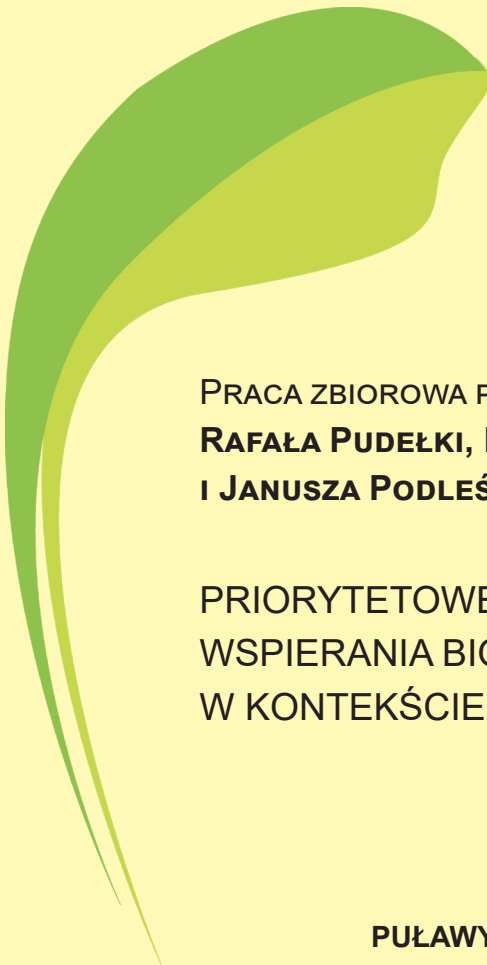




**INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY**
INSTITUTE OF SOIL SCIENCE AND PLANT CULTIVATION
STATE RESEARCH INSTITUTE

MONOGRAFIE I ROZPRAWY NAUKOWE

67



PRACA ZBIOROWA POD REDAKCJĄ
**RAFAŁA PUDEŁKI, MAGDALENY BORZĘCKIEJ
I JANUSZA PODLEŚNEGO**

PRIORYTETOWE KIERUNKI
WSPIERANIA BIOGOSPODARKI
W KONTEKŚCIE WPR W POLSCE

PUŁAWY 2025

**MONOGRAFIE
I ROZPRAWY NAUKOWE**

67

PRACA ZBIOROWA POD REDAKCJĄ
**RAFAŁA PUDEŁKI, MAGDALENY BORZĘCKIEJ
I JANUSZA PODLEŚNEGO**

PRIORYTETOWE KIERUNKI
WSPIERANIA BIOGOSPODARKI
W KONTEKŚCIE WPR W POLSCE

INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY
INSTITUTE OF SOIL SCIENCE AND PLANT CULTIVATION
STATE RESEARCH INSTITUTE

Dyrektor: *prof. dr hab. Mariusz Matyka*

Redaktor naczelny: *prof. dr hab. Janusz Podleśny*

Recenzenci: *dr hab. inż. Ewelina Anna Olba-Zięty,*
dr hab. inż. Wojciech J. Cichy

Zespół autorów:

Zakład Biogospodarki i Analiz
Systemowych IUNG-PIB

prof. dr hab. Antoni Faber

dr hab. Rafał Pudelko

dr hab. Magdalena Borzęcka

dr Zuzanna Jarosz

dr Robert Borek

dr Małgorzata Kozak

dr Anna Jędrejek

mgr Krystian Mocny

Zakład Systemów i Ekonomiki
Produkcji Roślinnej IUNG-PIB

dr Andrzej Madej

dr Paweł Radzikowski

dr Andrzej Górnik

Zakład Uprawy Roślin Pastewnych
IUNG-PIB

prof. dr hab. Jerzy Księżak

Opracowanie redakcyjne i techniczne: *mgr Katarzyna Mikulska*

ISBN 978-83-7562-442-7

Publikacja elektroniczna

Wydawnictwo IUNG-PIB
Dział Komunikacji Nauki IUNG-PIB w Puławach
tel.: (81) 4786720, 725
e-mail: dkn@pulawy.pl; <http://www.iung.pulawy.pl>

Praca zbiorowa

pod redakcją Rafała Pudełki, Magdaleny Borzęckiej i Janusza Podleśnego

**PRIORYTETOWE KIERUNKI WSPIERANIA BIOGOSPODARKI
W KONTEKŚCIE WPR W POLSCE**

SPIS TREŚCI

WSTĘP.....	8
I. CELE I ZNACZENIE BIOGOSPODARKI – ANTONI FABER, ZUZANNA JAROSZ	9
1. WSTĘP.....	10
2. ZRÓWNOWAŻENIE BIOGOSPODARKI	11
3. CYRKULACYJNOŚĆ GOSPODARKI.....	16
4. BIOMASA	18
5. PODAŻ I POPYT NA BIOMASĘ W SKALI GLOBALNEJ	19
6. PODAŻ I POPYT NA BIOMASĘ W EUROPIE I UNII EUROPEJSKIEJ.....	21
7. BIOGOSPODARKA W POLSCE	24
8. PODSUMOWANIE	24
9. LITERATURA.....	25
II. PRZEGLĄD STRATEGII ROZWOJU BIOGOSPODARKI NA OBSZARACH WIEJSKICH W WYBRANYCH PAŃSTWACH CZŁONKOWSKICH UE – ANTONI FABER, ZUZANNA JAROSZ.....	27
1. WSTĘP.....	28
2. STRATEGIA BIOGOSPODARKI WŁOCH.....	28
2.1. Wizja biogospodarki	28
2.2. Plan działania.....	29
2.3. Monitoring	31
3. STRATEGIA BIOGOSPODARKI HISZPANII	31
3.1. Wizja biogospodarki	32
3.2. Plan działania.....	34
3.3. Monitoring	36
4. STRATEGIA BIOGOSPODARKI NIEMIEC.....	36
4.1. Wizja biogospodarki	36
4.2. Plan działania.....	38
4.3. MonitoRING.....	42
5. STRATEGIA BIOGOSPODARKI LITWY.....	42
6. PODSUMOWANIE	42
7. LITERATURA.....	43
III. EUROPEJSKI ZIELONY ŁAD: założenia i cele – ANTONI FABER, ZUZANNA JAROSZ	44
1. WSTĘP.....	45
2. PRZESŁANKI DO PRZYJĘCIA STRATEGII EUROPEJSKIEGO ZIELONEGO ŁADU.....	45
3. EUROPEJSKI ZIELONY ŁAD.....	47
4. STRATEGIA „OD POŁA DO STOŁU”	48
5. POWIĄZANIA MIĘDZY WSPÓLNĄ POLITYKĄ ROLNĄ A EUROPEJSKIM ZIELONYM ŁADEM.....	50

6. EUROPEJSKI ZIELONY ŁĄD A OGRANICZENIE EMISJI GAZÓW CIEPLARNIANYCH W ROLNICTWIE	52
7. PODSUMOWANIE	52
8. LITERATURA	53
IV. ROLNICTWO W ZRÓWNOWAŻONEJ BIOGOSPODARCE – WYZWANIA I ROZWIĄZANIA – ROBERT BOREK	54
1. WSTĘP	55
2. CZY BIOGOSPODARKA JEST ZRÓWNOWAŻONA?	55
3. GOSPODARKA O OBIEGU ZAMKNIĘTYM	58
4. W KIERUNKU ZRÓWNOWAŻONEJ BIOGOSPODARKI O OBIEGU ZAMKNIĘTYM	62
5. ZIELONA GOSPODARKA – TRANSFORMACYJNA (BIO) GOSPODARKA INTEGRUJĄCA SPOŁECZNOŚĆ I JEJ POTRZEBY	64
6. ROLA ROLNIKÓW W KSZTAŁTOWANIU WIZJI ZRÓWNOWAŻONEJ BIOGOSPODARKI	68
7. AGROEKOLOGIA – IDEALNY MODEL BIOGOSPODARKI DLA ROLNICTWA	72
8. PODSUMOWANIE	75
9. LITERATURA	76
V. BIOGOSPODARKA: ADAPTACJA ROLNICTWA DO ZMIAN KLIMATU – ANTONI FABER, ZUZANNA JAROSZ	80
1. WSTĘP	81
2. EFEKTY ZMIAN KLIMATU STWIERDZANE OBECNIE	82
3. PROGNOZOWANE EFEKTY ZMIAN KLIMATU	83
4. STRATEGIE ADAPTACJI DO ZMIAN KLIMATU W UE I W POLSCE	85
5. TYPY ADAPTACJI DO ZMIAN KLIMATU	87
6. KATEGORIE ADAPTACJI DO ZMIAN KLIMATU	88
7. ADAPTACJA ROLNICTWA DO ZMIAN KLIMATU	90
8. PODSUMOWANIE	93
9. LITERATURA	94
VI. BIOMASA NA CELE ŻYWNOŚCIOWE – ANDRZEJ MADEJ	96
1. WSTĘP	97
2. ZBOŻA, STRĄCZKOWE NA NASIONA, OLEISTE (RZEPAK)	98
2.1. Ocena porażenia surowców przez szkodniki ich zwalczanie	102
3. BURAK CUKROWY	105
4. ZIEMNIAK	106
5. WARZYWA I OWOCE	106
6. NOWOCZESNE SPOSOBY PRZECHOWYWANIA OWOCÓW I WARZEW	109
7. PRZYGOTOWANIE SUROWCÓW DO OBROTU	110
8. OPAKOWANIA DLA OWOCÓW I WARZEW	113
9. PAKOWANIE W MODYFIKOWANEJ ATMOSFERZE	114
10. PODSUMOWANIE	115
11. LITERATURA	117

VII. PRZEMYSŁ SPOŻYWCZY – BIOMASA ODPADOWA

I UBOCZNA – ANDRZEJ MADEJ	119
1. WSTĘP	120
2. WALORYZACJA STRAT ŻYWNOŚCI I ODPADÓW ŻYWNOŚCIOWYCH	120
2.1. Odpady żywnościowe	120
3. STRATY ŻYWNOŚCI W PROCESIE PRZECHOWYWANIA ROŚLINNYCH PRODUKTÓW ROLNICZYCH ORAZ POZOSTAŁOŚCI Z PRZEMYSŁU ROLNO-SPOŻYWCZEGO PRODUKTÓW ROŚLINNYCH	123
3.1. Rynek zbóż	127
3.2. Rynek rzepaku	134
3.3. Rynek buraka cukrowego	136
3.4. Rynek ziemniaka	138
3.5. Rynek owoców i warzyw	141
4. POZOSTAŁOŚCI Z PRZEMYSŁU ROLNO-SPOŻYWCZEGO PRODUKTÓW ZWIERZĘCYCH	144
4.1. Rynek mleka	147
4.2. Rynek mięsa	148
4.3. Rynek ryb	154
4.4. Rynek jaj	155
5. PODSUMOWANIE	156
6. LITERATURA	156

VIII. MOŻLIWOŚCI POZYSKIWANIA I RECYKLINGU SKŁADNIKÓW ODŻYWCZYCH ORAZ MATERII ORGANICZNEJ Z SEKTORA ROLNICZEGO – ANDRZEJ GÓRNIK.....

