragmentacji papieru, co znacząco obniża potencjał recyklingowy materiału. Badania wykazały bowiem, że rozdrobnienie makulatury biurowej do cząstek o powierzchni 1 mm² skutkuje skróceniem średniej długości włókien z 1,8 mm do 0,9 mm, a udział złamanych włókien wzrasta do poziomu 52,3%. Taka fragmentacja istotnie ogranicza możliwość ponownego wykorzystania włókien w procesie produkcyjnym. Większość ośrodków przetwarzających makulaturę nie wykorzystuje zatem małych pasków lub kawałków papieru, jasno wskazując, że niewłaściwie zniszczony papier jest znacznie bardziej problematyczny w utylizacji i dalszym procesie recyklingu niż makulatura nie poddana procesowi zniszczenia. Dane Environmental Paper Network jednoznacznie wskazują, że odpowiedzialne niszczenie papieru ma ogromne znaczenie nie tylko z punktu widzenia logistyki i efektywności transportu, ale przede wszystkim dla zachowania jakości włókien³⁰. W odpowiedzi na te problemy, publikacja [5] *Impact of shredding degree on papermaking potential of recycled waste* otwiera cykl badań, analizując wpływ stopnia rozdrobnienia makulatury na jej potencjał papierotwórczy, dostarczając tym samym cennych danych umożliwiających minimalizację uszkodzeń włókien i maksymalizację efektywności dalszych procesów odzysku poprzez właściwe zarządzanie procesem niszczenia odpadów papierowych. W tym celu przeprowadzono eksperymenty z wykorzystaniem próbek papieru o zróżnicowanych wymiarach, od fragmentów o powierzchni 1 mm² do 400 mm², które porównano z paskami papierów uzyskanych za pomocą biurowych niszczarek dokumentów, zgodnych z normą DIN 66399 (dokumentem regulującym wymogi i obowiązki w zakresie bezpiecznego niszczenia dokumentów i nośników danych). Analizie poddano właściwości masy papierniczej oraz otrzymanego z niej papieru, przy zachowaniu stałych warunków cyklu produkcyjnego.

Pierwszym parametrem poddanym analizie w ramach niniejszego badania był powszechnie stosowany w warunkach przemysłowych parametr do oceny stanu zmielonej papierniczej masy włóknistej, czyli wskaźnik smarności masy, oparty na umownym określeniu jej odwadnialności. Szybkość odwadniania masy na sicie maszyny papierniczej jest bardzo przydatnym wskaźnikiem w praktyce przemysłowej, będącym jednym ze wstępnych wyznaczników jej użyteczności. Wyniki wykazały, że smarność malała wraz ze wzrostem powierzchni cięcia (długości początkowej włókien) z 51°SR dla 1 mm² do 25°SR dla próbek o powierzchni ≥100 mm², odzwierciedlając mniejszą zawartość frakcji drobnej (z 11,70% do 2,81%), co ułatwia odwadnianie masy włóknistej, ale nie koreluje z maksymalną

wytrzymałością. Najczęściej przy wartości wskaźnika smarność około 30°SR papier uzyskiwany z większości mas celulozowych uzyskuje optymalne właściwości użytkowe. Przeprowadzone badania nie wskazują jednak uzyskanych mas o smarność zbliżonej do 30°SR jako tych, które osiągnęły maksymalne parametry wytrzymałościowe. Nie istnieje zatem prosta zależność między smarność a właściwościami papieru, a co za tym idzie, smarność masy nie może służyć do porównywania zdolności papierotwórczej masy o różnych parametrach początkowych.

Kolejną badaną zależność było określenie wpływu początkowej długości włókien na przebieg jednego z podstawowych efektów mielenia, czyli fibrylacji wewnętrznej^{31,32}. Postęp fibrylacji wewnętrznej mielonych włókien oceniono na podstawie określenia zawartości wody zatrzymanej we włóknach, oznaczonej wskaźnikiem WRV (ang. *Water Retention Value*)^{33,34}, który nie tylko odzwierciedla stopień spęcznienia włókien, ale także koreluje z wytrzymałością papieru. Parametr ten wzrastał przy zmniejszaniu wymiarów początkowych próbek, z 201,2% dla próbki referencyjnej do 214,5% w przypadku fragmentów 1×1 mm, co przełożyło się na 89% spadek przepuszczalności powietrza z 1421 ml/min (referencja) do 156 ml/min (1 mm²). Wzrost stopnia spęcznienia włókien przejawia się bowiem wzrostem zwartości struktury papieru, czyli zwiększoną odpornością papieru na przenikanie powietrza.

Charakterystyka morfologiczna wykazała skrócenie włókien z 1952 μm (400 mm²) do 967 μm (1 mm²), a także wzrost udziału złamanych włókien z 39,2% do 52,3% oraz indeksu makrofibrylacji z 0,758% do 1,135%. Istotne skrócenie włókien zachodziło jednakże dopiero dla próbek rozdrobnionych wstępnie na fragmenty o powierzchni poniżej 25 mm² (zmiany w zakresie 1651 ÷ 967 μm). Pozostałe wskaźniki morfologiczne masy także ulegały znaczącym zmianom jedynie w tym przedziale wstępnego rozdrobnienia materiału. Wzrost szerokości próbki początkowej powyżej 5 mm nie wywierał natomiast już istotnego wpływu na badane właściwości włókien i zawartość frakcji drobnej. Prawdopodobnie zatem szerokość paska papieru wynosząca 5 mm (poziom bezpieczeństwa P-7 zgodnie z klasyfikacją DIN 66399) stanowi granicę, powyżej której w masie celulozowej nie zachodzą już znaczące zmiany, co wskazuje na możliwość bezpiecznego niszczenia dokumentów przy zachowaniu wysokiej wartości użytkowej materiału wtórnego.

Kolejną zależność ujawniła mikroskopowa analiza mielonych mas celulozowych, która wykazała, że spadek długości włókien po procesie mielenia jest proporcjonalny do zmniejszenia wymiarów wstępnie pociętych próbek materiału badawczego. Najbardziej wyraźne skrócenie włókien zaobserwowano dla próbki o wymiarach 1 × 1 mm. Nie stwierdzono natomiast istotnej różnicy w wymiarach włókien dla próbek o wymiarach 10 × 10 mm oraz próbki referencyjnej. Obserwacja ta pozwala wnioskować, że możliwe jest niszczenie papieru w niszczarce do określonego poziomu fragmentacji bez obawy o nadmierne skrócenie włókien, które mogłoby utrudnić produkcję wysokiej jakości papieru. Mikroskopowe obrazy arkuszy papieru zobrazowały także inne istotne zmiany w strukturze włókien. Ich analiza wskazuje na brak naruszeń w przypadku próbek referencyjnych, jednakże papier uzyskany z próbek pociętych na kawałki o wymiarach 5 × 5 mm uwiadamia już zarówno nienaruszone, jak i pocięte włókna. Ta obserwacja wyraźnie wskazuje, że początkowe skracanie włókien w pewnym stopniu uszkadza strukturę włókien, co wpływa na ich średnią długość. Są to jednakże lokalne objawy skracania do określonej wielkości. Zdecydowana większość włókien pozostaje nienaruszona, podobnie jak w masie pierwotnej. Można zatem stwierdzić, że

skrącanie włókien jest akceptowalne do pewnego stopnia, jeżeli ogólna zmiana we frakcji włóknistej jest niewielka. Obraz mikroskopowy próbki o początkowych wymiarach 1×1 mm obrazuje z kolei dużą ilość uszkodzonych włókien. Nadmierna fragmentacja materiału włóknistego powoduje zatem znaczne uszkodzenia frakcji włóknistej, co z kolei pogarsza jej potencjał papierotwórczy, a w efekcie prowadzi do uzyskania produktu o zmniejszonej wartości użytkowej.

Analiza właściwości wytrzymałościowych wykazała, że wraz ze zmianą powierzchni próbek w zakresie $400 \div 1$ mm² indeks naprężenia zrywającego spadał z 74,6 Nm/g do 47,7 Nm/g (spadek o 36%), indeks pracy zerwania z 2,24 J/g do 1,53 J/g (32%), a indeks sztywności rozciągania z 6412 Nm/g do 5116 Nm/g (20%). Podobnie jak w przypadku właściwości włókien, wzrost powierzchni próbki powyżej 25 mm² nie prowadził już do istotnych zmian w wytrzymałości papieru, natomiast próbki poniżej tego progu cechowały się wyraźnym pogorszeniem zarówno statycznych, jak i dynamicznych parametrów gotowego wyrobu. Rozciągliwość natomiast pozostawała stabilna ($4,21 \div 4,53\%$), co pozostaje w sprzeczności z dotychczasowymi ustaleniami, które mówią, że długość włókien wywiera istotny wpływ na wskaźnik rozciągliwości papieru, a nadmierne skrócenie włókien oraz duża zawartość frakcji drobnej powoduje, iż wytwór staje się sztywny i zmniejsza się jego zdolność do odkształceń^{35,36}. Równocześnie, papier z mas charakteryzujących się niższą długością włókien cechował się lepszą gładkością (zmiany szorstkości w zakresie 230 ml/min (1 mm²) $\div$ 351 ml/min (400 mm²)) oraz odpornością na przenikanie powietrza, wynikającą z wyższej smarności tych mas^{37,38}. Początkowa długość włókien nie wpływała natomiast na stopień polimeryzacji celulozy w badanych masach, niezależnie od początkowych wymiarów próbek kształtował się on na tym samym poziomie (931), co potwierdza dotychczasowe ustalenia dostępne w literaturze, iż obróbka mechaniczna nie wywiera znaczącego wpływu na ten parametr³⁹.

Podsumowując, wyniki badań jednoznacznie wykazały, że odpowiedzialne zarządzanie odpadem makulaturowym już na etapie jego przygotowania do recyklingu może istotnie wpłynąć na efektywność przetwarzania surowca. Nadmierne rozdrobnienie papieru prowadzi do obniżenia zdolności papierotwórczej frakcji włóknistej oraz zwiększenia energochłonności procesu odwadniania. Z technologicznego i ekonomicznego punktu widzenia optymalny poziom fragmentacji wynosi powyżej 25 mm² (urządzenia klasy P-6, zgodnie z normą DIN 66399), co pozwala zachować równowagę między ochroną danych a możliwością efektywnego recyklingu.

Mimo, iż uzyskane wyniki jednoznacznie podkreśliły znaczenie procesów niszczenia w poprawie efektywności recyklingu, to postępująca degradacja włókien wtórnych w kolejnych cyklach przerobu pozostaje istotnym ograniczeniem w utrzymaniu odpowiedniej jakości papieru. Aby pogłębić zrozumienie tych ograniczeń oraz ocenić potencjał surowca wtórnego przed wdrożeniem strategii kompensacyjnych, przeprowadzono szczegółową analizę różnic morfologicznych między włóknami pierwotnymi a wtórnymi. Badania te przedstawiono w publikacji [3] zatytułowanej *Morphological differences between virgin and secondary fibres*. Analizy koncentrowały się na ocenie, czy istnieje taki poziom delignifikacji masy pierwotnej, przy którym cechy morfologiczne włókien zbliżają się do właściwości włókien wtórnych, a tym samym czy możliwe jest zamienne stosowanie tych mas bez negatywnego wpływu na jakość papieru. Zbadano również, czy istnieją punkty zbieżne w charakterystyce morfologicznej tych

dwóch grup surowców, które mogłyby posłużyć do opracowania przyszłych metod kompensacyjnych – umożliwiających utrzymanie stałej jakości papieru pomimo stosowania coraz gorszych jakościowo surowców wtórnych.

W badaniu wykorzystano sosnowe masy celulozowe o zróżnicowanym stopniu delignifikacji, odpowiadającym liczbie Kappa w zakresie $19,1 \div 89,7$ (co odpowiada zawartości ligniny w przedziale $2,9\% \div 13,5\%$). Dla celów porównawczych wykorzystano dwa rodzaje makulatury zgodne z normą PN-EN 643:2014 („Papier i tektura – Europejski wykaz znormalizowanych odmian papieru i tektury z odzysku”⁴⁰): makulaturę tzw. „białą” (klasyfikacja 3.04, obejmującą ścinki papieru bezdrzewnego, mało zadrukowane, bez kleju, papieru wodotrwałego i barwionego w masie) oraz makulaturę tzw. „mieszaną” bądź „barwną” (określaną numerem 3.19, formalnie sklasyfikowaną jako całe spektrum papierów rodzaju drugiego, czyli odmian średnich, zawierających papiery takie jak gazety, makulatura biurowa zadrukowana itp.). Ze względu na znaczną zmienność jakości makulatury w ramach tych samych sortów, przeanalizowano po trzy próbki każdego rodzaju makulatury, pochodzące z różnych dostaw i dostawców, aby uwzględnić zaobserwowaną heterogeniczność.

Pierwszym analizowanym parametrem był wskaźnik retencji wody WRV. Dla mielonych mas pierwotnych WRV wzrastał od 160,8% (Kappa 19,1) do 184,6% (Kappa 41,9), stabilizując się przy wyższych wartościach Kappa (od liczby Kappa rzędu około 42). Mielone masy wtórne wykazały znacznie niższą wartość wskaźnika – średnio 128,2% dla makulatury białej i 125,7% dla mieszanej – co stanowiło spadek o około 30% względem mas pierwotnych, nie wykazując przy tym żadnych korelacji w odniesieniu do zawartości ligniny. Różnice te najprawdopodobniej wynikają ze zjawiska hornifikacji, tj. usztywnienia i utracie zdolności pęcznienia włókien w wyniku wielokrotnego suszenia. Masom niemielonym (zarówno pierwotnym, jak i wtórnym) towarzyszyły wyraźnie niższe wartości WRV, co potwierdza wpływ mielenia na aktywację sorpcyjną włókien^{41,42}. Obniżenie wartości retencji wody we włóknach wtórnych prowadzi do obniżonej wytrzymałości wiązań między włóknami, skutkując niższą wytrzymałością na rozciąganie papieru z makulatury w porównaniu do arkusza z włókien pierwotnych, co jest wysoce niepożądane w przypadku wielu rodzajów papieru. Zrozumienie tych ograniczeń jasno wskazuje na potrzebę stosowania metod kompensacyjnych, takich jak dodatki chemiczne wzmacniające wiązania między włóknami lub optymalizacja procesów mielenia, aby zminimalizować skutki hornifikacji i poprawić jakość papieru produkowanego z makulatury.

Kolejnym analizowanym wskaźnikiem zdolności papierotwórczej masy włóknistej była zawartość frakcji drobnej, która odpowiada za liczne oddziaływania w procesie technologicznym wytwarzania papieru oraz bezpośrednio wpływa na właściwości gotowego produktu^{43,44}. Badania wykazały, że frakcja drobna w masach niemielonych nie zależała od stopnia delignifikacji i wynosiła $4 \div 7\%$ dla mas pierwotnych, podczas gdy w masach wtórnych była znacznie wyższa, osiągając wartości w zakresie $45 \div 67\%$. Ta ogromna różnica przekłada się na gorsze odwadnianie mas wtórnych, co potwierdzono pozytywną korelacją między zawartością frakcji drobnej a wskaźnikiem smarności masy papierniczej. Z kolei dla mas poddanych mieleniu można było zauważyć prawidłowość, że wzrost liczby Kappa w zakresie $19 \div 30$ nie powodował znaczących zmian badanego parametru ($26 \div 29\%$), jednakże dalszy spadek stopnia roztworzenia masy wpływał już proporcjonalnie na zwiększenie zawartości frakcji drobnej w przedziale $35 \div 47\%$, powstałej na skutek dłuższego czasu obróbki

celulozowej masy włóknistej w środowisku wodnym. Wzrost ten wynika z faktu, że włókna o wysokiej zawartości ligniny łatwo ulegają uszkodzeniu w procesie mielenia i oderwane elementy włókien tworzą znaczne ilości frakcji drobnej. Z kolei włókna dobrze roztworzone, z niższą zawartością ligniny, łatwiej ulegają uelastycznieniu (pęcznieniu), co czyni je mniej podatnymi na uszkodzenia prowadzące do powstawania frakcji drobnej. Jednak nawet w masach pierwotnych o najwyższej liczbie Kappa zawartość frakcji drobnej była niższa (maksymalnie 46%) niż w masach wtórnych (49 ÷ 55%). Brak korelacji między zawartością ligniny a frakcją drobną dodatkowo podkreśla heterogeniczność mas makulaturowych.

Analiza wymiarów włókien, kluczowych dla struktury papieru i dynamicznych właściwości wytrzymałościowych, wykazała wyraźne różnice między masami pierwotnymi a wtórnymi. Oba rodzaje mas makulaturowych charakteryzowały się około dwukrotnie niższą długością włókien w porównaniu do mas pierwotnych. Średnia ważona długość włókien pierwotnych w masach niemielonych wynosiła około 2300 μm , podczas gdy w masach wtórnych wartości te oscylowały w granicach 825 ÷ 994 μm , nie wykazując istotnych zmian w zależności od liczby Kappa. W przypadku mas podanych mieleniu, długość włókien pierwotnych zmniejszała się natomiast proporcjonalnie do stopnia delignifikacji – od 1567 μm (Kappa 19) do 1829 μm (Kappa 35). Masom wtórnym towarzyszyła z kolei znacznie niższa długość włókien – w przedziale 797 ÷ 920 μm – niezależna od rodzaju makulatury i jej składu chemicznego. Brak zależności między składem chemicznym a długością włókien w masach wtórnych wskazuje na ich mniejszy potencjał papierotwórczy. Już na etapie analizy właściwości włókien można zatem domniemywać, że papier wytworzony z makulatury będzie posiadał znacząco niższy opór przedarcia oraz wskaźnik rozciągliwości papieru⁴⁵, tak istotnych zwłaszcza w przypadku papierów higienicznych. Podobne zależności zaobserwowano w wynikach średnicy włókien, która w przypadku mas pierwotnych wzrastała proporcjonalnie do wzrostu liczby Kappa (od 32,0 μm przy liczbie Kappa 19 do 35,5 μm przy Kappa 89,7 w masach mielonych), podczas gdy w masach wtórnych oscylowała w granicach 22,4 ÷ 24,2 μm niezależnie od składu chemicznego. Podobną tendencję zaobserwowano dla wskaźnika coarseness masy (charakteryzującego pośrednio miąższość włókien, a także wykorzystywanego jako pośredni wskaźnik ich wytrzymałości oraz odkształcalności). Coarseness dla mas wtórnych był niższy średnio o 54% w porównaniu z masami pierwotnymi, co wynika z usuwania hemiceluloz i ligniny z wnętrza struktury włókien, przez co włókno zachowuje praktycznie niezmienną średnicę, natomiast jego masa ulega zmniejszeniu. Analiza pozostałych parametrów morfologicznych również ujawniła różnice. W masach wtórnych obserwowano mniejszy udział uszkodzeń i odkształceń struktury włókien, co można przypisać działaniu wcześniejszych procesów technologicznych (mielenie, prasowanie, suszenie)⁴⁶, prowadzących do trwałego prostowania włókien. Niższy stopień deformacji w makulaturze może poprawiać rozkład naprężeń w sieci włókien, zwiększając moduł sprężystości i wytrzymałość na rozciąganie, ale nie kompensuje ogólnej niższej jakości włókien, wynikającej z hornifikacji i mechanicznych uszkodzeń włókien w każdym z kolejnych cykli recyklingu.

Podsumowując, wyniki przeprowadzonych badań jednoznacznie wykazały, że mimo możliwości modyfikacji właściwości włókien pierwotnych poprzez kontrolę stopnia delignifikacji, nie udało się uzyskać morfologicznego odpowiednika wśród włókien wtórnych ani zidentyfikować punktów zbieżnych, które umożliwiałyby ich zamienne stosowanie bez

wpływu na jakość papieru. Masa makulaturowa, nawet w porównaniu do najmniej roztworzonych włókien pierwotnych, pozostaje surowcem o wyraźnie niższym potencjale papierotwórczym. Wyniki te jednoznacznie wskazują, że utrzymanie stabilnych parametrów jakościowych papieru przy rosnącym udziale surowców wtórnych wymaga wdrożenia kompleksowych strategii kompensacyjnych – obejmujących zarówno dobór odpowiednich dodatków chemicznych, jak i precyzyjną optymalizację parametrów procesów technologicznych. Równocześnie badania ujawniły wysoką heterogeniczność analizowanej makulatury. Nie tylko nie stwierdzono wyraźnych różnic między makulaturą białą a mieszaną, ale także w obrębie tych samych sortów zaobserwowano istotne zróżnicowanie jakości, wynikające z błędnej klasyfikacji i niejednorodności dostarczanego surowca. Taka zmienność znacząco utrudnia ocenę potencjału surowca oraz ogranicza możliwości standaryzacji produkcji, wskazując na konieczność wdrożenia bardziej rygorystycznych procedur sortowania, kontroli i klasyfikacji makulatury przed jej wprowadzeniem do procesu technologicznego. Poprawa jednorodności surowca wtórnego może znacząco zwiększyć efektywność jego przetwarzania i ułatwić uzyskanie papieru o stabilnych właściwościach użytkowych – nawet przy postępującym spadku jakości dostępnej makulatury.

Zmienność jakości makulatury dostarczanej do papierni, wynikająca z niedostatecznej standaryzacji i częstego niespełniania wymogów norm PN-EN 643:2014, stała się punktem wyjścia do kolejnych badań przedstawionych w publikacji [4] *Which wastepaper should not be processed?* Zmienność ta stanowi bowiem realne zagrożenie zarówno dla stabilności procesów produkcyjnych, jak i dla utrzymania powtarzalnej jakości końcowego wyrobu papierniczego. W prezentowanej pracy skoncentrowano się zatem na opracowaniu metodyki oceny przydatności makulatury do produkcji papieru, poprzez kompleksową analizę zdolności papierotwórczej szerokiego spektrum makulatur (7 rodzajów makulatury białej oraz 5 rodzajów makulatury mieszanej) oraz zidentyfikowanie parametrów granicznych surowca, które warunkują jego efektywne wykorzystanie w produkcji. Tym samym podjęto próbę odpowiedzi na pytanie, czy wśród powszechnie stosowanych odmian makulatury możliwe jest jednoznaczne wyodrębnienie tych, które z uwagi na niekorzystne właściwości chemiczne, morfologiczne lub nadmierne zanieczyszczenia, nie powinny być w ogóle wprowadzane do procesu technologicznego.

Z uwagi, iż rozpatrywana w ramach analiz makulatura charakteryzowała się dość dużą zawartością zanieczyszczeń grubych, a zanieczyszczenia te mają znaczący wpływ na właściwości masy, konieczne było ich usunięcie przed przystąpieniem do jej badania. Pierwszym oznaczeniem w ramach wykonanych prac było zatem oznaczenie zawartości substancji nierozwłóknialnych (zanieczyszczeń grubych). W makulaturach białych udział tych substancji wynosił $0,00 \div 2,61\%$, natomiast w masie makulaturowej mieszanej $0,48 \div 2,40\%$. Trzeba tutaj zaznaczyć, że makulatura biała, zgodnie z normą, powinna zawierać ścinki papieru bezdrzewnego, mało zadrukowane, bez kleju, bez papieru wodotrwałego i bez papieru barwionego. Analiza wykazała jednak obecność papierów drzewnych, silnie zadrukowanych oraz barwionych w masie, co wskazuje na konieczność reklasyfikacji do kategorii 3.02 (zmieszane ścinki papierów drukowych i do pisanie, lekko barwione w masie, zawierające minimum 90% papieru bezdrzewnego) lub 3.03 (z papieru bezdrzewnego, mało zadrukowane, z klejem, bez papieru barwionego w masie, mogące zawierać maksimum 10% papieru drzewnego). Ujęcie makulatury białej zatem jako czysto rodzaju 3 odmiany 04 jest pewnym

uproszczeniem stosowanym w handlu makulaturą, w rzeczywistości, w ramach tego sortu znajduje się całe spektrum odmian. Heterogeniczność surowca potwierdza brak korelacji między składem chemicznym a rodzajem makulatury. Zawartość holocelulozy w próbkach makulatur białych zawierała się w przedziale $63,26\% \div 79,59\%$, przy wartościach liczby Kappa w zakresie $5,28 \div 49,67$. Makulatury mieszane, w zależności od jej odmiany, charakteryzowały się natomiast zawartością holocelulozy na poziomie $70,58\% \div 76,95\%$, przy stopniu delignifikacji w granicach $16,25 \div 45,50$ wartości liczby Kappa. Oznaczenia chemiczne objęły również analizę stopnia polimeryzacji celulozy, który w masach z makulatury białej osiągnął wartości $339 \div 840$, gdzie dla makulatury barwnej uzyskano wyniki mieszczące się w zakresie $376 \div 611$. Pomimo wysokiego stopnia polimeryzacji niektórych próbek, papiery z nich uzyskane nie osiągnęły najwyższych wskaźników właściwości wytrzymałościowych, co wskazuje na wpływ zanieczyszczeń i innych czynników na wytrzymałość papieru uzyskanego z masy z recyklingu.

Przystępując do dalszych analiz zdolności papierotwórczej przeprowadzono wstępną selekcję makulatury, uwzględniając trzy kluczowe parametry:

- stopień smarności masy włóknistej – wykluczono próbki o smarności przekraczającej 30°SR w stanie niemielonym. Próbki o wysokiej smarności początkowej nie tylko utrudniają osiągnięcie założonych parametrów papieru, ale mogą również generować trudności technologiczne w procesie produkcyjnym;
- zawartości substancji ekstrakcyjnych – odrzucono próbki o zawartości substancji ekstrakcyjnych powyżej $1,30\%$. Wysoka zawartość tych substancji zwiększa ryzyko powstawania trudności żywicznych oraz defektów powierzchniowych, wynikających z ich znacznej reaktywności chemicznej, lepkości i przyczepności;
- długości włókien – wykluczono próbki o średniej długości włókien poniżej $900\ \mu\text{m}$. Włókna o niewystarczającej długości nie zapewniają odpowiedniej wytrzymałości mechanicznej papieru, w szczególności odporności na rozdarcie, co jest parametrem krytycznym m. in. dla papierów sanitarnych.

Na podstawie tych kryteriów do dalszych analiz zakwalifikowano cztery odmiany makulatury białej (oznaczone symbolem 1.3, 1.4, 2.1 i 3.2) oraz jedną mieszaną (1.5), dla których wykonano dalsze oznaczenia parametrów masy włóknistej oraz otrzymanego z niej papieru. Numeracja próbek została nadana zgodnie ze standardem klasyfikacyjnym stosowanym w PWP JACK-POL, co zapewnia jednoznaczną identyfikację surowców oraz umożliwia porównanie wyników z praktyką przemysłową. Pozostałe próbki natomiast uznano za nieprzydatne do produkcji papierów o zadowalającej wartości użytkowej.

Uwzględniając praktyczne aspekty technologiczne prowadzonych później procesów na maszynie papierniczej, do najistotniejszych zmian zachodzących w wyniku procesu mielenia, poza smarnością, zaliczyć można rozwój stopnia spęcznienia (WRV) masy makulaturowej. Kolejne analizy wybranych mas objęły zatem oznaczenie tego wskaźnika. Proces mielenia spowodował wzrost WRV badanych mas o $28 \div 61\%$, z najwyższymi wartościami dla makulatury białej ($151,86 \div 185,65\%$). Masa makulaturowa barwna była znacznie bardziej zrogowaciała i osiągnęła zdecydowanie mniejszy stopień spęcznienia masy ($134,17\%$). Podobnie, jeśli chodzi o długość włókien, makulatura biała charakteryzowała się wyższymi wartościami wskaźnika ($972 \div 1038\ \mu\text{m}$) w porównaniu do barwnej ($880\ \mu\text{m}$), co już na wstępie wskazuje, że papier uzyskany z tej masy osiągnie wyższe parametry

wytrzymałościowe. Zdecydowanie najwyższą zawartość frakcji drobnej spośród zmielonych mas odnotowano dla makulatury białej 2.1 (41,93%) oraz barwnej 1.5 (41,03%), co rokuje lepszą jakość papieru wytworzonego z tych mas, jak również lepszą ekonomikę procesu wynikającą z oszczędności dodatków masowych. Indeks makrofibrilacji włókien oraz wskaźnik coarseness nie różniły się znacząco między próbkami (pozostając w granicach $0,54 \div 0,86\%$ i $0,10 \div 0,13$ mg/m).

Kolejne analizy zdolności papierotwórczej makulatury objęły oznaczenie chropowatości powierzchni papieru oraz przepuszczalności powietrza. Badania wykazały, że w większości przypadków proces mielenia tylko w niewielkim stopniu wygładził powierzchnię otrzymanych papierów, a nawet pozostała ona na tym samym poziomie w przypadku jednej z próbek makulatury białej. Mikroskopowa analiza chropowatości papieru nie wykazała natomiast istotnych rozbieżności w zależności od rodzaju makulatury zastosowanej do produkcji arkuszy papieru, pomimo tak znaczących różnic w ilości zanieczyszczeń pomiędzy poszczególnymi rodzajami surowca wtórnego. Dodatkowe wykonane pomiary analizowanego wskaźnika, przeprowadzone zgodnie z procedurą Bendtsena (ISO 8791-2:2013), potwierdziły, że rodzaj użytej makulatury nie wpłynął na parametry chropowatości, dla makulatury białej otrzymano wyniki mieszczące się z zakresie $189 \div 299$ ml/min, natomiast chropowatość papieru uzyskanego z makulatury barwnej kształtowała się na poziomie 247 ml/min. Podobne zależności w odniesieniu do rodzaju zastosowanego surowca zaobserwowano dla parametrów przepuszczalności powietrza, która wyniosła $797 \div 2154$ ml/min dla makulatury białej oraz 1508 ml/min dla mieszanej. Odwrotny trend natomiast odnotowano w przypadku parametrów optycznych, gdzie makulatura biała wykazała przewagę nad mieszaną w zakresie białości ($76,70 \div 91,14\%$ dla białej oraz 65,89% dla mieszanej), wskazując wyraźnie na wpływ zanieczyszczeń drukarskich.

Kolejne kluczowe dla procesów produkcyjnych i przetwórczych badania zdolności papierotwórczej objęły analizę właściwości wytrzymałościowych papieru, która na wstępie wykazała, że papiery z mas mielonych wykazywały około dwu-, trzykrotnie wyższą wytrzymałość w porównaniu z próbkami otrzymanymi z masy nie poddanej uprzednio mieleniu. Najlepsze wyniki uzyskano dla makulatury białej, odmiany 1.3 i 3.2, co można było przewidzieć, zważywszy na ich najlepsze właściwości masy i włókien. Wysoki wskaźnik samozerwalności ($7050 \div 8100$ m) i rozciągliwości ($2,52 \div 3,02\%$) czynią te papiery najbardziej atrakcyjnymi do wielu zastosowań. Najniższą wytrzymałość odnotowano natomiast w przypadku papieru z makulatury barwnej (samozerwalność i rozciągliwość odpowiednio 4050 m oraz 2,42%), co może wynikać nie tylko z obecności zanieczyszczeń, ale również najkrótszej długości włókien w tej masie. Co istotne, papier z niektórych mas o podobnych właściwościach początkowych wykazywał zupełnie różne cechy po mieleniu, co potwierdza potrzebę kompleksowej oceny zdolności papierotwórczej.

Badania potwierdziły, że nie każda makulatura nadaje się do recyklingu w kontekście produkcji papierów o wysokiej wartości użytkowej. Wstępna ocena zdolności papierotwórczej, oparta na takich parametrach jak smarność, zawartość substancji ekstrakcyjnych, długość włókien i zawartość zanieczyszczeń pozwala skutecznie eliminować nieprzydatne partie surowca. Tym samym publikacja ta stanowi istotne rozwinięcie idei pracy potwierdzając, że utrzymanie wysokich i powtarzalnych parametrów papieru wtórnego w warunkach zmiennego surowca jest możliwe tylko wtedy, gdy zastosuje się precyzyjne działania kompensacyjne,

poprzedzone kompleksową diagnostyką materiału wejściowego. Wnioski z tej pracy mają kluczowe znaczenie dla praktyki przemysłowej, pozwalają bowiem zoptymalizować zarządzanie surowcem, zwiększyć efektywność recyklingu oraz zminimalizować ryzyko technologiczne i straty jakościowe.