1. WSTĘP.....	159
2. WYKORZYSTANIE POFERMENTU JAKO DODATKU DO GLEB.....	159
3. RECYKLING BIOMASY W PROCESIE KOMPOSTOWANIA	161
4. BIEWĘGIEL JAKO PRODUKT PIROLIZY ORAZ MAGAZYN SKŁADNIKÓW ODŻYWCZYCH.....	164
5. PODSUMOWANIE	165
6. LITERATURA.....	166

IX. MOŻLIWOŚCI PRODUKCJI BIEWĘGLA W MAŁYCH GOSPODARSTWACH ROLNYCH – PAWEŁ RADZIKOWSKI.....

1. WSTĘP	170
2. WPROWADZENIE	170
3. RÓŻNE DEFINICJE BIEWĘGLA	172
4. WYMAGANIA DOTYCZĄCE JAKOŚCI BIEWĘGLA ORAZ PROCES CERTYFIKACJI.....	174
5. ŹRÓDŁA SUBSTRATU W GOSPODARSTWIE ROLNYM.....	178
6. METODY WYTWARZANIA BIEWĘGLA W GOSPODARSTWACH ROLNYCH	180
7. WYKORZYSTANIE BIEWĘGLA W PRODUKCJI ROLNICZEJ	190
8. PODSUMOWANIE	191
9. LITERATURA.....	192

X. PRODUKCJA NASION ROŚLIN STRĄCZKOWYCH I SUROWCÓW PASZOWYCH W POLSCE – JERZY KSIĘŻAK	195
1. WSTĘP.....	196
2. ROŚLINY STRĄCZKOWE W PŁODOZMIANIE	201
3. POWIERZCHNIA UPRAWY I UDZIAŁ W STRUKTURZE ZASIEWÓW	204
4. POZIOM PŁONOWANIA.....	209
5. POTENCJAŁ PŁONOWANIA.....	212
6. PRODUKCJA NASION	213
7. POWIERZCHNIA UPRAWY MATERIAŁU KWALIFIKOWANEGO.....	214
8. WSPARCIE BEZPOŚREDNIE DO UPRAWY ROŚLIN BOBOWATYCH	215
9. PRODUKCJA WYSOKOBIAŁKOWYCH SUROWCÓW PASZOWYCH	216
9.1. Rolnicze i pozarolnicze czynniki decydujące o możliwościach uprawy	225
9.2. Perspektywy.....	227
10. PODSUMOWANIE	227
11. LITERATURA	229
 XI. KRAJOWE ZASOBY BIOMASY POCHODZENIA ROLNICZEGO – MAGDALENA BORZĘCKA, MAŁGORZATA KOZAK, ANNA JĘDREJEK, KRYSZTOF MOCNY, RAFAŁ PUDEŁKO	 236
1. WSTĘP.....	237
2. BAZY DANYCH.....	238
3. PRODUKTY UBOCZNE	239
3.1. Potencjał słomy.....	241
3.2. Potencjał biomasy z użytków zielonych.....	246
3.3. Biomasa uboczna z produkcji zwierzęcej.....	250
3.4. Biomasa odpadowa z sadów.....	257
4. PODSUMOWANIE	259
5. LITERATURA.....	260
 XII. POTENCJAŁ NIEUŻYTKOWANYCH GRUNTÓW ROLNYCH I MOŻLIWOŚCI ICH WYKORZYSTANIA – MAŁGORZATA KOZAK, RAFAŁ PUDEŁKO	 262
1. WSTĘP.....	263
2. PRZESTRZENNE ROZPOZNANIE NIEUŻYTKOWANYCH GRUNTÓW ROLNYCH.....	263
3. MOŻLIWOŚCI ROZPOZNANIA ZAAWANSOWANIA SUKCESJI NATURALNEJ W KONTEKŚCIE POZYSKANIA BIOMASY – STUDIUM PRZYPADKU (GMINA PRZYWIDZ).....	267
4. MOŻLIWOŚCI ZAGOSPODAROWANIA NIEUŻYTKOWANYCH GRUNTÓW ROLNYCH.....	274
5. PODSUMOWANIE	278
6. LITERATURA	279
 STRESZCZENIE/SUMMARY	181/182

WSTĘP

Biogospodarka to koncepcja wykraczająca poza działy gospodarki zajmujące się wytwarzaniem z biomasy materiałów, produktów, biopłynów i biopaliw oraz innym procesowym wykorzystaniem biomasy, a obejmująca również wytwarzanie żywności i pasz (OECD 2018).

Model rozwoju biogospodarki ma łączyć produkcję biomasy z etapem jej przetwarzania, w celu optymalnej realizacji oczekiwanych efektów środowiskowych, społecznych oraz wspierać gospodarkę na drodze przechodzenia od gospodarki bazującej na zasobach kopalnych w stronę gospodarki wykorzystującej w sposób zrównoważony biomasę, którą są rośliny, zwierzęta i mikroorganizmy. Biogospodarka to koncepcja międzysektorowa, gdzie zasoby biologiczne przetwarzane są nie tylko przez rolnictwo, ale również leśnictwo, rybactwo, hodowlę ryb, alg oraz sektor zarządzania odpadami (ang. *waste*) (Lewandowski i in. 2018). Sektory te wytwarzają produkty jadalne i niejadalne, produkty pośrednie, materiały, przy których powstają pozostałości poprodukcyjne. Produkty te można podzielić na trzy grupy: żywność i pasze (zboża, warzywa, owoce, mięso, ryby, mleko, jaja), materiały (papier, bio-plastiki, farmaceutyki, kosmetyki, woski, kompozyty drzewne) i energię (biogaz, biopaliwa, biowęgiel, drewno opałowe). Podstawą budowy modelu rozwoju biogospodarki jest nie tylko mapowanie potencjału biomasy, ale także określenie łańcucha wartości opisującego przepływy biomasy pomiędzy poszczególnymi etapami jej przetwarzania. Należy zakładać, że na każdym ogniwie tego łańcucha zastosowane są zrównoważone procesy technologiczne ograniczające ślad węglowy w cyklu życia produktów. Pozostałości poprodukcyjne w biogospodarczym łańcuchu wartości spełniają kluczową rolę w uzyskaniu znaczącego efektu optymalizacji procesów. Powinny być one zagospodarowywane na wszystkich etapach i stanowić komponent ogólnego modelu cyrkularnej gospodarki. Dla sektora rolnego produkcji biogazu i bioenergii jest on szczególnie istotny z punktu widzenia zagospodarowania organicznych resztek poźniwnych powstających na polu, jak i w procesach przetwarzania i konsumpcji. Produkt główny biogospodarczego łańcucha wartości obejmuje produkcję żywności i pasz oraz bioenergii i biopaliw. Zakłada się również, że taki model biogospodarki umożliwi produkcję alternatywnych produktów bazujących na biomacie, do produkcji których wykorzystywane były dotychczas surowce nieodnawialne. Mogą być to tak produkty końcowe i pośrednie łańcucha wartości opartego na biomacie, jak i pozostałości poprodukcyjne (Scheiterle i in. 2018). Na obecnym etapie rozwoju biogospodarki ważne jest wsparcie wymiany wiedzy w ramach całego łańcucha wartości. Istotnym nowym elementem w tym modelu jest uwzględnienie potrzeb i możliwości przemysłu chemicznego, dystrybutorów paliw i dystrybutorów energii. Ze względu na fakt, że znaczący potencjał innowacyjności mają małe przedsiębiorstwa (start-upy), ogniwo to powinno być również wsparte w ramach działań na rzecz rozwoju biogospodarki.

dr hab. Rafał Pudelko, prof. IUNG-PIB
dr hab. Magdalena Borzęcka



**Antoni Faber
Zuzanna Jarosz**

**I. CELE I ZNACZENIE
BIOGOSPODARKI**

Zakład Biogospodarki i Agrometeorologii
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa
Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. (0-81) 4786752

1. WSTĘP

Biogospodarka jako koncepcja i strategia rozwoju weszła do głównego nurtu europejskiej debaty politycznej, naukowej i gospodarczej w następstwie ogłoszenia przez Komisję Europejską (KE) dokumentu *Innowacje w służbie zrównoważonego wzrostu: biogospodarka dla Europy* (EC 2012). Strategia zawarta w dokumencie została opracowana w odpowiedzi na szereg wyzwań wynikających z konieczności realizacji pięciu celów: (1) bezpieczeństwa żywnościowego, (2) zrównoważonego gospodarowania zasobami naturalnymi, (3) ograniczenia uzależnienia od nieodnawialnych zasobów, (4) mitygacji i adaptacji do zmian klimatu, (5) wzrostu zatrudnienia oraz konkurencyjności unijnej gospodarki. Dokument zwracał uwagę na potrzebę wprowadzenia szerokiego zakresu działań wpierających rozwój biogospodarki w różnych obszarach i na wielu poziomach: globalnym, unijnym, krajów członkowskich oraz ich regionów. Podkreślał także znaczenie konstruktywnego dialogu na temat roli postępu naukowego i wsparcia politycznego na poziomie UE i krajów członkowskich. Przyjęty plan strategiczny na rzecz rozwoju biogospodarki w UE zakładał inwestycje w badania, innowacje i umiejętności, zwiększenie interakcji polityk i zaangażowania wszystkich zainteresowanych stron oraz wzmacnianie rynków i konkurencyjności. W 2017 r. dokonano przeglądu i oceny skuteczności strategii z 2012 r., co pozwoliło stwierdzić, że przyniosła ona dobre rezultaty (EC 2017), przyczyniając się do zwiększania inwestycji w rozwój i innowacje, a znaczenie biogospodarki jako obszaru strategicznego polityki UE wzrosło jako istotny element zrównoważonego rozwoju i transformacji w stronę gospodarki o obiegu zamkniętym. Potwierdzając istotność celów strategii, zwrócono jednocześnie uwagę na potrzebę ich aktualizacji ze względu na pojawiające się nowe wyzwania, których strategia nie uwzględniała, np. rosnące zapotrzebowanie na biomasę przy jednoczesnej potrzebie ochrony zdrowych ekosystemów i bioróżnorodności. Zaproponowano zogniskowanie działań wokół przyjętych przez ONZ Celów Zrównoważonego Rozwoju (SDGs) (ONZ 2015), polityki przemysłowej, gospodarki o obiegu zamkniętym oraz rozwoju wsi. Na podstawie dokonanego przeglądu strategia rozwoju biogospodarki została znowelizowana w 2018 r. (EC 2018a), w wyniku czego powstała jej nowa wersja pt. *Zrównoważona biogospodarka dla Europy: wzmacnianie więzi pomiędzy gospodarką, społeczeństwem i środowiskiem*. Dokument ten stanowi, że europejska biogospodarka ma być zrównoważona i cyrkulacyjna (opierać się na obiegu zamkniętym). Jej podstawowe cele uległy nieznacznej korekcie: zapewnienie bezpieczeństwa żywnościowego i bezpieczeństwa odżywiania (w tym zmniejszenie marnotrawienia żywności), zrównoważone gospodarowanie zasobami naturalnymi, zmniejszenie zależności od nieodnawialnych i niezrównoważonych zasobów pozyskiwanych w UE lub poza jej obszarem, mitygacja i adaptacja do zmian klimatu, zwiększenie konkurencyjności gospodarki i tworzenie nowych miejsc pracy (zwłaszcza na obszarach przybrzeżnych i wiejskich). Rozwojowi zrównoważonej

i cyrkulacyjnej biogospodarki ma sprzyjać realizacja 14 działań ukierunkowanych na wzmocnienie i zwiększenie sektorów przetwarzających biomasę oraz odblokowanie inwestycji i rynków, szybkie wdrażanie zasad biogospodarki lokalnie w całej Europie oraz zrozumienie i respektowanie ekologicznych ograniczeń biogospodarki. W 2025 r. Komisja Europejska rozpoczęła konsultacje społeczne dotyczące nowej strategii biogospodarki. Inicjatywa ma na celu wsparcie europejskich przedsiębiorstw i przyspieszenie postępu w realizacji celów środowiskowych, klimatycznych i konkurencyjności.