W nawiązaniu do poprzedniej publikacji [4], w której wykazano znaczną zmienność jakości makulatury dostarczanej do papierni oraz zidentyfikowano krytyczne parametry pozwalające na ocenę jej przydatności produkcyjnej, kolejnym krokiem w badaniach było zweryfikowanie, w jakim stopniu operacje technologiczne mogą wpłynąć na właściwości papieru uzyskiwanego z tak zróżnicowanego surowca. Punktem wyjścia do niniejszej analizy były wcześniejsze obserwacje wysokiej smarności wielu badanych odmian makulatury, co sugerowało potencjalne trudności w odwadnianiu masy na sicie maszyny papierniczej, a tym samym wskazało na konieczność dostosowania procesów oczyszczania i sortowania w celu poprawy efektywności i ekonomiki procesów produkcyjnych. W świetle postawionej hipotezy, że odpowiednio dobrane procesy technologiczne mogą kompensować obniżoną jakość surowca wtórnego, w publikacji [7], zatytułowanej *The influence of screening process parameters on paper properties produced from wastepaper*, skoncentrowano się na jednym z kluczowych etapów przygotowania masy – sortowaniu. Proces sortowania odgrywa fundamentalną rolę szczególnie w przypadku makulatury mieszanej, charakteryzującej się dużym udziałem zanieczyszczeń o różnej charakterystyce morfologicznej, które negatywnie wpływają na właściwości masy, jakość optyczną i wytrzymałość papieru, a także zwiększają ryzyko uszkodzenia sita maszyny papierniczej. Celem badania było ustalenie, czy szerokość szczelin sita sortowniczego (w zakresie $0,10 \div 0,50$ mm) wpływa na właściwości mechaniczne i powierzchniowe papieru wytworzonego z białej i mieszanej makulatury. Doświadczalnie zastosowano sortownik membranowy wyposażony w wymienne płyty o szczelinach o szerokości 0,10; 0,12; 0,15; 0,20; 0,30; 0,40 i 0,50 mm. Tak precyzyjny zakres pozwolił na analizę potencjalnego wpływu parametrów sortowania na jakość uzyskanego produktu.

Uzyskane wyniki wykazały, że zmiana szerokości szczeliny sita sortowniczego w zakresie $0,10 \div 0,50$ mm nie wpływała istotnie ani na wytrzymałość papieru, ani na jego właściwości powierzchniowe. Samozerwalność papieru z białej makulatury wynosiła od 2600 m (szczelina 0,15 mm) do 3700 m (szczelina 0,50 mm), a dla makulatury mieszanej od 1750 m (szczelina 0,12 mm) do 2400 m (szczelina 0,50 mm). Praca zerwania, będąca kompromisem między siłą zrywającą a rozciągliwością, osiągała wartości $19,43 \div 36,64$ J/m² dla białej makulatury (odpowiednio dla szczelin 0,15 mm i 0,50 mm) oraz $10,47 \div 18,56$ J/m² dla barwnej (szczeliny 0,12 mm i 0,50 mm). Wartości naprężenia zrywającego wynosiły $2011 \div 2872$ N/m dla białej makulatury i $1372 \div 1904$ N/m dla mieszanej, a indeks naprężenia zrywającego odpowiednio $25 \div 36$ Nm/g i $17 \div 24$ Nm/g. Rozciągliwość nie przekraczała 2% dla żadnego rodzaju makulatury, co wskazuje na ograniczoną elastyczność papieru z mas wtórnych. Analiza kolejnych parametrów wytrzymałościowych także nie ujawniła korelacji, sztywność rozciągania dla próbek z makulatury białej wahała się w zakresie od 309900 do 379300 N/m, podczas gdy dla papieru z makulatury mieszanej wynosiła od 223300 do 288400 N/m. Moduł Younga osiągał wartości $2817 \div 3448$ MPa dla próbek wytworzonych z makulatury białej oraz $2031 \div 2622$ MPa dla papierów z mieszanej masy recyklingowej, a maksymalna siła zrywająca nie przekraczała 29 N i 42 N odpowiednio dla tych dwóch rodzajów surowca. Ciekawym spostrzeżeniem jest fakt, że najwyższe wartości parametrów wytrzymałościowych osiągnięto

w papierach wyprodukowanych z masy sortowanej na sicie o szczelinie 0,50 mm. Papiery wytworzone z makulatury mieszanej wykazywały niższe parametry wytrzymałościowe, co najprawdopodobniej wynikało z wyższej zawartości zanieczyszczeń w masie włóknistej.

Również analiza chropowatości powierzchni papieru, przeprowadzona zarówno metodą Bendtsena, jak i mikroskopowo, potwierdziła brak jednoznacznych zależności pomiędzy szerokością szczeliny a parametrami powierzchniowymi. Szorstkość mierzona metodą Bendtsena dla papieru z makulatury mieszanej wahała się od 325 ml/min (szczelina 0,15 mm) do 497 ml/min (szczelina 0,10 mm), podczas gdy w przypadku papieru z białej makulatury wartości te mieściły się w przedziale od 301 ml/min (szczelina 0,10 mm) do 465 ml/min (szczelina 0,30 mm). Mikroskopowe parametry chropowatości (S_a , S_z) dla papierów z makulatury mieszanej osiągały wartości $3,83 \div 4,83 \mu\text{m}$ (S_a) i $36,71 \div 59,40 \mu\text{m}$ (S_z), natomiast dla białej: $3,76 \div 7,68 \mu\text{m}$ (S_a) oraz $45,30 \div 66,56 \mu\text{m}$ (S_z). Analiza powierzchni papieru pod kątem zanieczyszczeń wykazała wyraźnie większe ich nagromadzenie w przypadku papieru z makulatury mieszanej, lecz ich ilość nie wzrastała wraz ze zwiększeniem szerokości szczeliny, co świadczy o ograniczonym wpływie tego parametru na efektywność separacji zanieczyszczeń. Wyższe wartości szorstkości próbek wytworzonych z makulatury mieszanej wynikają najprawdopodobniej z wyższej zawartości zanieczyszczeń w masie włóknistej, które zaburzają mikro- i makrostrukturę powierzchni, co może ograniczać przydatność takiego papieru do zastosowań drukarskich. Niższa jakość papieru z makulatury mieszanej, wynikająca z wyższej zawartości zanieczyszczeń, potwierdza konieczność stosowania bardziej rygorystycznych metod sortowania lub dodatkowych procesów oczyszczania dla tego typu surowca. W badaniach potwierdzono również, że wszystkie próbki charakteryzowały się bardzo wysoką przepuszczalnością powietrza, przekraczającą zakres pomiarowy urządzenia ($>5000 \text{ ml/min}$), co wskazuje na wysoką porowatość papieru, niezależnie od parametrów sortowania i potwierdza ograniczony wpływ procesu sortowania na tę cechę.

Podsumowując, wyniki niniejszego etapu badań potwierdzają, że w analizowanym zakresie szerokości szczeliny sortowniczej ($0,10 \div 0,50 \text{ mm}$), parametr ten nie wywiera istotnego wpływu na właściwości mechaniczne ani strukturę powierzchniową papieru, co wskazuje na ograniczoną skuteczność sortowania jako narzędzia poprawy jakości surowca wtórnego. Jednocześnie wykazano, że mimo dużej zawartości zanieczyszczeń, możliwe jest utrzymanie stabilnych właściwości papieru dzięki odpowiednio zaprojektowanym procesom przygotowania masy. W świetle idei całego cyklu badań, praca ta podkreśla konieczność dalszych, bardziej szczegółowych analiz ukierunkowanych na konstrukcję i funkcjonalność urządzeń sortowniczych, jako elementu potencjalnie pozwalającego na dalszą kompensację pogarszającej się jakości surowców wtórnych.

Wyniki uzyskane w toku badań przedstawionych w publikacji [7] wykazały, że sortowanie makulatury, mimo swojej istotnej roli w procesie oczyszczania surowca wtórnego, nie stanowi wystarczającego narzędzia do poprawy wytrzymałości papierów z recyklingu. Otrzymane rezultaty podkreśliły jednocześnie konieczność poszukiwania bardziej efektywnych metod poprawy właściwości użytkowych papierów wtórnych i kompensujących pogarszającą się jakość surowca. W szczególności dla papierów higienicznych, gdzie kluczowe są wytrzymałość i odporność na wilgoć, elementem niezbędnym jest wprowadzenie strategii wzmacniających właściwości użytkowe papieru. Kolejne badania z cyklu, przedstawione

w publikacji [2], zatytułowanej *Striving for sustainable solutions: optimizing utility properties of recycled paper with the addition of wet strength resin*, skoncentrowały się zatem na zastosowaniu żywicy wodoutrwalającej jako dodatku wzmacniającego, który kompensuje niedostatki makulatury, poprawiając jej wytrzymałość i odporność na wilgoć. Papier bowiem, ze względu na hydrofilowy charakter wynikający z chemicznej budowy celulozy oraz kapilarno-porowatej struktury materiału, wykazuje słabe właściwości barierowe wobec wody i pary wodnej. Efekt ten jest szczególnie wyraźny w przypadku makulatury, która charakteryzuje się wyższą zawartością hemiceluloz i ligniny. Związki te, z uwagi na swoją amorficzną naturę⁴⁷ oraz obecność grup fenolowych i acetalowych⁴⁸, wykazują wyższą zdolność do wiązania wody niż celuloza, co dodatkowo intensyfikuje chłonność papieru. W przypadku wielu rodzajów papierów brak właściwości hydrofobowych stanowi poważne ograniczenie funkcjonalności.

W badaniach wykorzystano żywicę poliamidowo-epichlorohydrynową (PAAE), która posiada dobrze udokumentowaną skuteczność w poprawie wytrzymałości papieru w stanie mokrym oraz znajduje szerokie zastosowanie w przemyśle papierniczym, szczególnie w produkcji papierów higienicznych i opakowaniowych, gdzie kluczowe są właściwości hydrofobowe i stabilność wymiarowa. Dodatkowo, zastosowanie tego typu żywicy pozwala na redukcję kosztów produkcji w papierniach dzięki zmniejszeniu zapotrzebowania na energię w procesach suszenia oraz ograniczeniu strat materiałowych wynikających z uszkodzeń papieru podczas cykli nawilżania i suszenia. Żywice te wspierają bardziej efektywne wykorzystanie zasobów poprzez poprawę retencji i odwadniania, co prowadzi do zmniejszenia zużycia chemikaliów oraz zwiększenia wydajności procesu produkcyjnego. Tym samym, ich zastosowanie przynosi korzyści zarówno w wymiarze ekonomicznym, jak i środowiskowym, wpisując się w rosnące potrzeby przemysłu dotyczące zrównoważonej produkcji.

Założeniem badań było określenie optymalnej dawki środka wodoutrwalającego, ponieważ jego skuteczność w poprawie wytrzymałości papieru w stanie mokrym jest uzależniona od szeregu czynników procesowych i materiałowych. W praktyce, chociaż żywica teoretycznie pozwala papierowi zachować co najmniej 15% wytrzymałości w stanie suchym⁴⁹, rzeczywiste efekty mogą być niższe z powodu takich czynników jak niewłaściwe pH środowiska, ograniczona zdolność włókien do absorpcji żywicy, nadmiar kationowego skrobiowego dodatku czy degradacja środka przez środki utleniające. W celu uzyskania pożądanych właściwości papieru, zwłaszcza w przypadku produktów higienicznych, konieczne jest precyzyjne określenie optymalnej dawki żywicy. Z tego powodu badania koncentrowały się na ocenie wpływu dodatku żywicy w zakresie 0,05 ÷ 2,50% na wytrzymałość i właściwości powierzchniowe papieru z recyklingu. Analizowano dwa rodzaje białej makulatury: 1.3 i 3.2, charakteryzujące się zbliżonym składem chemicznym, ale różną heterogenicznością.

Wyniki wykazały, że dodatek żywicy PAAE znacząco kompensuje pogarszającą się jakość makulatury, poprawiając właściwości mechaniczne papieru. Dodatek żywicy w maksymalnej badanej ilości 2,5% zwiększał wytrzymałość na zerwanie w stanie suchym o około 46% w porównaniu do próbek referencyjnych, osiągając dla makulatury 1.3 samozerwalność na poziomie 3950 m (z 2700 m) i siłę zrywającą 46,2 N (z 30,9 N), a dla makulatury 3.2 odpowiednio 5500 m (z 3750 m) i 62,4 N (z 42,6 N). W stanie mokrym papier z dodatkiem żywicy w zakresie 1,25 ÷ 2,5% zachowywał ponad 30% swojej wytrzymałości w stanie suchym, znacznie przekraczając teoretyczny próg 15%, zgodny z wymaganiami dla

tego rodzaju produktów. Na przykład dla makulatury 1.3 przy dawce 2,5% samozerwalność w stanie mokrym wynosiła 1400 m, siła zrywająca natomiast 15,1 N, a dla makulatury 3.2 – odpowiednio 2000 m i 22,5 N. Jedynie w próbkach z najniższym dodatkiem żywicy, po 30 s narażenia na wodę, odporność na zerwanie spadała poniżej progu 15%, co potwierdza kluczową rolę odpowiedniego dawkowania żywicy w osiągnięciu wymaganych parametrów wytrzymałościowych. Otrzymane wyniki są zgodne z danymi literaturowymi, które wskazują, że żywice poliamidowo – epichlorohydrynowe mogą zwiększać stosunek wytrzymałości mokrej do suchej do poziomu 35%^{50,51}. Ponadto, dla wszystkich badanych właściwości mechanicznych zaobserwowano ogólną tendencję wzrostową w miarę zwiększania dodatku żywicy, niezależnie od rodzaju zastosowanej do badań makulatury. Wyższe wartości wytrzymałości odnotowano jednak dla papieru wytworzonego z makulatury 3.2 (charakteryzującej się większą heterogenicznością surowca), co wskazuje na istotny wpływ składu materiału wyjściowego na efektywność dodatków wzmacniających. Szczególną uwagę zwrócono na wskaźniki wytrzymałości na zerwanie i elastyczność papieru, które są kluczowe dla oceny przydatności papierów higienicznych. W zależności od dodatku żywicy, samozerwalność papieru po nasyceniu wodą zmniejszała się o 64 ÷ 90%, a rozciągliwość ulegała obniżeniu o 39 ÷ 73%. Mimo tych spadków, uzyskane wartości wytrzymałości w stanie mokrym wskazują na wysoką funkcjonalność badanych papierów, szczególnie w kontekście ich zastosowań higienicznych, gdzie istotne jest zachowanie odporności na rozdarcie i utrzymanie odpowiedniej elastyczności w kontakcie z wodą.

Właściwości powierzchniowe uległy poprawie przy wyższych dawkach żywicy. Przepuszczalność powietrza, przekraczająca zakres pomiarowy (>5000 ml/min) dla dawek poniżej 1,25%, zmniejszyła się do 1358 ml/min (makulatura 1.3) i 1746 ml/min (makulatura 3.2) przy dawce 2,5%, wskazując na redukcję porowatości. Szorstkość spadała przy dawkach powyżej 1,875%, osiągając dla makulatury 1.3 poziom 359 ml/min (z 406 ml/min) i dla makulatury 3.2 wynik 504 ml/min (z 553 ml/min) przy 2,5% dodatku żywicy. Poprawa gładkości powierzchni oraz redukcja porowatości papieru uzyskana dzięki dodaniu żywicy, znacząco podnosi funkcjonalność i estetykę papierów higienicznych, co bezpośrednio przekłada się na ich wartość rynkową.

Analiza optyczna wykazała, że dodatek żywicy powodował zauważalne zmiany barwy (ΔE 3 ÷ 4) w przeciwieństwie do próbek bez żywicy po 14 dniach przechowywania (ΔE 0,27 ÷ 0,47). Zmiany te wynikają z właściwości samej żywicy, która ze względu na swoją podatność na światło i temperaturę może prowadzić do żółknienia papieru w czasie. Chociaż różnice te mogą być akceptowalne w procesie produkcyjnym, w przypadku niektórych zastosowań papieru, takich jak papiery higieniczne, mają one istotny wpływ na walory wizualne produktu, a tym samym na jego jakość.