Na obecnym etapie rozwoju biogospodarka może być traktowana jako (Adamowicz 2017):

- nowa koncepcja analityczna i poznawcza,
- nowoczesny sektor gospodarki,
- ponadsektorowa, strategiczna forma analizy i programowania działalności naukowej i gospodarczej,
- opracowanie i nowe zastosowania wcześniej znanych koncepcji rozwoju odnoszących się do rolnictwa i agrobiznesu.

Wymienione charakterystyki biogospodarki znajdują odbicie w definicji, według której biogospodarka to produkcja, wykorzystywanie i ochrona zasobów biologicznych, w tym powiązanej z nimi wiedzy, nauki, technologii i innowacji, w celu udostępnienia informacji, produktów, procesów i usług we wszystkich sektorach gospodarki w dążeniu do gospodarki zrównoważonej (GBS 2018).

2. ZRÓWNOWAŻENIE BIOGOSPODARKI

Rozwój biogospodarki, jak każdej innej działalności gospodarczej, powinien być zgodny z celami rozwoju zrównoważonego (SDGs), które zostały ustanowione przez Konferencję Narodów Zjednoczonych (Rio+20). W 2014 r. przedstawiono 17 SDGs oraz 169 celów towarzyszących obejmujących między innymi obszary: ubóstwa, bezpieczeństwa żywnościowego, równości płci, wody, energii, zmian klimatu, rozwoju przemysłu oraz współpracy globalnej (ONZ 2015). W 2015 r. kraje, które ratyfikowały konwencję zgodziły się, że SDGs będą stanowiły milenijne cele rozwoju (MDGs).

Z perspektywy realizacji SDGs rozwój biogospodarki może przynieść zarówno nowe możliwości, jak też ryzyko (tab. 1). Możliwości upatruje się w opracowaniu i zastosowaniu innowacyjnych technologii, zaś ograniczenia ryzyka – w powściągnięciu rabunkowej gospodarki i zastąpieniu jej zrównoważonym i efektywnym gospodarowaniem zasobami naturalnymi.

Tabela 1

Możliwości i ryzyko rozwoju biogospodarki z perspektywy celów zrównoważonego rozwoju (SDGs) (Hoff i in. 2018)

SDGs	Możliwości	Ryzyko
Bezpieczeństwo żywnościowe (SDG 2)	poprawa wskutek większych plonów i lepszej jakości odżywczej żywności, nowe metody produkcji i źródła żywności	pogorszenie wskutek konkurencji o grunty oraz wzrost cen żywności
Ubóstwo/nierówności (SDG 1, 10)	ograniczenie poprzez transfer technologii i skokowy rozwój	wzrost wskutek wykluczenia z technicznego rozwoju
Zasoby naturalne (SDG 7, 14, 15)	ochrona poprzez poprawę metod produkcji	degradacja/utrata wskutek nieefektywnej produkcji i nadmiernej eksploatacji
Zdrowie (SDG 3)	poprawa wskutek wprowadzenia nowych i doskonalszych metod terapii	ryzyko pogorszenia wskutek niewłaściwego wykorzystywania ryzykownych technologii
Zmiany klimatu (SDG 13)	mitigacja poprzez redukcję emisji	zaostrenie poprzez bezpośrednie i pośrednie zmiany użytkowania gruntów oraz wzrost emisji rolniczych

SDGs z konieczności sformułowane są dość ogólnie, dlatego dla potrzeb biogospodarki próbuje się, w nawiązaniu do nich, rozpisać w sposób bardziej szczegółowy zasady i kryteria zrównoważonej biogospodarki. Próbę taką podjęła FAO, która mając upoważnienia 62 krajów, koordynuje międzynarodowe prace w zakresie zrównoważonej gospodarki żywnościowej, a w strategiach rozwoju biogospodarki kładzie duży nacisk na zagadnienia zrównoważonego jej rozwoju (FAO 2019, Gomez San Juan i in. 2019). Międzynarodowa Grupa Robocza ds. Zrównoważonej Biogospodarki, pracująca pod auspicjami FAO, ustanowiła aspiracyjne zasady i kryteria dotyczące zrównoważonej biogospodarki (FAO 2019), które zostały przytoczone poniżej.

Zasada 1. Rozwój zrównoważonej biogospodarki powinien wspierać bezpieczeństwo żywnościowe i żywienia na wszystkich poziomach.

Kryterium 1.1. Wspierane jest bezpieczeństwo żywnościowe i żywienia.

Kryterium 1.2. Promowana jest zrównoważona intensyfikacja produkcji biomasy.

Kryterium 1.3. Zagwarantowane są prawa do gruntów i innych naturalnych zasobów.

Kryterium 1.4. Zapewnione są bezpieczeństwo żywności, zapobieganie chorobom oraz zdrowie ludzi i zwierząt.

Zasada 2. Zrównoważona biogospodarka powinna zapewnić ochronę, konserwowanie i wzbogacanie naturalnych zasobów.

Kryterium 2.1. Zapewniona jest ochrona bioróżnorodności.

Kryterium 2.2. Kontynuowana jest mitygacja i adaptacja do zmian klimatu.

Kryterium 2.3. Jakość i dostępność wód jest zachowywana lub poprawiana w marę możliwości.

Kryterium 2.4. Degradacja gruntów, gleb, lasów i mórz jest hamowana, poprawiana i odwracana.

Zasada 3. Zrównoważona biogospodarka powinna zapewniać konkurencyjność i inkluzywny wzrost gospodarczy.

Kryterium 3.1. Wspierany jest wzrost gospodarczy.

Kryterium 3.2. Wzmacniany jest inkluzywny (dostępny dla wszystkich) wzrost gospodarczy.

Kryterium 3.3. Wzmacniana jest odporność gospodarki wiejskiej i miejskiej.

Zasada 4. Zrównoważona gospodarka powinna uczynić społeczeństwo zdrowszym, bardziej zrównoważonym i poprawiać odporność społeczną i ekosystemową.

Kryterium 4.1. Poprawione jest zrównoważenie centrów urbanistycznych.

Kryterium 4.2. Odporność producentów biomasy, społeczności wiejskiej i ekosystemów jest rozwijana i wzmacniana.

Zasada 5. Zrównoważona biogospodarka powinna uwzględniać poprawę efektywności wykorzystywania zasobów i biomasy.

Kryterium 5.1. Poprawiona jest efektywność wykorzystywania zasobów, zapobiega się powstawaniu odpadów, poddaje się odpady recyklingowi w całym łańcuchu wartości biogospodarki.

Kryterium 5.2. Minimalizowane są straty żywności i odpadów żywnościowych, a jeśli to niemożliwe, to biomasa poddawana jest recyklingowi.

Zasada 6. Odpowiedzialne i efektywne mechanizmy zarządzania powinny podbudowywać zrównoważoną biogospodarkę.

Kryterium 6.1. Harmonizowane są polityki, regulacje oraz odpowiednie struktury instytucjonalne sektorów biogospodarki.

Kryterium 6.2. Procesy konsultacji angażujące wszystkie sektory społeczne są adekwatne i bazujące na dostępie do informacji.

Kryterium 6.3. Stosowane są: właściwe monitorowanie, oceny i zarządzanie ryzykiem.

Zasada 7. Zrównoważona biogospodarka powinna dobrze wykorzystywać wiedzę, dobre technologie i praktyki, a tam gdzie to konieczne, promować badania i innowacje.

Kryterium 7.1. Istniejąca wiedza jest właściwie oceniana i wykorzystywane są dobre technologie.

Kryterium 7.2. Wspierane jest tworzenie wiedzy i innowacji.

Zasada 8. Zrównoważona biogospodarka powinna wykorzystywać i promować zrównoważone praktyki handlowe i rynkowe.

Kryterium 8.1. Lokalne gospodarki nie natrafiają na utrudnienia w działaniu i są włączane w handel biomasą.

Zasada 9. Zrównoważona biogospodarka powinna odpowiadać na potrzeby społeczne i zachęcać do zrównoważonej konsumpcji.

Kryterium 9.1. Konsumpcja dóbr biogospodarki powinna odpowiadać podaży biomasy.

Kryterium 9.2. Zbilansowany jest popyt i podaż w mechanizmie rynkowym, a polityki wspomagają równowagę podaży i popytu biomasy na cele żywnościowe i niez żywnościowe.

Zasada 10. Zrównoważona biogospodarka powinna promować współpracę, kooperację pomiędzy interesariuszami na wszystkich poziomach.

Kryterium 10.1. Promowana jest współpraca, kooperacja, wymiana zasobów, umiejętności i technologii tam, gdzie to jest konieczne i możliwe.

Zrównoważony rozwój biogospodarki jest nie tylko jednym z dwóch warunków koniecznych do realizacji celów strategii biogospodarki, ale także warunkiem niezbędnym dla uniknięcia poważnych problemów społecznych (EU SCAR 2015a). Stoimy bowiem przed ogromnymi i bezprecedensowymi wyzwaniami: środowiskowymi, społecznymi, politycznymi i gospodarczymi. Jeśli tym wyzwaniom nie sprostaemy, to według scenariuszy pesymistycznych można się spodziewać pogorszenia bezpieczeństwa w wielu obszarach, pogłębienia nierówności, konfliktów, a nawet katastrof (EU SCAR 2015a). Oprócz spełnienia przez biogospodarkę celów, zasad i kryteriów zrównoważenia, konieczne będzie także zadbanie o przestrzeganie kilku dodatkowych poniższych zasad (EU SCAR 2015a):

Żywność najpierw. Problemem jest znalezienie sposobu na poprawę ilości, dostępu i wykorzystania pożywnej i zdrowej żywności dla wszystkich w perspektywie globalnej. Odpowiednie polityki związane z rolnictwem, żywnością, środowiskiem, zdrowiem, energią, handlem czy inwestycjami zagranicznymi powinny zostać sprawdzone za pomocą testu bezpieczeństwa żywnościowego, a bezpośrednia i pośrednia ocena ich wpływów powinna stać się powszechna.

Zrównoważone plony. Użytkownicy powinni wziąć pod uwagę odnawialny charakter produkcji biomasy i stosować zasady ekonomiczne rządzące ich eksploatacją, takie jak podejście oparte na zrównoważonym plonie, które określa, że zebrana ilość biomasy nie powinna przewyższać jej odrastania. Należy to rozpatrywać w ujęciu całościowym, uwzględniającym całą biomasę. Należy także zadbać o zabezpieczenie ilości biomasy niezbędnej na różne cele, w tym na zwiększenie zasobów węgla organicznego w glebach.

Kaskadowe wykorzystanie. Aby uniknąć nie zrównoważonego zagospodarowania biomasy, koncepcja wykorzystania kaskadowego przewiduje, że biomasa jest wykorzystywana sekwencyjnie tak często, jak to możliwe, jako materiał, a na końcu przekształcana w energię. Kaskadowe wykorzystanie biomasy zwiększa efektywność zagospodarowania zasobów, generowanie wartości dodanej z biomasy i jej zrównoważone wykorzystanie, a także jest częścią gospodarki o obiegu zamkniętym. Zwiększenie efektywności zagospodarowania zasobów zwiększa też ogólną dostępność dostaw surowców, ponieważ biomasę można wykorzystać kilka razy. Chociaż jest to atrakcyjne teoretycznie, praktyczne zastosowanie reguł kaskadowych wiąże się z dwoma problemami: (1) w jaki sposób można wdrożyć sekwencyjne wykorzystanie biomasy i (2) w jaki sposób można wdrożyć reguły, jeśli są sprzeczne z obecnym otoczeniem rynkowym.

Gospodarka cyrkulacyjna (o obiegu zamkniętym). Podejście kaskadowe nie rozwiązuje problemu redukcji odpadów *per se*. Odpady powstają, gdy koszty ponownego użycia i recyklingu są wyższe niż wytworzona wartość. Koncepcja gospodarki o obiegu zamkniętym opiera się na trzech zasadach: (1) odpady nie istnieją, ponieważ produkty są zaprojektowane do cyklu demontażu i ponownego użycia; (2) materiały eksploatacyjne po kaskadowej sekwencji zastosowań powinny zostać zwrócone do biosfery bez szkody, podczas gdy materiały trwałe są zaprojektowane tak, aby zmaksymalizować ich ponowne użycie lub modernizację oraz (3) do napędzania procesu należy zastosować energię odnawialną.

Różnorodność. Systemy produkcyjne powinny być zróżnicowane, stosujące praktyki kontekstowe w różnych skalach, zapewniających różnorodność wyników produkcyjnych. Różnorodność ma kluczowe znaczenie dla odporności gospodarki, należy więc opracowywać takie innowacje w biogospodarce, które wspierają różnorodność, a nie ją ograniczają.

Przejście na zrównoważoną biogospodarkę. Jest procesem, którym nie mogą rządzić wyłącznie rynki i technologia. Rozwój biogospodarki wymaga ciągłego monitorowania i silnej orientacji strategicznej, opartych na jasnej identyfikacji wyzwań społecznych, całościowym spojrzeniu, refleksyjnym zarządzaniu i solidnej bazie danych empirycznych. Biorąc pod uwagę wzajemne oddziaływanie różnych kwe-

stii, zainteresowań i zaangażowań podmiotów, należy zwrócić uwagę na procesy integracji polityk, co oznaczałoby zwrócenie uwagi na wzorce interakcji, narzędzia i mechanizmy. Państwa członkowskie UE powinny dokładnie, w kompleksowy sposób ocenić oczekiwany wpływ polityk wsparcia, które zmieniają intensywność przepływów materiałów i handlu oraz użytkowania gruntów. Badania powinny generować bazę wiedzy niezbędną do wspierania spójnych polityk i przewidywania problemów.

3. CYRKULACYJNOŚĆ GOSPODARKI

Gospodarka cyrkulacyjna, nazywana w Polsce gospodarką o obiegu zamkniętym (GOZ), rozumiana jest jako przestrzeń ekonomiczna, w której wartości produktów, materiałów i zasobów utrzymywane są w gospodarce tak długo, jak to jest możliwe, a ilość odpadów jest minimalizowana (EC 2014, 2015, 2020). Plan działania KE w obrębie tej gospodarki kładzie szczególny nacisk na efektywne wykorzystywanie zasobów (ekonomicznych i ekologicznych), a nie tylko na ponowne wykorzystywanie odpadów, które traktowane są na równi z innymi zasobami (surowcami). Priorytetem sektorowym w planie działania UE jest efektywne wykorzystywanie odpadów żywnościowych i biomasy na różnych poziomach łańcuchów wartości. Uogólniając cel gospodarki o obiegu zamkniętym, można stwierdzić, że w gospodarce tej nic się nie marnuje i wszystko jest surowcem do ponownego cyklu przetwarzania.

Pomiędzy gospodarką o obiegu zamkniętym i biogospodarką istnieją pewne podobieństwa (Carus i Dammer 2018). Obie gospodarki mają te same cele, bardziej zrównoważone i efektywniejsze wykorzystywanie zasobów oraz dążenie do jak najmniejszego śladu węglowego. Realizują to jednakże na innych, aczkolwiek komplementarnych drogach. Gospodarka o obiegu zamkniętym wzmacnia efektywność procesową wykorzystywania zasobów oraz odpadów w celu zmniejszenia zużycia nieodnawialnego węgla. Biogospodarka natomiast dostarcza węgiel odnawialny, który powinien zastępować węgiel nieodnawialny. Wspólnymi cechami obu tych gospodarek są: poprawa zasobów i efektywność, mały ślad węglowy, ograniczanie zapotrzebowania na paliwa nieodnawialne oraz waloryzacja produktów ubocznych i odpadów.

Elementem gospodarki o obiegu zamkniętym jest kaskadowe wykorzystywanie biomasy (EU SCAR 2015a). Koncepcja ta przewiduje, że biomasa jest przetwarzana sekwencyjnie jako materiał dający na kolejnych etapach przetwarzania różne wartościowe produkty, a w końcu przekształcana jest w energię.

W obu gospodarkach można również dostrzec istotne różnice (Carus i Dammer 2018). Po pierwsze biogospodarka podobnie jak pozostałe sektory surowcowe sytuuje się strukturalnie poza gospodarką o obiegu zamkniętym. Po wtóre biogospodar-

ka nie może być obecnie częścią gospodarki o obiegu zamkniętym z następujących względów:

- przemysł nie zaadaptował jeszcze na szerszą skalę mechanizmów gospodarki o obiegu zamkniętym oraz kaskadowego przetwarzania surowców;
- pewne sektory biogospodarki nie będą objęte gospodarką o obiegu zamkniętym (biopaliwa, bioenergia, detergenty, kosmetyki, farby), choć niektóre bioprodukty mogą być objęte recyklingiem w przyszłości.

Jakie mogą być perspektywy kaskadowego przetwarzania biomasy w UE – w pełni nie wiadomo, można jedynie wysnuć na ten temat przybliżoną ocenę (Carus i Dammer 2018). W tym roku popyt na biomasę w UE-27 wynosił 1,07 mld t suchej masy, w tym zużycie na poszczególne cele wynosiło: żywność – 10% (odpady żywnościowe – 2%), pasze – 46%, bioenergia i biopaliwa – 19% oraz eksport – 10%. Zaledwie 13% biomasy wykorzystywano do produkcji biochemikaliów i materiałów, w której to produkcji można by zastosować kaskadowe przetwarzanie. Tak więc, póki co, jedyna droga do zwiększenia kaskadowego przetwarzania biomasy wiedzie poprzez zwiększenie wykorzystywania biomasy w chemii i procesach materiałowych, a później dopiero przeznaczenie pozostałości biomasy do spalania w celu otrzymywania energii.

Przyjęta w Polsce mapa drogowa rozumie biogospodarkę o obiegu zamkniętym jako cykl biologiczny w gospodarce, który obok cyklu technologicznego jest jednym z dwóch filarów GOZ (Rada Ministrów RP 2019). Ów cykl biologiczny dotyczy zarządzania zasobami odnawialnymi (biomasą) w całym cyklu życia, obejmującym przetwarzanie, produkcję dóbr (żywności, pasz, energii itp.), sprzedaż dóbr, ich użytkowanie oraz zagospodarowanie bioodpadów. W takim rozumieniu biogospodarka stanowi podstawę funkcjonowania pierwszego sektora gospodarki (rolnictwo, leśnictwo, rybactwo), a także niektórych gałęzi sektora drugiego (przemysł spożywczy, paszowy, leśno-drzewny, celulozowo-papierniczy, farmaceutyczny, tekstylny, meblarski, budownictwa, biotechnologiczny, kosmetyczny, paliwowy oraz recyklingu organicznego).

GOZ stanowi, że kluczowe jest, aby biomasa była jak najdłużej utrzymywana w obiegu gospodarczym, a jej wartość była maksymalizowana. Wynika stąd, że bezpośrednie spalanie biomasy, szeroko stosowane w Polsce, nie jest elementem GOZ. Natomiast gospodarka ta koncentruje się na dwóch priorytetach: tworzeniu warunków dla rozwoju biogospodarki w Polsce oraz na działaniach sprzyjających tworzeniu lokalnych łańcuchów wartości w przemyśle i energetyce.

Spośród działań przewidzianych w mapie drogowej GOZ resort rolnictwa odpowiedzialny jest za realizację czterech z nich (Rada Ministrów RP 2019):

- 20. Analiza potencjału podaży biomasy na poziomie krajowym i regionalnym, poprzedzona opracowaniem odpowiedniej metodyki: działanie ma na celu liczbowe określenie, jaka ilość biomasy z poszczególnych źródeł (rolnictwo,

leśnictwo, rybołówstwo, bioodpady) jest potencjalnie możliwa do pozyskania w Polsce (lata realizacji 2021–2022);

- 24. Kampania informacyjna dla rolników w celu poszerzenia ich wiedzy i ukierunkowania ich działań w GOZ (lata realizacji 2020–2021);
- 25. Kampania informacyjna na temat zasady kaskadowego wykorzystywania biomasy (2020–2021);
- 29. Stworzenie koncepcji platformy informacyjnej dotyczącej aktualnej ilości, jakości, miejsca i źródła pochodzenia (rolnictwo, leśnictwo, rybołówstwo, bioodpady) biomasy (2021–2023).

4. BIOMASA

Pod pojęciem biomasy rozumie się „Biodegradowalną frakcję produktów, odpadów i pozostałości pochodzenia organicznego pozyskiwaną z rolnictwa (rośliny i zwierzęta), leśnictwa, rybołówstwa, kultur wodnych oraz ich przemysłów, jak również biodegradowalnych odpadów przemysłowych i komunalnych” (Directive 2009/28/EC). Ogólnie biomasę dzieli się na (Sillanpää i Ncibi 2017):

- biomasę drzewną obejmującą: korzenie, drewno, korę, liście drzew i krzewów, pochodzących głównie z leśnictwa i w mniejszym stopniu z rolnictwa. Biomasę tą nazywa się niekiedy lignocelulozową, gdyż zawiera znaczne ilości celulozy i lignin;
- biomasę zielną uzyskiwaną z jednorocznych roślin o niezdrewniałych pędach, np. roślin uprawnych, ich pozostałości pożniwnych oraz odpadów z przemysłu rolno-spożywczego. Cechą charakterystyczną tej biomasy jest to, że zawiera ona więcej celulozy i hemicelulozy niż lignin;
- biomasę wodną: są to mikro-/makroglony oraz rośliny pozyskiwane z wód słodkich i morskich lub uprawiane w kulturach wodnych;
- biomasę pochodzenia zwierzęcego: jest to biomasa produkowana na cele żywnościowe oraz produkty uboczne i odpady powstające przy jej przetwarzaniu;
- biomasę odpadową: są to odpady biodegradowalne powstające przy przetwarzaniu biomasy, pochodzące z różnych przemysłów, jak również biodegradowalne odpady komunalne.

Biomasa jest odnawialnym zasobem, ale jej produkcja zależy od ograniczonych zasobów wody, gruntów oraz środków produkcji. Tak więc biomasa jest odnawialna tylko wtedy, gdy ograniczone zasoby potrzebne do jej produkcji są wykorzystywane w sposób zrównoważony – taki, który eliminuje nadmierną eksploatację i gwarantuje, że produkcja biomasy nie będzie powodować negatywnych oddziaływań, emisji, odpadów, wyczerpywania składników odżywczych oraz chemicznego zanieczyszczenia środowiska.

Biogospodarka rozszerza tradycyjne zagospodarowanie biomasy (żywność, pasze, drewno, miazga drzewna, papier) o jej wykorzystanie w celu pozyskania bio-

energii, biopaliw, biochemikaliów, zaawansowanych materiałów, bioplastyków oraz farmaceutyków. Ma ona zastępować paliwa nieodnawialne, zmniejszyć intensywność gospodarowania węglem i obniżyć oddziaływania klimatyczne.