Podsumowując, przeprowadzone badania potwierdziły, że odpowiednio dobrany dodatek żywicy wodoutrwalającej może znacząco poprawić właściwości mechaniczne papieru z recyklingu – zarówno w stanie suchym, jak i mokrym – a także jego strukturę powierzchniową, umożliwiając rozszerzenie zastosowań takich materiałów i poprawę ich wartości użytkowej. Różnice w wartościach uzyskanych dla poszczególnych mas włóknistych podkreślają znaczenie heterogeniczności surowca na efektywność działania żywicy, co uzasadnia konieczność optymalizacji procesów recyklingu i dodatków wzmacniających. Jednak zmiany optyczne wywołane żółknieniem żywicy wskazały na potrzebę dalszych badań

nad dodatkami chemicznymi, które równoważą właściwości mechaniczne i estetyczne, szczególnie w kontekście recyklingu makulatury o obniżonej zdolności do tworzenia wiązań.

W świetle wyników badań dotyczących zastosowania żywic wodoutrwalających jako dodatków wzmacniających papier w stanie mokrym, logicznym krokiem było przejście do analizy innych kluczowych środków chemicznych wpływających na efektywność i jakość produkcji papieru z surowców wtórnych o wysokiej heterogeniczności. W centrum zainteresowania dalszych etapów prac znalazły się zatem środki retencyjne, odgrywające fundamentalną rolę w procesach zatrzymywania frakcji drobnej oraz poprawy odwadniania masy włóknistej. O ile żywice poprawiają trwałość gotowego wyrobu, to środki retencyjne wpływają bezpośrednio na jakość formowanej wstęgi papieru oraz wydajność i stabilność całego procesu technologicznego. Wysoka efektywność retencji ma bowiem kluczowe znaczenie zarówno z perspektywy ekonomicznej – poprzez redukcję strat surowca oraz dodatków masowych – jak i środowiskowej, dzięki ograniczeniu emisji ścieków oraz minimalizacji ryzyka uwalniania chemikaliów do środowiska. Niska retencja z kolei może powodować liczne problemy, takie jak zmniejszona stabilność pracy maszyny papierniczej, zwiększona ilość osadów, wady arkusza papieru, wyższe koszty chemikaliów oraz częstsze przestoje produkcyjne. W przypadku makulatury, której włókna są skrócone i mniej zdolne do tworzenia wiązań z powodu wielokrotnych cykli recyklingu, odpowiednie dozowanie i optymalizacja dodatków retencyjnych są zatem niezbędne, aby zapewnić pożądane korzyści, takie jak poprawa zatrzymania włókien i wypełniaczy, bez negatywnego wpływu na inne aspekty procesu produkcji papieru. Publikacja [1] *Impact of retention agents on functional properties of recycled paper in sustainable manufacturing* stanowi zatem istotne uzupełnienie cyklu badawczego, rozszerzając analizę o aspekty związane z optymalizacją mokrej części maszyny papierniczej w warunkach przetwarzania masy makulaturowej. W pracy skoncentrowano się na ocenie wpływu kationowego polielektrolitu na bazie akryloamidu i kationowej pochodnej kwasu akrylowego (dodawanego w ilości $0,1 \div 1,0\%$) na właściwości papierów wytworzonych z dwóch odmian białej makulatury (typy 1.3 i 3.2), będących również przedmiotem analiz we wcześniejszych pracach. Badania miały na celu nie tylko ocenę właściwości wytrzymałościowych i strukturalnych, ale także określenie optymalnej dawki dodatku retencyjnego, która pozwoliłaby osiągnąć kompromis między retencją a jakością gotowego papieru.

Analiza przepuszczalności powietrza wykazała, że dodatek środka retencyjnego, niezależnie od zastosowanej dawki, nie wpłynął znacząco na tę właściwość, ponieważ wszystkie próbki wykazywały wartości przekraczające zakres pomiarowy urządzenia Bendtsen (>5000 ml/min), co potwierdza wysoką porowatość papierów z makulatury. Choć wysoka przepuszczalność może być zaletą w papierach higienicznych i opakowaniowych, sprzyjając pochłanianiu płynów i poprawiając komfort użytkowania, to w materiałach drukarskich i opakowaniowych o właściwościach barierowych może wymagać odpowiedniej kontroli lub redukcji. Brak wpływu polielektrolitu sugeruje, że inne czynniki, takie jak skład masy makulaturowej lub parametry procesu produkcji, mogą mieć większe znaczenie w kształtowaniu porowatości i związanych z nią właściwości, co podkreśla potrzebę kompleksowego podejścia do optymalizacji parametrów produkcji papieru, uwzględniając zarówno przepuszczalność powietrza, jak i właściwości mechaniczne w zależności od końcowego zastosowania produktu. W ten sposób możliwe jest precyzyjne dostosowanie

właściwości papieru do wymagań konkretnych aplikacji, takich jak chłonność, drukowalność czy właściwości barierowe. Odmienne przedstawiała się sytuacja dla szorstkości powierzchni – tu odnotowano wyraźne zmiany zależne od stężenia środka retencyjnego. Dla papieru z makulatury 1.3 szorstkość wzrosła z poziomu 406 ml/min w próbie referencyjnej do 1281 ml/min przy dawce 0,5%, natomiast dla makulatury 3.2 wartości wzrosły z 553 ml/min do 1084 ml/min przy maksymalnym stężeniu 1,0%. Tendencja wzrostu szorstkości była ogólnie zgodna z rosnącą ilością dodatku, choć zauważono pewne odchylenia w zależności od odmiany masy makulaturowej. Dla makulatury 1.3 zaobserwowano bowiem, że szorstkość wzrastała systematycznie do poziomu 0,5% dodatku, po czym przy wyższych dawkach nastąpiło niewielkie obniżenie wartości rozpatrywanego parametru. Spadek szorstkości przy wyższych dawkach polielektrolitu można wyjaśnić efektem nadmiernego flokulowania, które przy wyższych stężeniach środka prowadzi do gęstszego upakowania włókien, ograniczając porowatość sieci i tym samym zmniejszając szorstkość powierzchni. Wyższa szorstkość papierów z makulatury 3.2 sugeruje, że zarówno różnice we właściwościach morfologicznych włókien, jak i obecność zanieczyszczeń mogą determinować zróżnicowaną reakcję na zastosowany dodatek retencyjny. Otrzymane wyniki wyraźnie wskazują zatem na potrzebę dostosowania dawki flokulanta do specyficznych potrzeb, jednocześnie uwzględniając unikalne właściwości poszczególnych mas makulaturowych w projektowaniu procesów produkcyjnych.

Najbardziej istotne z punktu widzenia funkcjonalności papieru były jednak wyniki badań wytrzymałościowych, które wykazały nieliniowy wpływ polielektrolitu na właściwości mechaniczne, z wyraźnymi różnicami między typami makulatury. Dla makulatury 1.3 w próbie referencyjnej odnotowano samozerwalność na poziomie 2700 m, siłę zrywającą 30,9 N, indeks naprężenia zrywającego 26,4 Nm/g, rozciągliwość 1,60% i indeks pracy zerwania 0,278 J/g. Dodatek środka retencyjnego w ilości 0,2% spowodował istotne pogorszenie parametrów – samozerwalność spadła o 33% do poziomu 1800 m, indeks naprężenia zrywającego do 17,9 Nm/g (spadek o 32%), rozciągliwość do 0,92% (spadek o 42%) i indeks pracy zerwania do 0,105 J/g (spadek o 62%). Przy dawkach 0,3 ÷ 0,5% środka retencyjnego wartości pozostawały niskie, jednakże dla wyższych stężeń (0,8 ÷ 1,0%) zaobserwowano częściowe odzyskanie właściwości – przy dawce 1,0% samozerwalność wzrosła do 2150 m, indeks naprężenia zrywającego do 21,2 Nm/g, rozciągliwość do 1,40% i indeks pracy zerwania do 0,194 J/g, choć wartości nie osiągnęły poziomu referencji. W przypadku makulatury 3.2 obserwowano podobne trendy, lecz na wyższym poziomie wyjściowym – samozerwalność w próbie referencyjnej wynosiła 3750 m, siła zrywająca 42,6 N, indeks naprężenia zrywającego 36,2 Nm/g, rozciągliwość 2,53% i indeks pracy zerwania 0,669 J/g. Minimalne wartości odnotowano przy stężeniu 0,2%, samozerwalność spadła do 2600 m (spadek o 31%), indeks siły zrywającej do 24,9 Nm/g (spadek o 31%), rozciągliwość do 1,42% (spadek o 44%) i indeks pracy zerwania do 0,262 J/g (spadek o 61%). Odzysk następował od dodatku w ilości 0,8%, osiągając przy 1,0% samozerwalność na poziomie 3050 m, indeks siły zrywającej 29,6 Nm/g, rozciągliwość 2,13% i indeks pracy zerwania 0,466 J/g, nadal poniżej referencji.

Uzyskane dane potwierdziły, że niski dodatek środka retencyjnego (0,2 ÷ 0,6%) może powodować pogorszenie właściwości mechanicznych papieru – średnio o 36% dla makulatury 1.3 i 31% dla 3.2 – co wynika z nadmiernej flokulacji, prowadzącej do nierównomiernego rozmieszczenia włókien i osłabienia struktury papieru (co jest zgodne z wcześniejszymi

doniesieniami literaturowymi). Dopiero dawki z zakresu $0,8 \div 1,0\%$ umożliwiły częściowe odwrócenie tego efektu (jednak bez osiągnięcia wartości referencyjnych). Odzysk przy wyższych dawkach wskazuje, że wzmocnienie wiązań między włóknami przewyższa negatywne efekty flokulacji, choć nie w pełni kompensuje pogorszenie jakości makulatury. Wyższe wartości wytrzymałości odnotowane dla makulatury 3.2 sugerują, że heterogeniczność surowca i właściwości morfologiczne włókien mogą wzmacniać efektywność działania środka retencyjnego. Uzyskane w wykonanych badaniach dane podkreślają zatem krytyczne znaczenie optymalizacji dawek środka retencyjnego w celu uzyskania równowagi między korzyściami wynikającymi z jego stosowania a potencjalnymi negatywnymi skutkami. Niższe dawki sprzyjają poprawie właściwości mechanicznych i jakości powierzchni papieru, ale mogą obniżać efektywność procesów retencji i odwadniania masy papierniczej. Z kolei wyższe dawki poprawiają retencję, lecz prowadzą do obniżenia parametrów mechanicznych i gładkości papieru, co podkreśla konieczność precyzyjnego dozowania, aby kompensować niedostatki makulatury bez pogorszenia jakości produktu. Zgodnie z uzyskanymi wynikami, zakres $0,8 \div 1,0\%$ wydaje się stanowić rozsądny kompromis, który pozwala na osiągnięcie równowagi między jakością produktu a efektywnością procesu, oczywiście z koniecznością dostosowania strategii stosowania środków retencyjnych do specyfiki makulatury oraz wymagań stawianych produktowi końcowemu. Dodatkowo, rezultaty badań uwydatniają złożoność procesów zachodzących w mokrej części linii produkcyjnej maszyny papierniczej, gdzie kluczowe znaczenie mają takie czynniki, jak rodzaj włókien, sposób przygotowania masy oraz interakcje pomiędzy dodatkami. Skuteczne zarządzanie tymi elementami jest niezbędne dla optymalizacji zarówno jakości papieru, jak i efektywności całego procesu produkcyjnego. W kontekście pogarszającej się jakości makulatury i kryzysu surowcowego, właściwe zarządzanie procesami w części mokrej maszyny papierniczej staje się szczególnie istotne, gdyż pozwala na bardziej efektywne wykorzystanie surowców wtórnych oraz zmniejszenie strat materiałowych.

Wyniki przeprowadzonych badań nad zastosowaniem środków wodoutrwalających oraz retencyjnych jednoznacznie potwierdziły kluczowe znaczenie optymalizacji ich dawkowania oraz dostosowania do charakterystyki stosowanych surowców wtórnych. Uzyskane rezultaty wskazały jednak na pewne ograniczenia efektywności dodatków chemicznych w pełnej kompensacji pogarszającej się jakości makulatury. W związku z tym dalsze prace badawcze wymagały rozszerzenia zakresu analiz o dodatkowe czynniki wpływające na właściwości papieru, w szczególności modyfikację składu włóknistego masy papierniczej. Choć dodatki masowe mogą istotnie zwiększyć potencjał papierotwórczy wtórnych mas włóknistych, to jednak rodzaj i jakość użytych włókien, co potwierdziły analizy wykonane w pracy [3], pozostają zasadniczymi determinantami parametrów użytkowych gotowego papieru. Utrzymanie wysokiej wytrzymałości mechanicznej – kluczowej dla wielu zastosowań papierów – wymaga zatem odpowiedniego udziału włókien pierwotnych w składzie masy. Mając na uwadze tę zależność, kolejnym krokiem w ramach prac nad poprawą jakości papierów z recyklingu było przeanalizowanie wpływu częściowej substytucji makulatury włóknami pierwotnymi. Zagadnienie to zostało szczegółowo omówione w kolejnej publikacji z cyklu [8], zatytułowanej *The effect of the addition of primary fibers on the papermaking ability of wastepaper*. W pracy tej oceniono wpływ dodatku bielonej sosnowej masy siarczanowej, w ilościach 15%, 30% oraz 50%, na właściwości zarówno masy włóknistej, jak i papierów wytworzonych z makulatury białej oraz mieszanej. Głównym celem badania

było określenie, w jakim stopniu udział włókien pierwotnych w masie może kompensować obniżoną jakość makulatury poprzez poprawę zdolności papierotwórczej masy włóknistej.

Badania wykazały, że dodatek włókien pierwotnych nie tylko poprawia właściwości mechaniczne, ale również wpływa na parametry związane z retencją wody. Dla makulatury mieszanej smarność wzrosła bowiem z 15°SR (100% makulatury) do 17°SR przy 50% udziale włókien pierwotnych, dla białej natomiast z 14°SR do 17°SR. Jeszcze wyraźniejsze zmiany odnotowano dla wskaźnika stopnia spęczenia włókien (WRV), który wzrósł z 93% do 130% w przypadku makulatury mieszanej oraz ze 103% do 135% w przypadku białej, wskazując na zwiększoną zdolność tych mas do zatrzymywania wody. Wyniki te potwierdzają, że dodatek włókien pierwotnych istotnie wzmacnia właściwości sorpcyjne mas papierniczych, co jest szczególnie istotne w kontekście produkcji papierów higienicznych, gdzie wysoka chłonność stanowi kluczową cechę użytkową.

Analiza wytrzymałościowa potwierdziła znaczący wpływ dodatku włókien pierwotnych na wytrzymałość papieru, wszystkie bowiem badane właściwości mechaniczne uległy poprawie, niezależnie od udziału włókien pierwotnych oraz rodzaju makulatury. 50% dodatek włókien pierwotnych spowodował wzrost samozerwalności próbek z makulatury barwnej o 70% (z 2000 m do 3400 m), natomiast dla papierów z białej makulatury wskaźnik zwiększył się o 33% (z 2850 do 388 m). Naprężenie zrywające w przypadku papieru z makulatury mieszanej wzrosło ze 1584 N/m do 2710 N/m przy 50% dodatku (wzrost o 71%). Dla makulatury białej wartość ta zwiększyła się z 2189 N/m do 2954 N/m, co odpowiada wzrostowi o 35%. Równocześnie indeks naprężenia zrywającego wzrósł z 19,62 Nm/g do 33,26 Nm/g w przypadku makulatury mieszanej oraz z 27,92 Nm/g do 37,18 Nm/g dla makulatury białej. Siła zrywająca osiągnęła wartość 38,36 N dla papieru z makulatury mieszanej (wzrost o 63%) oraz 44,33 N dla papieru z makulatury białej (wzrost o 32%) przy 50% udziale włókien pierwotnych. Rozciągliwość również uległa poprawie – o 91% dla makulatury mieszanej (z 1,56% do 2,98%) i o 62% dla białej (z 1,93% do 3,13%). Podobną tendencję wzrostową odnotowano dla pracy zerwania – z 16,23 J/m² do 62,53 J/m² (makulatura mieszana) i z 27,87 J/m² do 61,91 J/m² (makulatura biała). Indeks modułu Younga również potwierdził poprawę właściwości mechanicznych, osiągając wartości 2821 MPa dla makulatury mieszanej (poprawa o 21%) i 3026 MPa dla makulatury białej (wzrost o 7%). Wskaźniki te świadczą o znacznym wzmocnieniu struktury papieru, a wyższe wartości wskaźników dla makulatury białej wynikają najprawdopodobniej z niższej zawartości zanieczyszczeń i lepszej jakości włókien w porównaniu do makulatury mieszanej.