5. PODAŻ I POPYT NA BIOMASĘ W SKALI GLOBALNEJ

Przewidywany przyrost populacji ludzi oraz planowany rozwój biogospodarki zwiększają popyt na biomasę. Pytaniami otwartymi pozostają: czy należy się spodziewać konfliktu pomiędzy popytem i podażą biomasy; ile jej można wyprodukować w sposób zrównoważony do 2050 r.; jaki popyt na biomasę na cele żywnościowe, pasze, materiały, bioenergię i biopaliwa może być pokryty przez podaż biomasy? Odpowiedź na te pytania starano się uzyskać, badając różne scenariusze podaży i popytu (Piotrowski i in. 2015 i 2016). W badaniach uwzględniono trzy poniższe scenariusze podaży:

- mała podaż (umiarkowana intensyfikacja rolnictwa, ubytek 100 mln ha GO wskutek degradacji gleb, umiarkowany wzrost plonów),
- podaż jak obecnie biznes bez zmian (BAU, ang. *Business as usual*) (degradacja gleb 400 mln ha GO do 2050 r., nowe użytki rolne 435 mln ha, z czego 218 mln z przekształcenia UZ w GO, 100 mln ha lasów przekształconych w GO, całkowita powierzchnia UR wzrośnie z 1,55 do 1,69 mld ha, plony wzrosną, zwiększy się wykorzystanie resztek poźniwnych z 25% do 40% (2011, 2050), zwiększy się wykorzystanie biomasy lasów naturalnych z 10 do 25%, zwiększy się wykorzystanie biomasy z plantacji leśnych oraz wzrośnie ich powierzchnia),
- duża podaż (degradacja GO – 500 mln ha, nowe grunty rolne – 760 mln ha, 50% z przekształcenia UZ w GO, 100 mln lasów przekształconych w GO, w sumie powierzchnia GO i upraw wieloletnich wzrośnie o 360 mln ha, plony wzrosną o 25%).

W badaniach uwzględniono także następujące scenariusze popytu (we wszystkich założono wzrost popytu na żywność o $0,7\% \cdot r^{-1}$ oraz wzrost popytu na pasze o $0,4\% \cdot r^{-1}$):

- mała podaż (pokrywająca się z małym popytem),
- biznes bez zmian (BAU),
- biosurowcowy,
- biosurowcowy rozwinięty,
- intensywny rozwój przy małej presji.

Według przyjętych scenariuszy, całkowita podaż biomasy w 2050 r. wzrośnie 1,1-krotnie w stosunku do 2011 r. przy małym zapotrzebowaniu na biomasę (tab. 2). Przy scenariuszu BAU podaż wzrośnie 1,6-krotnie, zaś przy scenariuszu dużej podaży – 2,2-krotnie.

Tabela 2

Podaż biomasy na świecie w 2011 i 2050 r. według różnych scenariuszy
(mld t suchej masy) (Piotrowski i in. 2015)

Sektor	Rok 2011	Scenariusz dla roku 2050		
		mała podaż	BAU	duża podaż
Produkty główne rolnictwa	4,2	5,1	6,2	7,8
Produkty uboczne rolnictwa	1,4	1,5	3,3	5,1
Biomasa spasana	3,7	3,7	3,2	2,9
Drewno	2,1	2,1	5,5	9,4
Ogółem	11,4	12,4	18,2	25,2

Największe przyrosty podaży biomasy prognozowane są w sektorze drewna (1,0-; 2,6- i 4,5-krotne odpowiednio dla scenariuszy), mniejsze dla produktów ubocznych rolnictwa (1,1-; 2,4- i 3,6-krotne) i najmniejsze dla produktów głównych rolnictwa (1,2-; 1,5-, 1,9-krotne). W odróżnieniu od wymienionych sektorów, podaż biomasy spasanej będzie maleć (1,0; 0,9 i 0,8-krotnie). Osiągnięcie podanych podaży biomasy związane będzie z rosnącą degradacją gleb, która w scenariuszach na 2050 r. osiągnie wartości 6,5; 25,8 i 32,2% ogółu gruntów, odpowiednio dla badanych scenariuszy. Wartości te są zatrważające, zwłaszcza że autorzy deklarowali, iż scenariusze uwzględniają zrównoważoną produkcję biomasy.

Popyt na żywność i pasze we wszystkich badanych scenariuszach wydaje się wyraźnie niedoszacowany w porównaniu z wyszacowaną podażą biomasy w wyszczególnionych sektorach (tab. 3).

Tabela 3

Popyt na biomasę na świecie w 2011 i 2050 r. według różnych scenariuszy
(mld ton suchej masy) (Piotrowski i in. 2015)

Sektor	Rok 2011	Scenariusz dla roku 2050				
		mała podaż biomasy	BAU	biosurowcowy	biosurowcowy rozwinięty	intensywny rozwój przy małej presji
Żywność	1,70 (14%)	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
Pasze	7,06 (58%)	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3
Biochemikalia	1,26 (10%)	0,8	2,4	4,0	5,7	3,7 + 2*

cd. tab. 3

Sektor	Rok 2011	Scenariusz dla roku 2050				
		mała podaż biomasy	BAU	biosurowcowy	biosurowcowy rozwinięty	intensywny rozwój przy małej presji
Bioenergia	1,98 (16%)	1,2	4,3	4,2	4,2	2,0 + 2,2*
Biopaliwa	0,14 (1%)	0	1,0	3,5**	3,5	1,0 + 2,5
Ogółem	12,14 (99%)	12,4	18,2	22,2	23,9	17,2 + 6,7*

*substytucja biomasy przez fotochemię, inne surowce odnawialne lub fotopaliwa

**dla spełnienia celu wzrostu temperatury <2°C dla paliw transportowych

Według różnych źródeł, dla wyżywienia populacji ok. 10 mld ludzi trzeba będzie zwiększyć produkcję żywności o 50–70% do 2050 r., to jest o ok. 1 mld t zbóż i 200 mln t mięsa. W przyjętych scenariuszach założono wzrost o 29%, co mogłoby prowadzić do zwiększenia liczby ludzi niedożywionych.

Podaż i popyt są w scenariuszach zrównoważone, jednakże dla zmniejszenia presji produkcji biomasy na środowisko zaproponowano wspomaganie zaspokojenia popytu przez alternatywne źródła (fotochemię, inne surowce odnawialne lub fotopaliwa).

Omówione badania Piotrowskiego i in. (2015), jedne z nielicznych w tym zakresie, wydają się w niewystarczający sposób uwzględniać cele, zasady i kryteria zrównoważonej produkcji i wykorzystania biomasy.

W badaniach Choi i in. (2019) uwzględniono scenariusze: biznes bez zmian, zwiększone znaczenie biogospodarki, rozległa transformacja do biogospodarki oraz rozległa transformacja do biogospodarki ze zmianą diety w żywieniu ludzi przy obniżeniu emisji gazów cieplarnianych o 75% w handlu emisjami do 2050 r. Stwierdzono, że wszystkie scenariusze, z wyjątkiem ostatniego, prowadzić będą do średniego wzrostu indeksu cen żywności na rynku światowym o 2,5–3,0%. Transformacja do biogospodarki ze zmianami diety (mniej białka zwierzęcego) może obniżyć indeks cen żywności na świecie nawet o 6,4%.

6. PODAŻ I POPYT NA BIOMASĘ W EUROPIE I UNII EUROPEJSKIEJ

Jak dotąd brak w literaturze całościowej projekcji podaży i popytu biomasy w UE do 2050 r. Częstkowe dane na ten temat można znaleźć w pracach Scarlata i in. (2015) oraz Camia i in. (2018). Podaż biomasy w Europie i UE w 2011 r. wynosiła

ogółem odpowiednio: 2,69 i 1,96 mld t (tab. 4). W tym biomasa z rolnictwa osiągała wartości odpowiednio: 1,96 i 1,46 mld t, zaś z leśnictwa: 0,45 i 0,29 mld t.

Tabela 4

Podaż biomasy w Europie i Unii Europejskiej w 2011 r. (mld t)
(Scarlat in. 2015; zmodyfikowane)

Biomasa	Europa	UE
Rolnicza biomasa produktów głównych	1,62	1,25
Rolnicza biomasa produktów ubocznych	0,32	0,21
Biomasa leśna	0,45	0,29
Mięso i produkty zwierzęce	0,30	0,20
Biomasa wodna	0,02	0,01
Ogółem	2,69	1,96

Popyt na biomasę nieżywnościową dla rozwijającej się biogospodarki szacowany jest w UE do 2020 r. na 0,58 mld t, co stanowi 115% pozyskiwanych produktów ubocznych rolnictwa oraz biomasy leśnej (tab. 5). Największe popyty dotyczyć będą generacji ciepła i elektryczności (0,42 mld t) oraz biopaliw płynnych (0,078 mld t).

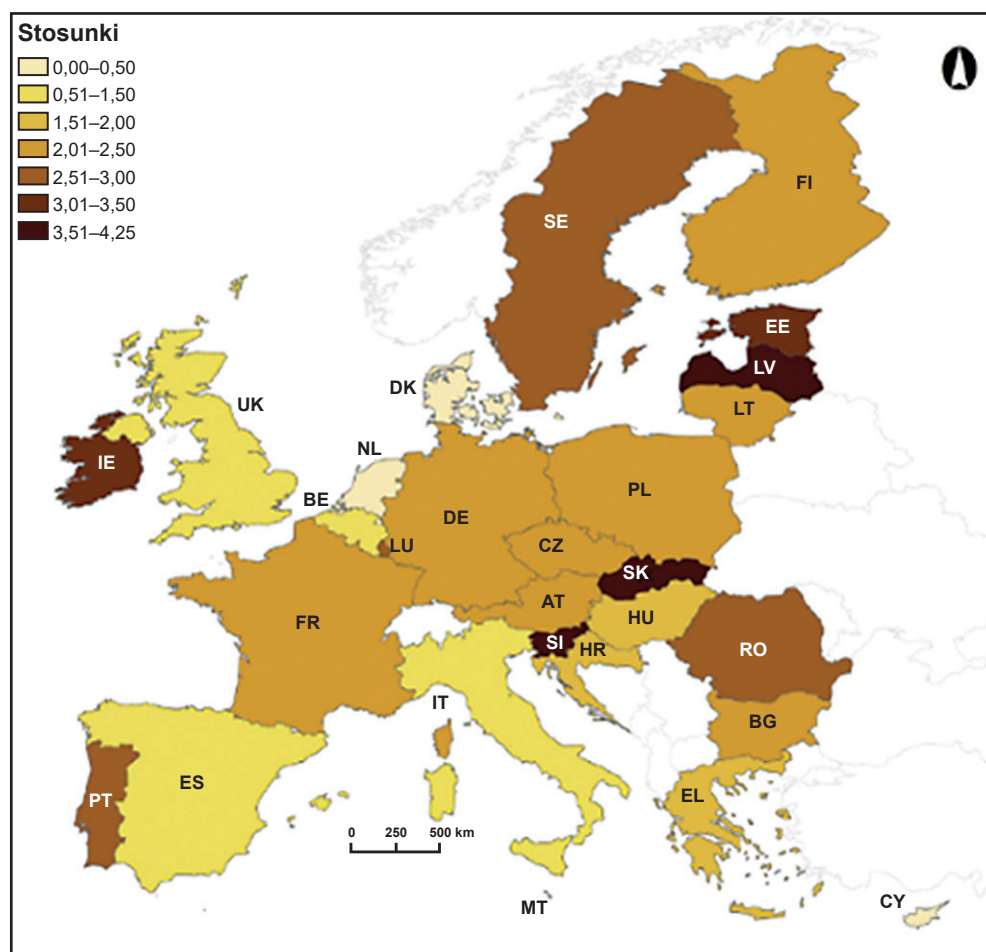
Tabela 5

Popyt na biomasę na potrzeby biogospodarki UE w 2020 r. (mld t)
(Scarlat i in. 2015; zmodyfikowane)

Przeznaczenie	Popyt w 2020 r.	Specyfikacja
Biopaliwa	0,063 0,015	biomasa żywnościowa biomasa lignocelulozowa
Ciepło i elektryczność	0,224 0,136 0,084 0,052 0,060	biomasa leśna biomasa rolna, w tym: biomasa lignocelulozowa produkty uboczne odpady
Biochemikalia	0,030	
Bioplastiki	0,050	
Biosmary	0,0004	

Z przedstawionych danych jasno wynika, że UE nie może pokryć popytu na biomasę z własnej podaży. Fakt ten potwierdzają również badania Hoffa i in.

(2018). W efekcie $\frac{2}{3}$ gruntów niezbędnych dla zaspokojenia popytu na biomasę wykorzystywaną na inne cele niż żywnościowe w UE jest zlokalizowanych w innych regionach świata, zwłaszcza Chinach, USA, Indonezji i Tajlandii (Bruckner i in. 2019). Podaż biomasy, zwłaszcza na cele generacji ciepła i elektryczności, może w krajach UE potencjalnie wzrosnąć, co wynika ze stosunków potencjałów biomasy do jej krajowego zużycia brutto (rys. 1). Uruchomienie tych potencjałów będzie zależeć od koniunktury na rynku biomasy. Pewną przeszkodę społeczną w ekspansji biogospodarki w UE może stanowić jej wpływ na ceny żywności. Z przeprowadzonych badań wynika, że niezależnie od scenariusza rozwoju biogospodarki można oczekiwać w UE wzrostu indeksu cen żywności o 11% (Choi i in. 2019). Jedynie transformacja do biogospodarki ze zmianą diety (mniejsze spożycie białka zwierzęcego) spowoduje umiarkowany wzrost indeksu cen żywności (3%).



Rys. 1. Stosunek potencjałów biomasy do krajowego zużycia biomasy brutto w UE-28 (Malico i in. 2019)

7. BIOGOSPODARKA W POLSCE

Polskie rolnictwo zajmuje czwarte miejsce w UE pod względem produkcji biomasy (42,1 mln t suchej masy) (Camia i in. 2018). W produkcji dominują zboża oraz uprawy na pasze. Pod względem produkcji pozostałości poźniwnych rolnictwo polskie zajmuje trzecie miejsce w UE (45,5 mln t suchej masy). Polska nie jest importerem biomasy netto i ma dodatni bilans w handlu biomasą. W biogospodarce zatrudnionych jest 2,6 mln osób, obroty roczne wynoszą 115 mld €, co daje obrót na zatrudnionego w wysokości 44 000 € (EC 2018b).

Biorąc za podstawę wspólne wskaźniki rezultatów WPR R. 32 Rozwijanie wiejskiej biogospodarki: liczba biznesów rozwiniętych ze wsparciem, można wnosić, że wsparciem z WPR mogą być objęte następujące cele:

- obróbki ziemiopłodów po zbiorach oraz przechowywanie produktów żywnościowych;
- zbiory, logistyka, składowanie i kondycjonowanie produktów ubocznych;
- produkcja bioproduktów, materiałów, bioenergii lub produktów pośrednich do dalszego przetwarzania;
- waloryzacja strat żywności i odpadów żywnościowych;
- ponowne wykorzystywanie składników pokarmowych oraz materii organicznej w rolnictwie i leśnictwie.

Zaliczenie wsparcia na te cele powinno być ściśle związane z realizacją celów WPR, w szczególności: promowania zatrudnienia, wzrostu gospodarczego, włączenia społecznego, lokalnego rozwoju obszarów wiejskich, zapewnienia godnego wynagrodzenia rolnikom oraz przywracania równowagi w łańcuchu wartości. Akceptowane będą następujące interwencje, jeśli specyficzne wymagania i warunki będą je uzasadniały:

- uruchomienie działalności rolniczej oraz wiejskie biznesowe start-upy (Artykuł 69);
- inwestycje (Artykuł 68);
- współpraca (Artykuł 71);
- interwencje sektorowe.

Sprawozdawczą miarą ma być liczba przedsiębiorstw biogospodarki objętych wsparciem w ujęciu kumulacyjnym w okresie perspektywy finansowej.

8. PODSUMOWANIE

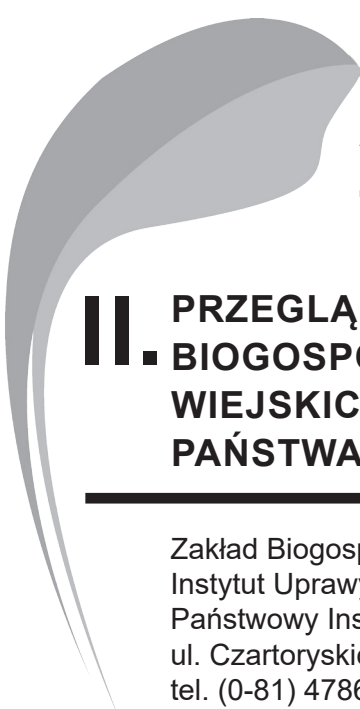
Biogospodarka będzie się rozwijała w sposób zrównoważony tylko wtedy, gdy zrównoważona będzie produkcja biomasy. Cele zrównoważonego rozwoju są od dawna znane i akceptowane. Istnieje nadal potrzeba bardziej spójnego, znormalizowanego podejścia do kryteriów zrównoważonego rozwoju dla całej biogospodarki, a następnie ciągle monitorowanie realizacji tych kryteriów w cyklu życia biomasy oraz łańcuchach wartości ich przetwarzania.

Podaż biomasy w perspektywie do 2050 r. będzie musiała wydatnie wzrosnąć. Zakłada się, że nastąpi to głównie wskutek wzrostu plonów, bez intensyfikacji produkcji. Taki wariant byłby dla jakości środowiska najkorzystniejszy. Ostatnio jednak coraz częściej sugeruje się potrzebę wszechstronnego zbadania alternatywy, którą może być zrównoważona intensyfikacja produkcji. Aby wariant ten mógł być rozważany, potrzebne jest nowe rozumienie ekologicznych granic wzrostu produkcji biomasy oraz jej przetwarzania.

9. LITERATURA

1. Adamowicz M.: Biogospodarka – koncepcja, zastosowanie i perspektywy. *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej*, 2017, **1(350)**: 29-49.
2. Bruckner M., Häyhä T., Giljum S., Maus V., Günther Fischer G., Tramberend S., Börner J.: Quantifying the global cropland footprint of the European Union's non-food bioeconomy. *Environmental Research Letters*, 2019, **14**, 045011.
3. Camia A., Robert N., Jonsson R., Pilli R., García-Condado S., López-Lozano R., van der Velde M., Ronzon T., Gurria P., M'barek R., Tamosiunas S., Fiore G., Araujo R., Hoepffner N., Marelli L., Giuntoli J.: Biomass production, supply, uses and flows in the European Union. First results from an integrated assessment. EUR 28993 EN. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018, ISBN 978-92-79-77237-5; doi:10.2760/539520, JRC109869.
4. Carus M., Dammer L.: The "Circular Bioeconomy" – concepts, opportunities and limitations. 2018, pp. 9, nova paper #9 on bio-based economy 2018-01.
5. Choi H.S., Grethe H., Entenmann S.K., Wiesmeth M., Blesl M., Wagner M.: Potential trade-offs of employing perennial biomass crops for the bioeconomy in the EU by 2050: Impacts on agricultural markets in the EU and the world. *GCB Bioenergy*, 2019, **11**: 483-504.
6. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC; <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0028&from=LEN>.
7. European Commission (EC) 2012. Innovating for Sustainable Growth: A Bioeconomy for Europe. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Brussels, COM(2012) 60 final.
8. European Commission (EC) 2014. Towards a circular economy: A zero waste programme for Europe. COM(2014) 398 final; <https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/circular-economy-communication.pdf>
9. European Commission (EC) 2015. Closing the loop -An EU action plan for the Circular Economy; https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0012.02/DOC_1&format=PDF
10. European Commission (EC) 2017. Review of the 2012 European Bioeconomy Strategy. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
11. European Commission (EC) 2018. A sustainable bioeconomy for Europe: strengthening the connection between economy, society and the environment. Publications Office of the European Union.

12. European Commission, Joint Research Centre 2018. Socio-economic insights into the Bioeconomy in BIOEAST countries; https://ec.europa.eu/knowledge4policy/publication/socio-economic-insights-bioeconomy-bioeast-countries_en
13. European Commission (EC) 2020. Circular Economy Action Plan: For a cleaner and more competitive Europe. Brussels.
14. European Union Standing Committee on Agricultural Research (EU SCAR) 2015a: Agricultural Knowledge and Innovation Systems Towards the Future – a Foresight Paper, Brussels.
15. European Union Standing Committee on Agricultural Research (EU SCAR) 2015b.: Sustainable Agriculture, Forestry and Fisheries in the Bioeconomy – A Challenge for Europe. 4th Foresight. Exercise.
16. FAO 2019. Towards sustainable bioeconomy guidelines. Brief. CA5145EN\1\06.2019. Rome, FAO.
17. Global Bioeconomy Summit (GBS) 2018. Communiqué Global Bioeconomy Summit 2018. Innovation in the Global Bioeconomy for Sustainable and Inclusive Transformation and Wellbeing. 19–20 April 2018, Berlin, Germany; https://gbs2018.com/fileadmin/gbs2018/Downloads/GBS_2018_Communique.pdf
18. G o m e z SanJuan M., Bogdanski A., Dubois O.: Towards sustainable bioeconomy – Lessons learned from case studies. Rome, FAO, 2019, pp. 132.
19. Hoff H., Johnson F.X., Allen B., Biber-Freudenberger L., Förster J.J.: Sustainable bio-resource pathways towards a fossil-free world: the European bioeconomy in a global development context. Policy Paper produced for the IEEP Think2030 conference, Brussels, October 2018.
20. M a l i c o I., Pereira R.N., Gonçalves A.C., Sousa A.M.O.: Current status and future perspectives for energy production from solid biomass in the European industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2019, **112**: 960-977.
21. OECD 2018. Integrated approaches for agricultural sustainability and productivity assessments. COM/TAD/CA/ENV/EPOC(2018)15. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris.
22. Organizacja Narodów Zjednoczonych (ONZ) 2015. Przekształcamy nasz świat: Agenda na rzecz zrównoważonego rozwoju. Rezolucja przyjęta przez Zgromadzenie Ogólne w dniu 25 września 2015 r.
23. Piotrowski S., Carus M., Essel R.: Global bioeconomy in the conflict between biomass supply and demand. *Nova paper on bio-based economy*, 2015, **7(10)**: 1-13.
24. Piotrowski S., Carus M., Essel R.: Sustainable biomass supply and demand: a scenario analysis. *Open Agriculture*, 2016, **1**: 18-28.
25. Rada Ministrów RP 2019. Mapa Drogowa Transformacji w Kierunku Gospodarki o Obiegu Zamkniętym. Załącznik do uchwały; <https://www.gov.pl/attachment/72d8cd08-f296-43f5-af28-21ab2fada40e>
26. S c a r l a t N., Dallemand J.F., Monforti-Ferario F., Nita V.: The role of biomass and bioenergy in a future bioeconomy: policies and facts. *Environmental Development*, 2015, **15**: 3-34.
27. S i l l a n p ä ä M., Ncibi C.: Biomass: The sustainable core of bioeconomy. Springer, Cham., 2017, pp. 55-78; https://doi.org/10.1007/978-3-319-55637-6_3.