Analiza właściwości strukturalnych, takich jak szorstkość i przepuszczalność powietrza, wykazała brak istotnych zmian w zależności od zawartości włókien pierwotnych. Szorstkość papieru z makulatury mieszanej wahała się od 323 ml/min (15% dodatku włókien pierwotnych) do 361 ml/min (50%), natomiast papier z makulatury białej osiągał niższe wartości, od 292 ml/min (30%) do 313 ml/min (0%), co można przypisać niższej zawartości zanieczyszczeń w tej masie w porównaniu do makulatury barwnej. Przepuszczalność powietrza dla papierów z makulatury mieszanej wynosiła 4712 ÷ 4921 ml/min, a dla próbek z makulatury białej przekraczała wartość 5000 ml/min niezależnie od dodatku, co potwierdza wysoką porowatość papierów z recyklingu. Wyniki te potwierdzają, że o ile strukturalne właściwości powierzchniowe papieru są bardziej zależne od rodzaju zastosowanej makulatury, to jego wytrzymałość można skutecznie modyfikować poprzez odpowiedni dobór składu włóknistego.

Przeprowadzone badania jednoznacznie wskazują, że dodatek włókien pierwotnych skutecznie kompensuje pogarszającą się jakość makulatury, znacząco poprawiając wytrzymałość mechaniczną, co jest kluczowe dla zastosowań takich jak opakowania czy papiery drukarskie. Zwiększone WRV wspiera funkcjonalność w papierach higienicznych, podczas gdy stabilność szorstkości i przepuszczalności pozwala zachować porowatość odpowiednią dla określonych zastosowań. Strategia łączenia włókien pierwotnych z makulaturą może być skutecznym narzędziem dla przemysłu papierniczego w kontekście dynamicznie zmieniających się warunków surowcowych i rynkowych. Wyniki stanowią podstawę do dalszych badań nad optymalizacją proporcji włókien w mieszkankach, aby osiągnąć równowagę między jakością produktu, kosztami i wpływem na środowisko w przemyśle papierniczym.

Podsumowanie osiągnięcia naukowego

Prezentowany cykl badań koncentrował się na weryfikacji zdolności papierotwórczej makulatury w kontekście jej postępującej degradacji jakościowej oraz wzrastającej zmienności surowca. Głównym celem było określenie, czy możliwe jest utrzymanie stabilnych parametrów jakościowych papieru mimo wykorzystania surowców wtórnych o obniżonym potencjale aplikacyjnym. Przeprowadzone analizy jednoznacznie wykazały, że odpowiednio dobrane procesy technologiczne, a także świadome zarządzanie jakością makulatury na wczesnym etapie przetwarzania, umożliwiają skuteczną kompensację jej niedostatków i pozwalają na uzyskanie papieru spełniającego założone wymagania użytkowe.

Istotnym aspektem przedstawionego osiągnięcia jest jego aplikacyjny charakter. Całość badań została przeprowadzona w ścisłej współpracy z zakładem przemysłowym, co umożliwiło weryfikację wyników uzyskanych w skali laboratoryjnej i półtechnicznej w rzeczywistych warunkach produkcyjnych. Takie podejście potwierdza nie tylko praktyczną wartość zaproponowanych rozwiązań, ale także ich gotowość do wdrożenia na skalę przemysłową. W dobie ograniczonej dostępności włókien pierwotnych i nasilających się wyzwań surowcowych, opracowane strategie wspierają efektywne gospodarowanie surowcami wtórnymi, zwiększając ich wykorzystanie mimo spadku jakości makulatury dostępnej na rynku.

Główne wnioski badawcze:

- **Jakość makulatury nie determinuje jednoznacznie jakości papieru** – odpowiednio zaprojektowane i zoptymalizowane procesy technologiczne umożliwiają wytwarzanie papieru o stabilnych właściwościach użytkowych, mimo zastosowania surowców wtórnych o obniżonej jakości.
- **Możliwa jest wczesna selekcja nieperspektywicznych surowców wtórnych** – identyfikacja kluczowych parametrów makulatury (m.in. długości włókien, smarność masy, zawartości substancji ekstrakcyjnych i udziału zanieczyszczeń) pozwala na efektywną ocenę jej przydatności jeszcze przed rozpoczęciem procesu produkcyjnego.
- **Stan wstępny surowca ma krytyczne znaczenie dla jego dalszego wykorzystania** – nadmierne rozdrobnienie papieru biurowego w procesach niszczenia prowadzi do istotnego obniżenia potencjału papierotwórczego makulatury.
- **Zastosowanie odpowiednich dodatków chemicznych zwiększa funkcjonalność**

papieru z makulatury – środki retencyjne i wodoutrwalające mogą skutecznie kompensować obniżoną jakość i zmienność surowca wtórnego, umożliwiając poprawę parametrów wytrzymałościowych i strukturalnych papieru.

- **Udział włókien pierwotnych korzystnie wpływa na właściwości gotowego wyrobu** – dodatek włókien pierwotnych do masy makulaturowej znacząco poprawia właściwości użytkowe papierów z recyklingu, zwłaszcza w zakresie wytrzymałości i chłonności.
- **Odpowiedzialne zarządzanie surowcem wtórnym wspiera transformację przemysłu w kierunku zrównoważonego rozwoju** – efektywne wykorzystanie makulatury w oparciu o wyniki badań ogranicza zależność od włókien pierwotnych i wzmacnia zgodność sektora papierniczego z zasadami gospodarki o obiegu zamkniętym.

Osiągnięcie wnosi istotny wkład w rozwój nowoczesnych technologii recyklingu makulatury, odpowiadając na aktualne potrzeby branży i wyzwania związane z ograniczonymi zasobami surowców pierwotnych. Opracowane rozwiązania technologiczne wpisują się w cele polityki surowcowej i środowiskowej Unii Europejskiej, wspierając założenia gospodarki o obiegu zamkniętym oraz strategii zrównoważonego rozwoju. Udowodniono, że kluczem do efektywnego wykorzystania surowców wtórnych nie jest wyłącznie poprawa ich jakości, ale przede wszystkim umiejętne zarządzanie ich zmiennością poprzez optymalizację procesów, świadomą selekcję materiału i dostosowanie parametrów technologicznych do jego specyfiki. W perspektywie dalszego funkcjonowania branży papierniczej, recykling staje się nie tylko pożądaną strategią, ale koniecznym warunkiem zapewniającym jej konkurencyjność, odporność na kryzysy surowcowe i zgodność z regulacjami środowiskowymi. Osiągnięcie to stanowi więc zarówno odpowiedź na wyzwania współczesności, jak i kierunkowskaz dla dalszych działań rozwojowych w sektorze papierniczym.

¹ Statista (2024) *Global paper and paperboard consumption from 2006 to 2023 (in million metric tons)*. Available at: <https://www.statista.com/statistics/270319/consumption-of-paper-and-cardboard-since-2006/> [Accessed 16 May 2025].

² CEPI (2023) *Key Statistics 2023. European Paper Recycling Council (EPRC)*. Available at: <https://www.cepi.org/statistics/> [Accessed 16 May 2025].

³ FAO (2021) *Global Forest Products Facts and Figures*. Available at: <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cb9412en/> [Accessed 16 May 2025].

⁴ RynekPapierniczy.pl (n.d.) *Sektor papierniczy w Polsce – rekordowe wyniki i nowe wyzwania*. Available at: <https://www.rynekpapierniczy.pl/artukul/sektor-papierniczy-w-polsce-rekordowe-wyniki-i-nowe-wyzwania-3595> [Accessed 10 Nov. 2025].

⁵ European Paper Recycling Council (EPRC) (2021) *Monitoring Report 2021, European Declaration on Paper Recycling 2021-2030*. Available at: https://www.paperforrecycling.eu/wp-content/uploads/dlm_uploads/2022/09/DRAFT_EPRC-Monitoring-Report-2021_20220909.pdf [Accessed 10 Nov. 2025].

⁶ European Paper Recycling Council (EPRC) (2025) *Monitoring Report 2024, European Declaration on Paper Recycling 2021-2030*. Available at: <https://www.cepi.org/european-paper-recycling-council-monitoring-report-2024-now-available/> [Accessed 10 Nov. 2025].

⁷ European Paper Recycling Council (EPRC) (2023) *Monitoring Report 2023, European Declaration on Paper Recycling 2021-2030*. Available at: <https://www.cepi.org/wp-content/uploads/2024/11/24->

-
- 4378_EPRC_2023_Singlepages.pdf [Accessed 10 Nov. 2025].
- ⁸ Shred-it (2024) *Paper Recycling: How Does it Help the Environment?* Available at: <https://www.shredit.co.uk/en-gb/blog/sustainability/how-does-recycling-paper-help-the-environment> [Accessed 10 Nov. 2025].
 - ⁹ Bureau of International Recycling (BIR) (2021) *Global Facts & Figures: Paper and board recycling in 2019*. Brussels: Bureau of International Recycling. Available at: https://www.bir.org/images/uploads/publications/BIR_Paper_Report_2021.pdf [Accessed 10 Nov. 2025].
 - ¹⁰ Bureau of International Recycling (BIR) (n.d.) *Recycling Facts: Paper*. Available at: <https://www.bir.org/en/the-industry/paper> [Accessed 10 Nov. 2025].
 - ¹¹ Recycling Today (2022) *How much energy is saved by recycling paper?* Available at: <https://www.recyclingtoday.com/blogs/news/how-much-energy-is-saved-by-recycling-paper> [Accessed 10 Nov. 2025].
 - ¹² Environmental Paper Network (2021) *Paper Calculator v4.0 – Greenhouse Gas Reductions*. Available at: <https://environmentalpaper.org/tools-and-resources/paper-calculator> [Accessed 10 Nov. 2025].
 - ¹³ U.S. Environmental Protection Agency (EPA) (2018) *Advancing Sustainable Materials Management: Facts and Figures*. Available at: <https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling> [Accessed 18 Sep. 2025].
 - ¹⁴ U.S. Environmental Protection Agency (EPA) (2024) *Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990–2022*. Report EPA 430-R-24-004. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency. Available at: <https://www.epa.gov/ghgemissions/inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks-1990-2022> [Accessed 11 Oct. 2025].
 - ¹⁵ Laurijssen, J., Marsidi, M., Westenbroek, A., Worrell, E. & Faaij, A. (2010) ‘Paper and biomass for energy?: The impact of paper recycling on energy and CO₂ emissions’. *Resources, Conservation & Recycling*, 54, pp. 1208–1218. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2010.03.016>.
 - ¹⁶ Ozola, Z.U., Vesere, R., Kalnins, S.N. & Blumberga, D. (2019) ‘Paper waste recycling. Circular economy aspects’. *Environmental and Climate Technologies*, 23, pp. 260–273. Available at: <https://doi.org/10.2478/RTUECT-2019-0094>.
 - ¹⁷ Yilmaz, U., Tutus, A. & Sönmez, S. (2021) ‘Fiber classification, physical and optical properties of recycled paper’. *Cellulose Chemistry & Technology*, 55(5-6), pp. 689-696.
 - ¹⁸ Obradovic, D. & Mishra, L.N. (2020) ‘Mechanical properties of recycled paper and cardboard’. *Journal of Engineering and Exact Sciences*, 6(3), pp. 0429–0434.
 - ¹⁹ CEPI (n.d.) *Circular Economy, Renewable and recyclable: our essence*. Available at: <https://sustainability.cepi.org/policy-blocks/circular-economy/#> [Accessed 10 Nov. 2025].
 - ²⁰ FSSI Document Outsourcing Specialists (n.d.) *How many times can paper be recycled? Myth vs. fact – can recycled paper be used indefinitely?* Available at: <https://www.fssi-ca.com/myths-vs-facts-we-can-use-recycled-paper-until-its-all-gone/> [Accessed 10 Nov. 2025].
 - ²¹ Przybysz, K. (1983) ‘Zdolność papierotwórcza mas włóknistych’. *Przegląd Papierniczy*, 39(9), pp. 261–265.
 - ²² Przybysz, K. & Wielewska, M. (1998) ‘Ocena zdolności papierotwórczej makulatury w procesie recyklingu’. *Przegląd Papierniczy*, 54(11), pp. 662–666.
 - ²³ Pivnenko, K., Eriksson, E. and Astrup, T.F. (2014) ‘Waste paper for recycling: overview and identification of potentially critical substances’, *Waste Management*, 45, pp. 134-142.
 - ²⁴ EU Science Hub (2018) *Six steps to achieving the Sustainable Development Goals*. Available at: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news/six-steps-achieving-sustainable-development-goals-2018-07-16_en [Accessed 10 Dec. 2024].
 - ²⁵ European Parliament and Council of the European Union (2008) *Directive 2008/98/EC on waste and repealing certain Directives*. Official Journal of the European Union.
 - ²⁶ European Parliament and Council of the European Union (2018) *Directive 2018/851 amending Directive 2008/98/EC on waste*. Official Journal of the European Union.
 - ²⁷ European Committee for Standardization (CEN) (2014) *EN 643: Paper and board - European list of standard grades of paper and board for recycling*. Brussels: CEN.
 - ²⁸ World Commission on Environment and Development (1987) *Our common future: The Brundtland Report*. Oxford: Oxford University Press.
 - ²⁹ United Nations (2015) *Transforming our world: The 2030 Agenda for sustainable development*. Available at: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>