A stylized, grey leaf-like graphic with a curved shape, positioned on the left side of the page, partially overlapping the title and authors' names.

**Antoni Faber
Zuzanna Jarosz**

**II. PRZEGŁĄD STRATEGII ROZWOJU
■ BIOGOSPODARKI NA OBSZARACH
WIEJSKICH W WYBRANYCH
PAŃSTWACH CZŁONKOWSKICH UE**

Zakład Biogospodarki i Agrometeorologii
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa
Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. (0-81) 4786752

1. WSTĘP

Aktualnie dziewięć krajów członkowskich UE posiada opracowane strategie biogospodarki (Finlandia, Łotwa, Niemcy, Włochy, Francja, Hiszpania, Irlandia, Austria, Estonia). W czterech innych krajach są one przygotowywane (Węgry, Litwa, Holandia, Wielka Brytania). W dziesięciu krajach Europy Środkowo-Wschodniej przygotowano lub udoskonalono strategie w ramach inicjatywy BIOEAST (Bułgaria, Chorwacja, Czechy, Polska, Rumunia, Słowacja, Słowenia, Estonia, Litwa, Łotwa). Pewne elementy strategii biogospodarki zawarte są także w inteligentnych specjalizacjach realizowanych w ponad 50 regionach UE.

Biogospodarka na początku 2018 r. uwzględniona została w politykach 50 krajów na świecie (GBC 2018).

Z opisami i przykładami strategii biogospodarki przyjętymi w różnych krajach można się zapoznać w Centrum Wiedzy o Biogospodarce Komisji Europejskiej (<https://ec.europa.eu/knowledge4policy/>) oraz w publikacjach Niemieckiej Rady Biogospodarki (GBC 2018).

Wsparcie w opracowywaniu strategii oferuje zainteresowanym krajom FAO, które przygotowało przewodnik na temat zrównoważonego rozwoju biogospodarki (Bogdańska 2019, FAO 2019).

2. STRATEGIA BIOGOSPODARKI WŁOCH

W 2016 r. Włoska Agencja Spójności Terytorialnej opublikowała projekt strategii biogospodarki (GBC 2018). Oficjalnie w tym samym roku została ona zaprezentowana przez Ministerstwo Rozwoju Gospodarczego. W opracowaniu dokumentu brały udział: Ministerstwo Rolnictwa, Żywności i Leśnictwa, Ministerstwo Edukacji, Szkolnictwa Wyższego i Badań, Ministerstwo Środowiska, Komitet Włoskich Regionów, Kłustry Technologiczne Zielonej Chemii oraz Rolno-Żywnościowy. Strategia poddana była szerokim konsultacjom wśród interesariuszy i obywateli. Finalna wersja dokumentu „Bioekonomia we Włoszech: Unikalna możliwość ponownego powiązania gospodarki, społeczeństwa i środowiska” została przyjęta przez rząd w kwietniu 2017 r. (GBC 2018).

2.1. WIZJA BIOGOSPODARKI

Definicja biogospodarki

Strategia koncentruje się na zwiększeniu wartości dodanej z sektorów pierwotnej produkcji biomasy. Biogospodarka rozumiana jest w niej „jako zrównoważona produkcja odnawialnych zasobów biologicznych oraz przekształcanie ich oraz odpadów biologicznych w wartościowe produkty, tj. żywność, pasze, bioprodukty i energię” (GBC 2018). W dokumencie podkreśla się potrzebę przejścia do biogospodarki cyr-

kulacyjnej, w której „produkcja i wykorzystywanie zasobów odnawialnych oraz ich przekształcanie w produkty o wartości dodanej jest częścią systemu cyrkulacyjnego, umożliwiającego prowadzenie gospodarki w sposób opłacalny i zrównoważony w długim okresie czasu” (GBC 2018).

Identyfikacja jej zakresu i sektorów

Strategia swoim zakresem obejmuje wszystkie sektory pierwotnej produkcji biomasy oraz sektory jej przetwarzania. Tworzy ona warunki do sieciowego powiązania tych różnych sektorów biogospodarki oraz łańcuchów ich wartości w celu osiągnięcia większej efektywności i zrównoważenia, co ma umożliwić tworzenie wartości opartej na lokalnej bioróżnorodności i gospodarce cyrkulacyjnej.

Zestaw celów strategii

W skali globalnej strategia określa reakcje i wkład Włoch w rozwiązywanie wielkich społecznych wyzwań: bezpieczeństwa żywnościowego dla rosnącej populacji ludzi na świecie, zmian klimatu oraz krytycznego nadwyżerzenia odporności ekosystemów. W skali krajowej celem strategii jest zwiększenie konkurencyjności włoskiej gospodarki poprzez innowacje i promowanie „zielonego wzrostu”, ograniczenie zależności od paliw i surowców nieodnawialnych.

Cele zrównoważonego rozwoju

Kluczowymi celami strategii są: korzystny rozwój obszarów wiejskich i przybrzeżnych, poprawa bioróżnorodności i ochrona ekosystemów.

Identyfikacja interesariuszy

Od wielu lat rozwój biogospodarki we Włoszech był napędzany przez przemysł chemiczny zdążający do zielonej chemii i biochemii. Strategia traktuje rolnictwo, leśnictwo, przemysł spożywczy, rybołówstwo oraz przemysły przetwarzające biomasę jako rdzeń integrujący włoski ekosystem biogospodarki.

2.2. PLAN DZIAŁANIA

Strategia przewiduje, w stopniu większym niż w innych krajach, integrację działań z funduszami UE na BiR oraz z działaniami na rzecz inteligentnych specjalizacji. Rząd zamierza wspierać rolnictwo i leśnictwo, aby zwiększyć w nich zrównoważenie produkcji oraz jej prężność poprzez promowanie, między innymi: przyjaznych klimatowi form gospodarowania, rolnictwa precyzyjnego, ekologicznej intensyfikacji produkcji oraz agroekologii. W strategii sformułowano jedynie ogólne założenia do działań w biogospodarce. Przyjęto, że obroty biogospodarki mają wzrosnąć z 250 mld EUR (2015 r.) do 300 mld EUR w 2030 r., zaś zatrudnienie w niej

w 2030 r. powinno osiągnąć 2 mln pracowników. Szczegółowy plan działań ma być nakreślony w odrębnym dokumencie.

Mapa i oceny istniejących polityk i programów

Strategia biogospodarki jest częścią już wdrażanych programów – Narodowej Strategii Inteligentnej Specjalizacji oraz Włoskiej Narodowej Strategii Rozwoju Zrównoważonego.

Identyfikacja przeciwności i synergii

Brak na ten temat informacji.

Przyjęte zasadnicze zadania, polityczne środki ich realizacji oraz konkretne wdrożenia

W strategii przewidziano pięć głównych zadań i przypisano im polityki oraz wdrożenia (tab. 6).

Tabela 6

Zadania, środki polityczne oraz wdrożenia strategii biogospodarki we Włoszech
(GBC 2018)

Zasadnicze zadania	Środki polityczne	Wdrożenia
Promowanie innowacji	publiczne środki na BiR	środki z Funduszu Spójności; Narodowa Strategia Inteligentnej Specjalizacji; H2020
	stymulowanie prywatnego sektora BiR	ulgi podatkowe dla przedsiębiorstw na inwestowanie w BiR
Wspomaganie infrastruktury i zdolności produkcyjnych	interdyscyplinarna edukacja i treningi zawodowe	programy dla szkół; programy dla szkół wyższych, np. pierwszy w Europie program magisterski „Bioekonomia w gospodarce cyrkulacyjnej”; studia podyplomowe
	inwestycje w ośrodki BiR	regionalne centra BiR
	rozwijanie klastrów	rozmieszczone regionalnie
	zakłady pilotażowe i demonstracyjne; biorafinerie	rozmieszczone regionalnie

cd. tab. 6

Zasadnicze zadania	Środki polityczne	Wdrożenia
Wspomaganie popytu	ustanowienie standardów ekoetykiet dla bioproduktów	-
	informacje dla konsumentów	-
	przegląd prawa	środowisko; zielone zamówienia publiczne; program redukcji odpadów
Zapewnienie przyjaznej struktury i warunków rozwoju biogospodarki	regulacje dotyczące gospodarki cyrkulacyjnej	pakiet gospodarki cyrkulacyjnej UE
	przegląd regulacji promujących bioprodukty	Narodowa Strategia Energetyczna; Narodowy Plan dla Klimatu i Energii
	ograniczenie emisji gazów cieplarnianych i wzrost udziału OZE	strategia klimatyczna UE
	ochrona bioróżnorodności	Narodowa Strategia Bioróżnorodności
	poprawa jakości wód przybrzeżnych	Narodowa Strategia Morska
Promowanie dobrego zarządzania	monitorowanie i pomiar aktywności	wskaźniki monitorujące wdrażanie strategii
	współpraca pomiędzy ministerstwami i współpraca między regionami	-
	dialog między interesariuszami oraz informacja publiczna	stała grupa robocza ds. biogospodarki

2.3. MONITORING

Wdrożenie strategii biogospodarki monitorowane będzie przy użyciu wskaźników przyjętych w UE – wydajności oraz stanu zrównowżenia. Dostępność biomasy charakteryzowana będzie z wykorzystaniem takich wskaźników, jak: struktura produkcji, struktura zatrudnienia, innowacje, inwestycje, demografia, rynek, bezpieczeństwo żywnościowe, gospodarowanie zasobami naturalnymi, ograniczenie zależności od paliw nieodnawialnych, radzenie sobie ze zmianami klimatu oraz poprawa wzrostu gospodarczego.

3. STRATEGIA BIOGOSPODARKI HISZPANII

Opracowana w 2016 r. strategia Horyzont 2030 zawiera cele rozwoju biogospodarki w okresie najbliższego 15-lecia (MEC 2017). Autorami pierwotnej wersji dokumentu (2014 r.) są Ministerstwo Gospodarki i Konkurencyjności, Ministerstwo

Rolnictwa, Żywności i Środowiska oraz Ministerstwo Nauki, Rozwoju i Innowacji. Przed opublikowaniem, pierwotna wersja strategii została poddana publicznym konsultacjom przeprowadzonym w postaci ankiety skierowanej do 200 ekspertów.

3.1. WIZJA BIOGOSPODARKI

Definicja biogospodarki

Strategia definiuje biogospodarkę jako „zestaw aktywności gospodarczych przetwarzających zasoby biologiczne na produkty i usługi wartościowe gospodarczo z zachowaniem zrównoważonego wykorzystywania tych zasobów” (MEC 2017).

Identyfikacja zakresu biogospodarki i sektorów

Swoim zakresem definicja biogospodarki obejmuje produkcję i komercjalizację: żywności, produktów leśnictwa, rybołówstwa i kultur wodnych, bioenergii i innych bioproduktów wytwarzanych z wykorzystaniem procesów fizycznych, chemicznych, biochemicznych i biologicznych. Strategia jako kluczowe przyjmuje zasady „żywność najpierw” oraz środowiskowego zrównoważenia.

Zestaw celów strategii

Cele ogólne sformułowane zostały z uwzględnieniem perspektywy globalnej, krajowej oraz regionalnej. Celem globalnym jest przeciwdziałanie zmianom klimatu oraz działania na rzecz globalnego bezpieczeństwa żywnościowego. Celem narodowym i regionalnym jest zwiększenie konkurencyjności oraz wzrostu ekonomicznego poprzez promowanie innowacyjnych technologii oraz internacjonalizację przemysłu przetwarzającego biomasę. Ponadto Hiszpania dąży do rozwoju zdywersyfikowanej i bardziej zrównoważonej ekologicznie gospodarki, w której biogospodarka przyczynia się w szczególności do rozwoju obszarów wiejskich i większej spójności terytorialnej.