- <https://sdgs.un.org/2030agenda> [Accessed 10 Nov. 2025].
- ³⁰ Constable, M. (2019) 'The paper shredder: trails of law', *Law Text Culture*, 23, pp. 276–293.
 - ³¹ Lindqvist, H., Salminen, K., Kataja-aho, J., Retulainen, E., Fardim, P. and Sundberg, A. (2012) 'The effect of fibre properties, fines content and surfactant addition on dewatering, wet and dry web properties', *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 27(1), pp. 104–111.
 - ³² Kekäläinen, K., Illikainen, M. and Niinimäki, J. (2012) 'Morphological changes in never-dried kraft fibers under mechanical shearing', *Cellulose*, 19(2), pp. 879–889.
 - ³³ Joutsimo, O. and Asikainen, S. (2013) 'Effect of fiber wall pore structure on pulp sheet density of softwood kraft pulp fibers', *BioResources*, 8(2), pp. 2719–2737.
 - ³⁴ Cheng, Q., Wang, J., McNeel, J. and Jacobson, P. (2010) 'Water retention value measurements of cellulosic materials using a centrifuge technique', *BioResources*, 5(4), pp. 1945–1954.
 - ³⁵ Johansson, A. (2011) 'Correlations between fibre properties and paper properties', *Master Thesis in Pulp Technology*, KTH Vetenskap Och Konst, Stockholm, Sweden.
 - ³⁶ Sjöberg, J. and Höglund, H. (2005) 'Refining system for sack paper pulp: Part 1 HC refining under pressurised conditions and subsequent LC refining', *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 20(3), pp. 320–328.
 - ³⁷ Sirviö, J. and Nurminen, I. (2004) 'Systematic changes in paper properties caused by fines', *Pulp & Paper Canada*, 105, pp. 39–42.
 - ³⁸ Bossu, J., et al. (2019) 'Fine cellulosic materials produced from chemical pulp: the combined effect of morphology and rate of addition on paper properties', *Nanomaterials*, 9, 321. Available at: <https://doi.org/10.3390/nano9030321>.
 - ³⁹ Hai, L.V., Park, H.J. and Seo, Y.B. (2013) 'Effect of PFI mill and Valley beater refining on cellulose degree of polymerization, alpha cellulose contents, and crystallinity of wood and cotton fibers', *Journal of Korea TAPPI*, 45, pp. 27–33.
 - ⁴⁰ Polski Komitet Normalizacyjny (PKN) *PN-EN 643:2014: Papier i tektura - Europejski wykaz znormalizowanych odmian papieru i tektury do recyklingu*. Warszawa: PKN.
 - ⁴¹ Niskanen, K. (2000) 'Kraft fibers in paper – Effect of beating', in *Cellulosic Pulps, Fibres and Materials*, Kennedy, J.F., Phillips, Williams, G.O. (Eds.), Woodhead Publishing, pp. 249–260. Available at: <https://doi.org/10.1533/9781845698546.249>.
 - ⁴² Jentzen, C.A. (1964) 'The Effect of Stress Applied During Drying on Some of the Properties of Individual Pulp Fibers', *Tappi Journal*, 47, pp. 412–418.
 - ⁴³ Cole, C.A., Hubbe, M.A. and Heitmann, J.A. (2008) 'Water release from fractionated stock suspensions. Part 1. Effects of the amounts and types of fiber fines', *Tappi Journal*, 7, pp. 28–32.
 - ⁴⁴ Kang, T.G. and Paulapuro, H. (2006) 'Characterization of chemical pulp fines', *Tappi Journal*, 5, pp. 25–31.
 - ⁴⁵ Fišerová, M., Gigac, J. and Balberčák, J. (2010) 'Relationship between Fibre Characteristics and Tensile Strength of Hardwood and Softwood Kraft Pulps', *Cellulose Chemistry & Technology*, 44(7-8), pp. 249–253.
 - ⁴⁶ Mohlin, U.B. and Alfredsson, C. (1990) 'Fibre deformation and its implications in pulp characterization', *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 5, pp. 172–179. Available at: <https://doi.org/10.3183/NPPRJ-1990-05-04-P172-179>.
 - ⁴⁷ Goudarzi, A., Lin, L.T. and Ko, F.K. (2014) 'X-ray diffraction analysis of kraft lignins and lignin derived carbon nanofibers', *Journal of Nanotechnology in Engineering and Medicine*, 5, 021006.
 - ⁴⁸ Hubbe, M., Douglas, J. and Wei, S. (2015) 'Contact angles and wettability of cellulosic surfaces: A review of proposed mechanisms and test strategies', *BioResources*, 10, pp. 8657–8749.
 - ⁴⁹ Siqueira, E.J. (2024) 'Polyamidoamine Epichlorohydrin-Based Papers: Mechanisms of Wet Strength Development and Paper Repulping'. Available at: <https://theses.hal.science/tel-00952991/document> [Accessed Nov. 2025].
 - ⁵⁰ Liang, S.B., Ning, X., Fu, Q.-J., Liu, Q. and Yao, C.L. (2020) 'The use of a PAE/bentonite binary system to improve the wet strength of paper', *BioResources*, 15, pp. 8449–8458.
 - ⁵¹ Husić, E. and Botonjić, Š. (2023) 'Effect of addition of wet-strength agent on tensile strength of paper', *JST&M*, 3, pp. 30–35.

II. WYKAZ AKTYWNOŚCI NAUKOWEJ

A. Wykaz opublikowanych prac naukowych

Lp.	Dane bibliometryczne artykułów wraz z udziałem własnym	Impact Factor	Punktacja MNiSW
Publikacje naukowe z Części A Wykazu Czasopism Naukowych MNiSW, posiadające współczynnik wpływu <i>Impact Factor</i> i indeksowane w bazie <i>Journal Citation Reports</i> (w kolejności chronologicznej)			
[1]	Przybysz Kamila, Lipkiewicz Aneta, Małachowska Edyta*, Dubowik Marcin, Przybysz Piotr Assessment of efficiency and anilox-roll condition after ultrasonic cleaning Coatings, 2023, 13(10): 1699 DOI: 10.3390/coatings13101699 <i>Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współudziale w napisaniu roboczej wersji manuskryptu, sporządzeniu przeglądu literatury, wysłaniu pracy do redakcji, korespondencji z edytorem, jak również współudziale w ustosunkowaniu się do uwag recenzentów wraz z przygotowaniem finalnej wersji manuskryptu.</i> Mój udział procentowy szacuję na 15%.	2,9	100
[2]	Małachowska Edyta*, Lipkiewicz Aneta, Dubowik Marcin, Drozd Robert, Przybysz Piotr Non-destructive elemental analysis of raster roller damage using X-ray fluorescence spectroscopy Coatings, 2023, 13(8): 1398 DOI: 10.3390/coatings13081398 <i>Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na udziale w wykonanych w ramach pracy analizach badawczych – współwykonanie analiz pierwiastkowych próbek techniką XRF, współudziale w interpretacji otrzymanych wyników, napisaniu roboczej wersji manuskryptu, wysłaniu pracy do redakcji, korespondencji z edytorem, jak również ustosunkowaniu się do uwag recenzentów wraz z przygotowaniem finalnej wersji manuskryptu.</i> Mój udział procentowy szacuję na 30%.	2,9	100
[3]	Woch Julia, Małachowska Edyta*, Korasiak Kamil, Lipkiewicz Aneta, Dubowik Marcin, Chrobak Justyna,	4,6	140

* Autor korespondencyjny

Ilowska Jolanta, Przybysz Piotr

Barrier dispersion-based coatings containing natural and paraffin waxes

Molecules, 2022, 27(3): 930

DOI: 10.3390/molecules27030930

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na udziale w wykonanych w ramach pracy analizach badawczych – powleczeniu próbek papieru mieszankami powlekającymi, zbadaniu właściwości strukturalno-powierzchniowych oraz wytrzymałościowych powleczonych papierów, współudziale w interpretacji otrzymanych wyników, współtworzeniu manuskryptu, wysłaniu pracy do redakcji, korespondencji z edytorem i odniesieniu się do uwag recenzentów wraz z edycją finalnej wersji manuskryptu.

Mój udział procentowy szacuję na 15%.

[4]	Małachowska Edyta* , Dubowik Marcin, Boruszewski Piotr, Przybysz Piotr	2,843	140
-----	---	--------------	------------

Accelerated ageing of paper: effect of lignin content and humidity on tensile properties

Heritage Science, 2021, 9(132)

DOI: 10.1186/s40494-021-00611-3

Mój wkład w realizację pracy polegał na stworzeniu koncepcji pracy, wykonaniu prac badawczych, interpretacji wyników, napisaniu i złożeniu pracy do wydawnictwa, korespondencji z edytorem i odniesieniu się do uwag recenzentów wraz z edycją finalnej wersji manuskryptu.

Mój udział procentowy szacuję na 55%.

[5]	Małachowska Edyta* , Pawcenis Dominika, Dańczak Jacek, Joanna Paczkowska, Przybysz Kamila	4,967	100
-----	--	--------------	------------

Paper ageing: the effect of paper chemical composition on hydrolysis and oxidation

Polymers, 2021, 13(7), 1029

DOI: 10.3390/polym13071029

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu prac badawczych – roztworzeniu badanych surowców włóknistych, wytworzeniu laboratoryjnych arkuszy papieru, wykonaniu testów przyspieszonego starzenia próbek, a także współudziale w interpretacji otrzymanych wyników, współudziale w tworzeniu pierwotnej wersji manuskryptu, wysłaniu pracy do redakcji, korespondencji z edytorem i odniesieniu się do uwag recenzentów wraz z edycją finalnej wersji manuskryptu.

Mój udział procentowy szacuję na 40%.

[6]	Małachowska Edyta* , Dubowik Marcin, Boruszewski Piotr, Łojewska Joanna, Przybysz Piotr	4,380	140
-----	--	--------------	------------

Influence of lignin content in cellulose pulp on paper

durability

Scientific Reports, 2020, 10(19998)

DOI: 10.1038/s41598-020-77101-2

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu prac badawczych – roztworzeniu badanych surowców włóknistych, scharakteryzowaniu otrzymanych mas włóknistych, wytworzeniu laboratoryjnych arkuszy papieru, wykonaniu testów przyspieszonego starzenia, wykonaniu oznaczeń właściwości papierów, interpretacji otrzymanych wyników, współudziale w tworzeniu pierwotnej wersji manuskryptu, wysłaniu pracy do redakcji, korespondencji z edytorem i odniesieniu się do uwag recenzentów wraz z edycją finalnej wersji manuskryptu.

Mój udział procentowy szacuję na 50%.

- | | | | |
|-----|---|--------------|------------|
| [7] | Małachowska Edyta* , Dubowik Marcin, Lipkiewicz Aneta, Przybysz Kamila, Przybysz Piotr | 3,251 | 100 |
| | Analysis of cellulose pulp characteristics and processing parameters for efficient paper production | | |
| | <i>Sustainability</i> , 2020, 12(17), 7219 | | |
| | DOI: 10.3390/su12177219 | | |
-

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu prac badawczych – roztworzeniu badanych surowców włóknistych, scharakteryzowaniu otrzymanych mas włóknistych, wytworzeniu laboratoryjnych arkuszy papieru, wykonaniu oznaczeń właściwości masy włóknistej i papieru, interpretacji otrzymanych wyników, współudziale w tworzeniu pierwotnej wersji manuskryptu, wysłaniu pracy do redakcji, korespondencji z edytorem i odniesieniu się do uwag recenzentów wraz z edycją finalnej wersji manuskryptu.

Mój udział procentowy szacuję na 50%.

- | | | | |
|-----|--|--------------|------------|
| [8] | Przybysz Piotr, Dubowik Marcin, Małachowska Edyta* , Kucner Marta, Gajadur Marta, Przybysz Kazimierz | 1,614 | 100 |
| | The effect of the refining intensity on the progress in internal fibrillation and shortening of cellulose fibers | | |
| | <i>BioResources</i> , 2020, 15(1): 1482-1499 | | |
| | DOI: 10.15376/biores.15.1.1482-1499 | | |
-

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współudziale w interpretacji wyników badań.

Mój udział procentowy szacuję na 10%.

- | | | | |
|-----|--|--------------|------------|
| [9] | Małachowska Edyta* , Lipkiewicz Aneta, Niemczyk Marzena, Dubowik Marcin, Boruszewski Piotr, Przybysz Piotr | 2,622 | 140 |
| | Influences of fiber and pulp properties on papermaking ability of cellulosic pulps produced from alternative fibrous raw materials | | |
-

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu prac badawczych – roztworzeniu badanych surowców włóknistych, scharakteryzowaniu otrzymanych mas włóknistych, wytworzeniu laboratoryjnych arkuszy papieru, wykonaniu oznaczeń właściwości masy włóknistej i papieru, interpretacji otrzymanych wyników, współudziale w tworzeniu pierwotnej wersji manuskryptu, wysłaniu pracy do redakcji, korespondencji z edytorem i odniesieniu się do uwag recenzentów wraz z edycją finalnej wersji manuskryptu.

Mój udział procentowy szacuję na 20%.

- | | | | |
|------|--|-------|-----|
| [10] | Przybysz Buzala Kamila, Małachowska Edyta* ,
Martyniak Danuta, Boruszewski Piotr, Kalinowska
Halina, Przybysz Piotr

Production of sugar feedstocks for fermentation
processes from selected fast growing grasses

<i>Energies</i> , 2019, 12(16), 3129
DOI: 10.3390/en12163129 | 2,702 | 140 |
|------|--|-------|-----|
-

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu prac badawczych – przygotowaniu surowców włóknistych do dalszych analiz, wysłaniu pracy do redakcji, korespondencji z edytorem i odniesieniu się do uwag recenzentów wraz z edycją finalnej wersji manuskryptu.

Mój udział procentowy szacuję na 15%.

- | | | | |
|------|--|-------|-----|
| [11] | Przybysz Buzala Kamila, Kalinowska Halina,
Małachowska Edyta* , Boruszewski Piotr*, Krajewski
Krzysztof, Przybysz Piotr

The effect of lignin content in birch and beech kraft
cellulose pulps on simple sugar yields from the
enzymatic hydrolysis of cellulose

<i>Energies</i> , 2019, 12(15), 2952
DOI: 10.3390/en12152952 | 2,702 | 140 |
|------|--|-------|-----|
-

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współudziale w analizach badawczych i interpretacji wyników badań.

Mój udział procentowy szacuję na 10%.

- | | | | |
|------|---|-------|-----|
| [12] | Małachowska Edyta* , Dubowik Marcin

Comparison of the beatability for fast-growing plants,
softwood, and hardwood sources of fibers

<i>BioResources</i> , 2019, 14(2): 3092-3100
DOI: 10.15376/biores.14.2.3092-3100 | 1,409 | 100 |
|------|---|-------|-----|
-

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu prac badawczych – roztworzeniu

badanych surowców włóknistych, scharakteryzowaniu otrzymanych mas włóknistych, wytworzeniu laboratoryjnych arkuszy papieru, wykonaniu oznaczeń właściwości masy włóknistej i papieru, interpretacji otrzymanych wyników, współudziale w tworzeniu pierwotnej wersji manuskryptu, wysłaniu pracy do redakcji, korespondencji z edytorem i odniesieniu się do uwag recenzentów wraz z edycją finalnej wersji manuskryptu.

Mój udział procentowy szacuję na 80%.

Publikacje naukowe z Części B Wykazu Czasopism Naukowych MNiSW, nie posiadające współczynnika wpływu *Impact Factor* (w kolejności chronologicznej)

- | | | | |
|------|---|---|----|
| [13] | Czyż Katarzyna, Małachowska Edyta * | – | 40 |
| | Examination the possibility of using cellulosic sludge to obtain a composite with non-structural applications | | |
| | <i>Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Forestry and Wood Technology</i> , 2025, 129: 73-81 | | |
| | DOI: 10.5604/01.3001.0055.2609 | | |

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji pracy oraz metodyki badawczej, pozyskaniu materiałów do badań, współudziale przy analizie i opracowaniu wyników badań oraz edycji i przygotowaniu finalnej wersji manuskryptu.

Mój udział procentowy szacuję na 49%.

- | | | | |
|------|--|---|----|
| [14] | Niska Aleksandra, Małachowska Edyta * | – | 40 |
| | Influence of coating grammage on the utility properties of coated papers | | |
| | <i>Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Forestry and Wood Technology</i> , 2021, 113: 5-12 | | |
| | DOI: 10.5604/01.3001.0015.0157 | | |

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na stworzeniu koncepcji, zakresu i metodyki badań, pozyskaniu materiałów do badań, współudziale w interpretacji wyników badań oraz współudziale w tworzeniu finalnej wersji manuskryptu.

Mój udział procentowy szacuję na 50%.

Materiały konferencyjne

- | | | | |
|------|---|--|--|
| [15] | Lipkiewicz Aneta*, Dubowik Marcin, Przybysz Kamila, Przybysz Piotr, Małachowska Edyta | | |
| | Preparation of herbal extracts by extraction with supercritical carbon dioxide (CO ₂) | | |
| | <i>National Scientific Conference “3rd Summer Scientific On-line School”, Promovendi Foundation, The Book of Articles</i> , 08/2022 | | |
| | https://promovendi.pl/wp-content/uploads/2022/09/The-Book-of-Articles-National-Scientific-Conferences-2022-2.pdf | | |

Mój wkład w powstanie tej pracy obejmował tłumaczenie manuskryptu oraz jego edycję językową.

Mój udział procentowy szacuję na 5%.

Pozostałe opublikowane prace naukowe

- [16] **Małachowska Edyta***, Dubowik Marcin, Lipkiewicz Aneta, Przybysz Kamila, Piotr Przybysz, Jusza Jakub, Brendzel Michał

Laserowe czyszczenie wałków rastrowych – wyjaśniamy sekrety technologii

Świat Druku, 12/2021

<http://www.swiatdruku.eu/Archiwum/Rok-2021/12-2021/Laserowe-czyszczenie-walkow-rastrowych-wyjasniamy-sekrety-technologie>

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współudziale w stworzeniu koncepcji artykułu, opracowaniu zakresu tematycznego publikacji, współudziale w tworzeniu roboczej wersji manuskryptu oraz edycji jego finalnej wersji.

Mój udział procentowy szacuję na 20%.

B. Wykaz wystąpień na krajowych lub międzynarodowych konferencjach naukowych i wykładów plenarnych

- [1] **National Scientific Conference „e-Factory of Science”**, online: 05/04/ 2025
Responsible paper production: Can wastepaper save our forests? – [prezentacja](#)
- [2] **International Seminar** of Institute of Tropical Forestry and Forest Products (INTROP), University Putra Malaysia, Serdang Selangor: 09/10/2024
The quality of waste paper and its efficiency in paper production – [wykład plenarny](#)
- [3] **Junior Green Scientist Programme (JunGreS)**, Seri Puteri School, Malezja: 25/09/2024
Paper recycling – [prezentacja](#)
- [4] **National Scientific Conference „4th Summer Scientific On-line School”**, online: 05/08/ 2023
Papermaking ability of the present wastepaper – [prezentacja](#)
- [5] **National Scientific Conference „Science and Young Researchers” – 7th edition**, online: 03/06/2023
The utility of X-Ray fluorescence spectroscopy as a tool for monitoring raster roller damage – [poster](#)
- [6] **International Conference „Skuteczny naukowiec”**, Academy sp z o.o., online: 01/06/2023
[Udział czynny w charakterze dyskusji online](#)
- [7] **Seminarium naukowe** pt. „Określenie możliwości produkcyjnych drewna do celów energetycznych i papierniczych w plantacjach topolowych o krótkim i średnim cyklu produkcji”, Sękocin Stary: 12/12/2019
Skład chemiczny mas celulozowych i zdolność papierotwórcza topoli – [prezentacja](#)

C. Wykaz uczestnictwa w pracach zespołów badawczych realizujących projekty finansowane w drodze konkursów krajowych lub zagranicznych

- [1] 10/2021–03/2023 – wykonawca na stanowisku specjalisty B+R w projekcie POIR.01.01.01-00-1290/19-00
OptiLaserClean – optymalizacja laserowego czyszczenia wałków rastrowych w branży poligraficznej
- [2] 07/2019–06/2023 – wykonawca na stanowisku specjalisty B+R w projekcie POIR.01.01.01-00-0084/17
Opracowanie innowacyjnej technologii usuwania nadmiarowej frakcji drobnej i mineralnej z masy makulaturowej w celu optymalizacji zdolności papierotwórczej masy papierniczej do produkcji papierów sanitarno-higienicznych wraz z pilotażową instalacją technologiczną w przedsiębiorstwie JACK-POL
- [3] 01/2019–09/2021 – wykonawca na stanowisku specjalisty B+R w projekcie POIR.04.01.04-00-0022/18-00
Aktywne i ekologiczne opakowania funkcyjne do nasion roślin bobowatych
- [4] 01/2018–06/2023 – realizacja wyodrębnionego wątku badawczego w projekcie POIR.01.02.00-00-0104/17
Rozwój technologii i optymalizacja wytwarzania nanowłókien celulozowych (NFC) do celów specjalistycznych

D. Wykaz członkostwa w międzynarodowych lub krajowych organizacjach i towarzystwach naukowych

- [1] **Fundacja na rzecz Nauki Polskiej (FNP)** – organizacja realizująca misję wspierania polskiego ekosystemu nauki i innowacji poprzez wspieranie wybitnych naukowców i zespołów badawczych, a także wspomaganie innowacyjnych projektów, komercjalizacji odkryć i wynalazków naukowych.
Współpraca w charakterze eksperta do realizacji zadań w ramach Programu Fundusze Europejskie dla Nowoczesnej Gospodarki 2021–2027 (FENG) – ekspert od lutego 2024 r.
- [2] **Stowarzyszenie Papierników Polskich** – organizacja o charakterze naukowo-technicznym i menedżerskim, skupiająca członków indywidualnych oraz podmioty gospodarcze, których działalność jest związana z papiernictwem i dziedzinami pokrewnymi – członek indywidualny od października 2022 r.
- [3] **Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Leśnictwa i Drzewnictwa** – organizacja społeczna zrzeszająca inżynierów i techników branży leśnej i drzewnej, działająca w oparciu o statut – członek zwyczajny od grudnia 2022 r.
- [4] **Vivica Labs Sp. z o. o.** – spółka działająca w sektorze innych usług profesjonalnych, prowadząca działania obejmujące badania naukowe i prace rozwojowe – członek zespołu badawczego na stanowisku Papermaking Engineering w latach 2020 – 2023

E. Wykaz staży w instytucjach naukowych

- [1] **Institute of Tropical Forestry and Forest Products (INTROP), University Putra Malaysia**, Serdang Selangor, Malezja: 15/07–14/10/2024 – zagraniczny, trzymiesięczny staż naukowy, ukierunkowany na rozwój kompetencji badawczych w zakresie technologii mas papierniczych, papieru, biomasy oraz opakowań, a także na intensyfikację współpracy międzynarodowej. Realizowane aktywności obejmowały m.in.: integrację i wymianę doświadczeń z zespołami badawczymi INTROP (Pulp & Paper Technology and Products, Biomass Industry Pollution Control), udział w warsztatach dotyczących certyfikacji ekologicznej opakowań biodegradowalnych (SIRIM ECO-001, ECO-009), realizację działań popularyzatorskich w ramach programu Junior Green Scientist Programme (wykład „Paper Recycling”) oraz wizyty studyjne w Forest Research Institute of Malaysia (FRIM) i Pascorp Paper Industries Berhad. Kluczowym punktem stażu było **wyłoszenie międzynarodowego wykładu publicznego pt. „The Quality of Waste Paper and Its Efficiency in Paper Production”**, który spotkał się z dużym zainteresowaniem środowiska naukowego i przemysłowego, stanowiąc istotny element promocji dorobku naukowego oraz rozwoju współpracy międzyuczelnianej.

F. Wykaz recenzowanych prac naukowych

Czasopisma z Części A Wykazu Czasopism Naukowych MNiSW (w kolejności alfabetycznej):

- Agronomy (MDPI) – 1 recenzja
- Applied Sciences (MDPI) – 3 recenzje
- Bioresources (North Carolina State University) – 4 recenzje
- Cellulose (Springer Nature) – 5 recenzji
- Clean Technologies and Environmental Policy (Springer Nature) – 1 recenzja
- Discover Applied Sciences (Springer Nature) – 1 recenzja
- Drewno (Sieć Badawcza Łukasiewicz–Poznański Instytut Technologiczny) – 1 recenzja
- Energies (MDPI) – 8 recenzji
- Forests (MDPI) – 2 recenzje
- Heritage (MDPI) – 1 recenzja
- Heritage Science (Springer Nature) – 2 recenzje
- Industrial Crops & Products (Elsevier) – 3 recenzje
- Journal of Cultural Heritage (Elsevier) – 1 recenzja
- Materials (MDPI) – 2 recenzje
- Molecules (MDPI) – 3 recenzje
- Plant Methods (Springer Nature) – 1 recenzja
- Polymers (MDPI) – 3 recenzje
- Processes (MDPI) – 1 recenzja
- Recycling (MDPI) – 1 recenzja
- Scientific Reports (Nature Portfolio) – 2 recenzje
- Surfaces and Interfaces (Elsevier) – 2 recenzje

- Sustainability (MDPI) – 5 recenzji

Czasopisma z Części B Wykazu Czasopism Naukowych MNiSW:

- Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Forestry and Wood Technology (Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie) – 5 recenzji

Inne czasopisma naukowe (czasopisma recenzowane nieuwzględnione w aktualnym Wykazie Czasopism Naukowych MNiSW):

- Current Functional Foods (Bentham Science) – 2 recenzje
- Biuletyn Informacyjny Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Przemysłu Płyt Drewnopochodnych w Czarnej Wodzie – 1 recenzja

Prace dyplomowe:

Prace inżynierskie zrealizowane na kierunku Technologia Drewna SGGW:

- [1] Kostalkowski Marcin, Ekstrakty z liści i owoców orzecha włoskiego *Juglans regia* L. jako potencjalne fungicydy aktywne biobójczo wobec wybranych grzybów powodujących pleśnienie drewna, 2025
- [2] Kryszkiewicz Marcin, Badanie odporności na czynniki chemiczne fornirów drewna bukowego *Fagus* L. poddanego modyfikacji bezwodnikiem kwasu octowego, 2025
- [3] Nosowski Szymon, Wpływ wybranych cech drewna sosnowego na retencję, głębokość penetracji i dynamikę chłonięcia preparatu w procesie impregnacji zanurzeniowej, 2024
- [4] Jezierski Michał, Podatność na wiercenie płyt wiórowych z udziałem *Canabis sativa* L., 2023
- [5] Wilk Katarzyna, Biomateriały budowlane- kierunki i perspektywy rozwoju, 2022
- [6] Białowas Barbara Helena, Siły skrawania podczas wiercenia oraz wybrane właściwości fizyko-mechaniczne powłoki wykończeniowej na bazie żywicy epksydowej, 2021
- [7] Kucharczyk Piotr Mateusz, Wpływ rodzaju surowca drzewnego na obróbkę skrawaniem płyt wiórowych, 2021
- [8] Kozłowski Kamil, Badanie właściwości fizycznych i mechanicznych drewna modyfikowanego termicznie w środowisku azotu i pary przegrzanej, 2020

Prace inżynierskie zrealizowane na kierunku Meblarstwo SGGW:

- [1] Siarkowska Helena Maria, Wpływ nanomiedzi i nanosrebra na rozwój grzybów pleśniowych, 2025
- [2] Głogowski Oskar Amadeusz, Wpływ impregnacji tlenkiem grafenu na wybrane właściwości drewna, 2025
- [3] Kosek Agnieszka Anna, Projekt stolika-stojaka na wino z blatem ze skamieniałego drewna, 2021
- [4] Popena Anna Agnieszka, Projekt wielofunkcyjnego domku z tworzyw drzewnych dla dzieci, 2021
- [5] Gos Jeremi Stanisław, Trwałość ostrzy skrawających WCCo, otrzymywanych metodą

impulsowo-plazmowego spiekania w obróbce materiałów drewnopochodnych, 2020

- [6] Januszewski Adam Piotr, Podatność na obróbkę skrawaniem płyt wiórowych z dodatkiem łożdgy maliny właściwej (*Rubus idaeus* L.), 2020

G. Wykaz uczestnictwa w programach europejskich lub innych programach międzynarodowych

- [1] **Alliance of Centres of Vocational Excellence in the Furniture and Wood Sector (ALLVIEW)** (621192-EPP-1-2020-1-ES-EPPKA3-VET-COVE), finansowany w ramach programu Erasmus+ – stanowisko Technicians w latach 2022–2023
- [2] **Sukces z natury – kompleksowy program podniesienia jakości zarządzania procesem kształcenia i jakości nauczania Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie** (POWR.03.05.00-00-Z033/17), finansowany z środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju – Koordynator Wydziałowy zadania 9 modułu 2 projektu w latach 2019–2020

H. Wykaz uczestnictwa w zespołach oceniających wnioski o finansowanie badań, wnioski o przyznanie nagród naukowych, wnioski w innych konkursach mających charakter naukowy lub dydaktyczny

- [1] **Fundacja na rzecz Nauki Polskiej (FNP)** – ekspert od lutego 2024 r. w ocenie wniosków o dofinansowanie w ramach Programu Fundusze Europejskie dla Nowoczesnej Gospodarki (FENG) 2021-2027, Priorytet 2: Środowisko sprzyjające innowacjom, Działanie 2.7: Proof of Concept.
- [2] **VIII Ogólnopolski Młodzieżowy Konkurs Wiedzy o Drewnie, 2025/2026** – członek zespołu Centralnej Komisji konkursowej
- [3] **VII Ogólnopolski Młodzieżowy Konkurs Wiedzy o Drewnie, 2024/2025** – członek zespołu Centralnej Komisji konkursowej
- [4] **VI Ogólnopolski Młodzieżowy Konkurs Wiedzy o Drewnie, 2023/2024** – członek zespołu Centralnej Komisji konkursowej
- [5] **V Ogólnopolski Młodzieżowy Konkurs Wiedzy o Drewnie, 2022/2023** – członek zespołu Centralnej Komisji konkursowej
- [6] **Sukces z natury – kompleksowy program podniesienia jakości zarządzania procesem kształcenia i jakości nauczania Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie** (POWR.03.05.00-00-Z033/17), 2019/2020 – 1) członek Komisji ds. przeprowadzenia rekrutacji studentów do uczestnictwa w projekcie, wydziałowy Koordynator postępowania rekrutacyjnego; 2) członek Zespołu Projektowego, powołanego przez Rektora SGGW, do realizacji i rozliczenia projektu (na podstawie zał. nr 3 do: Zarządzenia nr 36/2019 Rektora Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie z dnia 9 sierpnia 2019 r.)

III. WSPÓŁPRACA Z OTOCZENIEM SPOŁECZNYM I GOSPODARCZYM

A. Wykaz dorobku technologicznego

Poniższe zestawienie obejmuje technologie i rozwiązania technologiczne o charakterze aplikacyjnym, opracowane w ramach projektów POIR.01.01.01-00-1290/19-00 oraz POIR.01.01.01-00-0084/17:

- [1] **Prototypowe stanowisko badawcze do laserowego czyszczenia wałków rastrowych** – opracowano w pełni zautomatyzowane stanowisko badawczo-technologiczne do czyszczenia wałków rastrowych (aniloxów) z wykorzystaniem wiązki laserowej. Opracowany układ, złożony z modułu napędu wałka, dwóch głowic laserowych z regulowanym kątem i przesuwem oraz systemu sterowania PLC z interfejsem HMI, pozwala na precyzyjną regulację i rejestrację parametrów procesu, takich jak energia impulsu, częstotliwość, prędkość obrotowa wałka i przesuw głowicy. Stanowisko badawcze dzięki pełnej automatyzacji umożliwia nie tylko szeroki zakres regulacji poszczególnych zmiennych procesu czyszczenia, ale również pełną kontrolę wszystkich zadanych parametrów. Opracowana technologia stała się podstawą przemysłowego wdrożenia w firmie GRAW Sp. z o.o. w Ozorkowie, specjalizującej się w technologiach dla poligrafii.
- [2] **Systemowa metodyka laserowego czyszczenia aniloxów** – opracowano innowacyjną technologię laserowego czyszczenia wałków rastrowych, obejmującą zestawy parametrów standardowych, optymalnych i alternatywnych, pozwalających na skuteczne usuwanie resztek farb wodnych, solwentowych i lakierów UV o różnych barwach, przy jednoczesnym zachowaniu integralności powłoki ceramicznej aniloxa, z uwzględnieniem zróżnicowania liniatury rastra. Ustalono kluczowe kryteria efektywności procesu, definiując poziom wyczyszczenia na minimum 92% kałamarzy oraz graniczne wartości mocy impulsu wiązki lasera, które zapewniają bezpieczeństwo powierzchni roboczej wałka. Oceny skuteczności czyszczenia wałków rastrowych po procesie laserowym dokonano za pomocą opracowanej w ramach badań mikroskopowej metody analizy kluczowych elementów geometrycznych siatki rastrowej (porównanie przed i po czyszczeniu) oraz weryfikacji stopnia oczyszczenia ($92 \div 95\%$ kałamarzy). Opracowana technologia, wdrożona przemysłowo, przedstawiona została w czasopiśmie branżowym *Świat Druku*, w artykule pt. „Laserowe czyszczenie wałków rastrowych – wyjaśniamy sekrety technologii” (nr 12/2021).
- [3] **Metodyka rentgenowskiej spektroskopii fluorescencyjnej (XRF) do nieniszczącej diagnostyki aniloxów** – opracowano autorską metodę diagnostyki stanu technicznego wałków rastrowych z wykorzystaniem rentgenograficznej spektroskopii fluorescencyjnej (XRF). Opracowana procedura pozwala na nieniszczącą analizę powierzchni roboczej aniloxa, umożliwiając detekcję mikropęknięć w strukturze powłoki ceramicznej wałka oraz ocenę jej składu pierwiastkowego. Na potrzeby projektu zaprojektowano i wykonano pilotażowe stanowisko badawcze, wyposażone m.in. w czujnik rentgenowskiej spektroskopii fluorescencyjnej (XRF) z mechanizmem przesuwu w osiach X i Y, umożliwiające analizę powierzchni roboczej aniloxa

w sposób bezkontaktowy. Metodyka ta została wdrożona do praktyki diagnostycznej przez firmę GRAW Sp. z o.o. w Ozorkowie jako element systemowej oceny stanu wałków rastrowych. Opracowana procedura stanowi pierwsze naukowe wykorzystanie techniki XRF w diagnostyce aniloxów, a jej skuteczność została udokumentowana w publikacji pt. „Non-destructive elemental analysis of raster roller damage using X-ray fluorescence spectroscopy”, opublikowanej w czasopiśmie *Coatings* (DOI: 10.3390/coatings13081398).

- [4] **Technologia modelowego zanieczyszczania wałków rastrowych w warunkach laboratoryjnych** – opracowano metodę symulacji rzeczywistych warunków produkcyjnych druku fleksograficznego z użyciem testera IGT F1, umożliwiającą odtwarzanie procesów zadruku i zabrudzenia wałków farbami komercyjnymi. Standaryzacja procesu pozwoliła na porównywalność wyników badań w warunkach laboratoryjnych i przemysłowych, zapewniając wysoką wartość aplikacyjną wyników, a także stanowiąc podstawę do opracowania i weryfikacji skuteczności technologii czyszczenia laserowego.
- [5] **Kompleksowa metodologia oceny zdolności papierotwórczej mas makulaturowych** – opracowano zintegrowany system analityczny obejmujący oznaczenie zawartości zanieczyszczeń, analizę składu chemicznego masy włóknistej, właściwości morfologicznych włókien, zawartości frakcji drobnej, wartości wskaźnika WRV, smarność masy, oraz pełnego zestawu właściwości wytrzymałościowych, optycznych i powierzchniowych papieru. Opracowana procedura pozwoliła na stworzenie obiektywnego narzędzia klasyfikacji różnych sortów makulatury dostępnej na polskim rynku oraz prognozowanie właściwości finalnego wyrobu papierniczego, a tym samym wstępną ocenę przydatności makulatury do produkcji papieru. Opracowany system walidacji i charakterystyki makulatury udokumentowano w publikacji pt. „Which wastepaper should not be processed?”, w czasopiśmie *Sustainability* (DOI: 10.3390/su15042850).
- [6] **Technologia selektywnego usuwania nadmiarowej frakcji drobnej mineralnej z masy makulaturowej** – opracowano zoptymalizowany układ procesowy umożliwiający usunięcie ponad 80% frakcji drobnej mineralnej z masy makulaturowej, przy jednoczesnym utrzymaniu wydajności masy powyżej 75%. Zintegrowana, trójstopniowa metoda separacji wypełniacza (oczyszczanie – sortowanie – mycie) umożliwia prowadzenie procesu z wysoką selektywnością i niskimi stratami włókien, zapewniając efektywność procesu oraz stabilną wydajność masy włóknistej. Opracowane rozwiązanie zweryfikowano w skali technicznej w zakładzie JACK-POL w Oławie, gdzie metoda została wdrożona jako integralny etap technologiczny linii przygotowania masy.
- [7] **Technologia modyfikacji właściwości masy makulaturowej przy wykorzystaniu funkcjonalnych dodatków chemicznych:**
- Opracowano metodykę stosowania środka wodoutrwalającego opartą na żywicy poliamidowo-epichlorohydrynowej, wskazując optymalny dodatek środka, zapewniający wzrost parametrów wytrzymałościowych i strukturalnych papieru,

przy jednoczesnym obniżeniu ich podatności na rozpad w stanie mokrym, a także nie powodujący obserwowalnych zmian właściwości optycznych. Wyniki prac opublikowano w czasopiśmie *Sustainability*, w artykule pt. „Striving for sustainable solutions: optimizing utility properties of recycled paper with the addition of wet strength resin” (DOI: 10.3390/su16093752).

- Opracowano procedurę dozowania kationowego środka retencyjnego, wskazując optymalny dodatek środka, pozwalający na osiągnięcie równowagi między jakością produktu finalnego a efektywnością procesu technologicznego. Opracowana metodyka przedstawiona została w artykule pt. „Impact of retention agents on functional properties of recycled paper in sustainable manufacturing”, w czasopiśmie *Applied Sciences* (DOI: 10.3390/app15020875).

[8] Pilotażowa instalacja technologiczna oczyszczania masy makulaturowej z nadmiarowej frakcji drobnej i mineralnej w przedsiębiorstwie JACK-POL – opracowano kompletny układ technologiczny, zweryfikowany i wykorzystywany do walidacji technologii w warunkach przemysłowych, co potwierdziło możliwość trwałego stosowania opracowanej linii technologicznej na skalę produkcyjną.

[9] Metoda tworzenia powłok zabezpieczających o modulowanej gramaturze (efekt „znaku wodnego”) – opracowano metodę nanoszenia powłok o zróżnicowanej gramaturze, tworzących trwały wzór identyfikacyjny na papierze (szachownica 4×4 cm, plaster miodu). Zaprojektowano i zoptymalizowano system okładzin topograficznych (druk 3D), określając kluczowy parametr – wysokość progu 150 μ (0,15 mm) – umożliwiający stabilne tworzenie powłoki o cechach zabezpieczających, widocznej pod kątem lub po zwilżeniu.

[10] Technologia zabezpieczania worków papierowych do przechowywania nasion roślin bobowatych – opracowano kompletną metodę modyfikacji emulsji parafinowej dodatkiem transparentnych pigmentów fluorescencyjnych, umożliwiającą prostą weryfikację autentyczności worków papierowych pod światłem UV, przy jednoczesnym braku wpływu na lepkość, transparentność emulsji (>95%), właściwości powłoki i parametry użytkowe papieru. Zdefiniowano optymalne stężenia pigmentów, zapewniające wysoką efektywność zabezpieczenia, kompatybilność z procesem powlekania oraz stabilną dyspersję w medium.

B. Współpraca z sektorem gospodarczym

[1] Natural Fibers Advanced Technologies (NFAT) – współpraca badawczo-rozwojowa prowadzona od 2017 r., obejmująca szeroki zakres zagadnień z obszaru technologii papieru, papierniczych mas włóknistych, przetwórstwa papierniczego oraz biokonwersji surowców lignocelulozowych do produktów o wysokiej wartości dodanej. W ramach tej współpracy uczestniczyłam w realizacji projektów badawczych (pkt II.C., poz. nr 1–4), ukierunkowanych zarówno na opracowywanie innowacyjnych technologii i rozwiązań procesowych dla przemysłu, jak i na rozwiązywanie bieżących problemów technologicznych.

[2] GRAW Sp. z o.o. w Ozorkowie – współpraca realizowana w latach 2021–2023,

w ramach konsorcjum naukowo-przemysłowego, dotycząca opracowania i wdrożenia nowatorskich metod czyszczenia oraz diagnostyki wałków rastrowych w branży poligraficznej. W ramach projektu (POIR.01.01.01-00-1290/19-00) opracowano metodykę oceny skuteczności ultradźwiękowego czyszczenia wałków rastrowych oraz zastosowano spektroskopię fluorescencji rentgenowskiej (XRF) do nieniszczącej diagnostyki aniloxów, stanowiącą pionierskie rozwiązanie. Wyniki badań znalazły bezpośrednie zastosowanie w praktyce przemysłowej i zostały opublikowane w recenzowanych i branżowych czasopismach (Coatings: DOI: 10.3390/coatings13101699; 10.3390/coatings13081398; Świat Druku (12/2021)).

- [3] **Producent Wyrobów Papierniczych JACK-POL** w Oławie – współpraca realizowana w latach 2019–2023, w zakresie opracowania innowacyjnej technologii poprawy zdolności papierotwórczej makulatury dostępnej obecnie na rynku (projekt nr POIR.01.01.01-00-0084/17). Prace obejmowały m. in.: analizy zdolności papierotwórczej szerokiego spektrum makulatur wykorzystywanych w zakładzie JACK-POL, ocenę efektywności i selektywności metod usuwania frakcji drobnych, a także optymalizację procesów przygotowania masy papierniczej. Rezultatem współpracy było opracowanie technologii, która może stanowić przełomowe rozwiązanie dla branży papierniczej w zakresie optymalizacji procesów produkcji papierów sanitarno-higienicznych z makulatury dostępnej na rynku krajowym (kat. 2 i 3 wg normy PN-EN 643:2001). Wyniki prac zostały opublikowane w renomowanych czasopismach naukowych (DOI: 10.3390/app15020875; 10.3390/su16093752; 10.3390/su15042850; 10.5604/01.3001.0014.3677).
- [4] **Instytut Ciężkiej Syntezy Organicznej „Blachownia”** w Kędzierzynie-Koźlu oraz firma **Agroyoumis Sp. z o.o.** – współpraca realizowana w latach 2019–2023 w zakresie opracowania prototypowych rozwiązań w zakresie pakowania kwalifikowanych nasion roślin bobowatych (projekt nr POIR.04.01.04-00-0022/18-00). Opracowana technologia pozwoliła uzyskać ekologiczne, biodegradowalne opakowania funkcyjne o zwiększonej odporności mechanicznej i podwyższonej hydrofobowości. Wyniki badań opublikowano w czasopismach *Molecules* (DOI: 10.3390/molecules27030930) oraz *Annals of WULS – SGGW, Forestry and Wood Technology* (DOI: 10.5604/01.3001.0015.0157).

C. Wykaz wdrożonych technologii

- [1] **Technologia wytwarzania nanowłókien celulozowych do zastosowań specjalistycznych** (opracowana w ramach projektu o akronimie NANOSPECIAL nr POIR.01.02.00-00-0104/17) – zintegrowana procedura wytwarzania czystych chemicznie nanowłókien celulozowych ukierunkowana od pierwszego etapu procesu na uzyskanie produktu o wysokiej czystości chemicznej i kontrolowanych właściwościach użytkowych. Technologia obejmuje pełny ciąg operacji: od roztwarzania surowca celulozowego, poprzez proces bielenia, aż do etapu fibrylacji. Uzyskane nanowłókna przeznaczone są do zastosowań specjalistycznych, w szczególności jako składnik powłok do znaczników chemicznych oraz do zastosowań medycznych. Opracowana procedura stanowi wdrożenie procesowe

ukierunkowane na wytwarzanie nanocelulozy o jakości spełniającej wymagania aplikacji wysokospecjalistycznych w firmie Natural Fibers Advanced Technologies (NFAT).

- [2] **Technologia laserowego czyszczenia aniloxów** – innowacyjna metoda laserowego czyszczenia wałków rastrowych, obejmująca zestawy parametrów standardowych, optymalnych i alternatywnych. Technologia umożliwia skuteczne usuwanie resztek farb poligraficznych z gwarantowaną efektywnością czyszczenia na poziomie $\geq 92\%$ oczyszczonych kałamarzy, niezależnie od koloru medium i liniatury rastra, przy pełnym zachowaniu integralności powłoki ceramicznej wałka. Rozwiązanie zostało wdrożone w praktyce przemysłowej firmy GRAW Sp. z o.o. w Ozorkowie i upowszechnione w czasopiśmie branżowym Świat Druku (12/2021).
- [3] **Technologia selektywnego usuwania nadmiarowej frakcji drobnej mineralnej z masy makulaturowej** – zintegrowany układ procesowy umożliwiający usunięcie ponad 80% frakcji drobnej mineralnej z masy makulaturowej przy zachowaniu wydajności masy włóknistej na poziomie powyżej 75% i minimalnych stratach włókien. Zoptymalizowana trójstopniowa sekwencja technologiczna (oczyszczanie – sortowanie – mycie) została zintegrowana z linią przygotowania masy jako stały etap produkcyjny, znacząco podnosząc zdolność papierotwórczą masy wtórnej. Rozwiązanie zostało zweryfikowane w skali technicznej i wdrożone jako stały element linii przygotowania masy makulaturowej w zakładzie JACK-POL Sp. z o.o. w Oławie.

D. Wykaz wykonanych ekspertyz lub innych opracowań wykonanych na zamówienie instytucji publicznych lub przedsiębiorców

- [1] Współudział w opracowaniu dokumentacji dla przemysłu: współautorstwo raportu z prac badawczo-rozwojowych dedykowanych znaczącej poprawie właściwości użytkowych papieru do produkcji płyt kartonowo-gipsowych (2018). Autorzy: Przybysz Kazimierz, Przybysz Piotr, Dubowik Marcin, Małachowska Edyta.
- [2] Opinia ekspercka dotycząca weryfikacji prawidłowości oceny wniosku o dofinansowanie w ramach Programu Fundusze Europejskie dla Nowoczesnej Gospodarki (FENG) 2021-2027, Priorytet 2: Środowisko sprzyjające innowacjom, Działanie 2.7: Proof of Concept. Weryfikacja oceny dokonanej przez Instytucję Pośredniczącą (Fundacja na Rzecz Nauki Polskiej – FNP) w rozumieniu Rozdziału 2 pkt 6 lit. a Wytycznych dotyczących korzystania z usług ekspertów w programach na lata 2021 – 2017.

E. Wykaz udziału w zespołach eksperckich lub konkursowych

- [1] **Ewaluacja jakości działalności naukowej SGGW w latach 2022–2025** – członek zespołu ds. opisów wpływu działalności naukowej na otoczenie społeczno-gospodarcze (III kryterium ewaluacji) w dyscyplinie nauki leśne
- [2] **VIII Ogólnopolski Młodzieżowy Konkurs Wiedzy o Drewnie, 2025/2026** – członek zespołu Centralnej Komisji konkursowej
- [3] **VII Ogólnopolski Młodzieżowy Konkurs Wiedzy o Drewnie, 2024/2025** – członek

zespołu Centralnej Komisji konkursowej

- [4] **VI Ogólnopolski Młodzieżowy Konkurs Wiedzy o Drewnie, 2023/2024** – członek zespołu Centralnej Komisji konkursowej
- [5] **V Ogólnopolski Młodzieżowy Konkurs Wiedzy o Drewnie, 2022/2023** – członek zespołu Centralnej Komisji konkursowej
- [6] **Sukces z natury – kompleksowy program podniesienia jakości zarządzania procesem kształcenia i jakości nauczania Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie**, nr projektu POWR.03.05.00-00-Z033/17, 2019/2020 – członek Komisji ds. przeprowadzenia rekrutacji studentów do uczestnictwa w projekcie, wydziałowy Koordynator postępowania rekrutacyjnego
- [7] **Sukces z natury – kompleksowy program podniesienia jakości zarządzania procesem kształcenia i jakości nauczania Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie**, nr projektu POWR.03.05.00-00-Z033/17, 2019/2020 – członek Zespołu Projektowego, powołanego przez Rektora SGGW, do realizacji i rozliczenia projektu (na podstawie zał. nr 3 do: Zarządzenia nr 36/2019 Rektora Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie z dnia 9 sierpnia 2019 r.)

IV. DANE NAUKOMETRYCZNE

A. Impact Factor

- Sumaryczny Impact Factor: **61,238**
- Liczba punktów MNiSW: 2380

B. Liczba cytowań publikacji

Dorobek publikacyjny obejmuje 34 prace naukowe (w tym 24 po uzyskaniu stopnia doktora), z czego 23 publikacje są indeksowane w bazie Web of Science, w tym 20 w Web of Science Core Collection. Pozostałe to publikacje w czasopiśmie nieindeksowanych w WoS, ujęte jednak w innych krajowych i międzynarodowych bazach bibliograficznych, takich jak Google Scholar, BazTech oraz Index Copernicus. Dorobek obejmuje ponadto 1 publikację o charakterze branżowym oraz 1 opracowanie opublikowane w materiałach konferencyjnych.

Według bazy Web of Science Core Collection (stan na dzień 19.12.2025) publikacje ujęte w tej bazie uzyskały **łącznie 428 cytowań**, w tym **409 bez autocytowań**. Prace te były cytowane w 376 artykułach, z czego 368 stanowią cytowania bez autocytowań. Według bazy Google Scholar publikacje uzyskały łącznie 701 cytowań.

C. Indeks Hirscha

- Wskaźnik Hirscha według bazy Web of Science: **11**
- Wskaźnik Hirscha według bazy Google Scholar: 13