W strategii przyjęto, że przejście do biogospodarki będzie prowadzone poprzez innowacje w zakresie nauk biologicznych oraz digitalizację. Strategia silnie opiera się na kompetencjach i znaczeniu gospodarczym sektora rolno-spożywczego i leśnego w promowaniu bardziej zrównoważonej produkcji oraz rozwoju biogospodarki. W związku z tym zakłada się, że nowe technologie i innowacje powinny przyczynić się do poprawy wydajności procesów produkcyjnych, organizacyjnych i logistycznych. Na przykład systemy uprawy powinny zostać ulepszone dzięki zrównoważonym praktykom intensyfikacji i technologiom „omika” (np. genomika, proteomika, metabolika), a także narzędziom rolnictwa precyzyjnego. Nowe technologie przetwarzania, pakowania, konserwacji i łańcucha chłodniczego powinny przyczynić się do zmniejszenia ilości odpadów w całym łańcuchu dostaw, a jednocześnie poprawić jakość odżywczą tradycyjnych i nowych produktów funkcjonalnych. Wiedza z za-

kresu genetyki i genomiki powinna przyczynić się do zwiększenia produktywności sektorów „bio”. Strategia wspiera konwersję pierwotnej produkcji biomasy na bioinnowacje w innych sektorach przemysłu, np. poprzez wspieranie rozwoju biorafinerii wykorzystujących produkty uboczne i odpady z rolnictwa i przemysłu spożywczego dla uzyskiwania wartościowych bioproduktów (biosmary, bioplastiki, suplementy diety, kosmetyki, rozpuszczalniki itp.). Zakłada ona również postępy w dziedzinie bioenergii, zwłaszcza zaś w zakresie syntezy biopaliw na drodze procesów termochemicznych i biochemicznych z surowców alternatywnych, głównie pozostałości i odpadów organicznych. Strategia zakłada również rozwijanie i promowanie biotechnologii morskiej w celach pozyskiwania związków takich jak np. enzymy, polimery, węglowodany, które będą przydatne w produkcji farmaceutyków i biokosmetyków. Zwraca ponadto uwagę na znaczący potencjał produkcji biomasy niekonwencjonalnej (glony i mikroorganizmy). Ze względu na klimat uznano, że rozwój biogospodarki musi bazować na efektywnym wykorzystywaniu wody, np. poprzez właściwe nią gospodarowanie oraz ponowne wykorzystywanie przez sektory gospodarki.

Kryteria zrównoważonego rozwoju

W założeniach strategii uznaje się, że rozwój biogospodarki ma być zrównoważony ekonomicznie, społecznie i środowiskowo. System biogospodarki w całości powinien zwiększyć efektywność wykorzystywania zasobów (gleb, wód, emisji, itp.) oraz uodpornić systemy uprawy roślin na działanie negatywnych czynników zewnętrznych (erozję, zanieczyszczenia, ograniczanie bioróżnorodności itp.). Wszelkie środki – ekologiczne, agroekologiczne i konwencjonalne – powinny być wykorzystane do zrównoważonej intensyfikacji biomasy. Postępy powinny być czynione w zakresie indykacji zrównoważenia biogospodarki (wykorzystywania zasobów i bioróżnorodności), jak również społecznego zrównoważenia (akceptacji systemów biogospodarki i technologii). Dalszych postępów wymaga ograniczenie półproduktów i odpadów poprzez ponowne zawrótanie ich do produkcji, co poprawi efektywność wykorzystania materiałów. Preferencyjnie traktowane są recykling i regeneracja zużytych biomateriałów.

Identyfikacja interesariuszy

Strategia bazuje na trójkącie nauka – gospodarka – społeczeństwo. W tym układzie społeczeństwo jest interesariuszem poprzez konsumpcję, organizacje społeczne, gospodarcze, środowiskowe oraz zainteresowane administracje i pełni rolę promotora, facylitatora oraz katalizatora biogospodarki. Nauka realizowana na uniwersytetach i w instytutach jest dostawcą badań i technologii niezbędnych dla rozwoju biogospodarki. Gospodarka, sektory produkcyjne, przedsiębiorstwa prywatne i społeczne oraz ich organizacje dostarczają platform technologicznych dla rozwoju biogospodarki.

3.2. PLAN DZIAŁANIA

Opracowanej w 2016 r. strategii biogospodarki towarzyszył pierwszy plan działania w tym zakresie (SMEIC 2016). Przedstawiono w nim szacunkowy budżet przeznaczony na badania i innowacje, na który składały się środki UE (H2020), środki administracji centralnej oraz administracji regionalnych. W 2016 r. wyasygnowano na ten cel 230 mln EUR. Całkowite nakłady na rozwój biogospodarki do 2020 r. szacowane są na 1,1 mld EUR. W strategii zaproponowano publikowanie rocznych planów działania na początku każdego roku finansowego.

Mapa i oceny istniejących polityk i programów

W 2014 r. powołany międzynarodowy panel ekspertów dokonał oceny osiągnięć hiszpańskiej nauki i technologii pod względem strategicznych obszarów innowacji na podstawie doświadczeń w ich własnych krajach. Wyznaczono: strategiczne obszary innowacji i sposoby stymulowania publiczno-prywatnej współpracy na poziomie kraju, cele innowacji oraz sposoby scalenia publicznych i prywatnych zasobów w zakresie finansowania i regulacji prawnych. Za niewralgiczne pola uznano współpracę i kooperację pomiędzy autonomicznymi wspólnotami oraz włączenie do systemu biogospodarki większej liczby innowacyjnych przedsiębiorstw, zwłaszcza małych i średnich.

Identyfikacja antagonizmów i synergii

Brak na ten temat informacji.

Przyjęte zasadnicze zadania, polityczne środki ich realizacji oraz konkretne wdrożenia

Przyjęto siedem zasadniczych zadań prowadzących do rozwoju biogospodarki, przypisano im polityczne środki realizacji oraz konkretne wdrożenia (tab. 7).

Tabela 7

Zadania, środki polityczne oraz wdrożenia strategii biogospodarki w Hiszpanii
(GBC 2018)

Zasadnicze zadania	Środki polityczne	Wdrożenia
Promowanie innowacji	publiczne środki na BiR	UE: H2020, RIS 3
	sojusze interdyscyplinarne	-
	stymulacja BiR w sektorze prywatnym	partnerstwa publiczno-prywatne
	utworzenie platformy innowacji	-

cd. tab. 7

Zasadnicze zadania	Środki polityczne	Wdrożenia
Wspomaganie infrastruktury i zdolności produkcyjnych	programy edukacyjne; programy nauczania biogospodarki w uczelniach i szkołach; programy treningowe	kursy w zakresie inwestowania, zarządzania w biogospodarką
	projekty pilotażowe i zakłady demonstracyjne	-
	tworzenie klastrów	-
	tworzenie regionalnych centrów naukowych	-
Wspomaganie komercjalizacji	rozwijanie rynków	eksport i internacjonalizacja
	transfer wiedzy i technologii	-
	demonstracje i informowanie o wartości bioinnowacji	-
Wspomaganie popytu	program uświadamiania społeczeństwa i dialogu	strategia informowania; program wyjaśniania i dialogu
	standaryzacja i certyfikacja bioproduktów	-
	program zamówień publicznych	-
	znakowanie produktów	według polityk UE
	platforma interesariuszy	konferencje, fora, spotkania
Zapewnienie przyjaznej struktury i warunków rozwoju biogospodarki	przegląd polityk	regulacje w zakresie gospodarki cyrkulacyjnej
Promowanie dobrego zarządzania	obserwatorium biogospodarki	grupa monitorująca
	dialog wielu interesariuszy	komitet sterujący strategią biogospodarki; platforma internetowa
Wzmacnianie międzynarodowej współpracy w biogospodarce	monitoring międzynarodowy	
	współpraca i wymiana w UE i Ameryce Łacińskiej	

3.3. MONITORING

Działanie hiszpańskiej strategii będzie monitorowane i oceniane przez Hiszpańskie Obserwatorium Biogospodarki (MEC 2017). Stosowane będą wskaźniki statystyczne oraz wskaźniki zrównoważenia. Zostaną wzięte pod uwagę takie indeksy, jak działalność (mierzona liczbą przedsięwzięć oraz wielkością inwestycji publicznych i prywatnych) oraz rezultaty (ekonomiczne znaczenie biogospodarki oraz efektywność wykorzystania zasobów biologicznych). Każdy sektor biogospodarki charakteryzowany będzie następującymi danymi statystycznymi: produkcja końcowa, wartość dodana produkcji, zatrudnienie oraz eksport.

4. STRATEGIA BIOGOSPODARKI NIEMIEC

Naukowym fundamentem rozwoju biogospodarki była „Narodowa Strategia Badawcza – Biogospodarka 2030. Nasza droga w kierunku gospodarki opartej na biologii”, która została opracowana w 2010 r. i obowiązywała do 2018 r. (FMER 2010, GBC 2015). Trzy lata później opublikowano „Strategię polityczną biogospodarki”, która obowiązuje bezterminowo (FMFA 2013). Strategię naukową opracowało Federalne Ministerstwo Edukacji i Badań. Strategia polityczna jest rezultatem współpracy pomiędzy Federalnym Ministerstwem Żywności i Rolnictwa, Federalnym Ministerstwem Gospodarki i Energii, Federalnym Ministerstwem Współpracy Gospodarczej i Rozwoju, Federalnym Ministerstwem Środowiska, Ochrony Przyrody i Bezpieczeństwa Jądrowego, Federalnym Ministerstwem Spraw Wewnętrznych oraz Ministerstwem Spraw Zagranicznych. Realizację strategii wspiera Niemiecka Rada Biogospodarki, która jest niezależnym od rządu organem doradczym.

4.1. WIZJA BIOGOSPODARKI

Definicja biogospodarki

Biogospodarka jest definiowana jako oparta na wiedzy produkcja i wykorzystywanie odnawialnych zasobów w celu zapewnienia produktów, procesów i usług we wszystkich sektorach gospodarki, w sposób zdolny do trwania w przyszłości (FMFA 2013).

Identyfikacja zakresu i sektorów

Zgodnie z powyższą definicją koncepcja biogospodarki obejmuje wszystkie sektory gospodarki oraz powiązane z nimi obszary usług, które produkują, przetwarzają, wykorzystują lub handlują odnawialnymi zasobami (roślinnymi, zwierzęcymi, mikrobiologicznymi) oraz produktami wytworzonymi z tych zasobów (FMFA 2013).

Zestaw celów strategii

Strategia naukowa biogospodarki nakierowana była na innowacje i miała realizować następujące cele: globalne bezpieczeństwo żywnościowe, zrównoważoną produkcję rolniczą, zdrową i bezpieczną żywność, przemysłowe wykorzystywanie biomasy oraz poszerzenie wykorzystywania zrównoważonej bioenergii (GBC 2015). Według strategii politycznej „Celem biogospodarki jest jej zrównoważony i konkurencyjny rozwój w skali międzynarodowej, który pozwoli sprostać wyzwaniom na poziomie krajowym i międzynarodowym” (FMFA 2013). Realizacji celów ogólnych mają sprzyjać następujące cele szczegółowe:

- zaopatrzenie ludności w Niemczech w żywność wysokiej jakości i przyczynienie się w możliwym zakresie do poprawy podaży żywności na świecie;
- wzmacnianie przechodzenia od gospodarki opartej na surowcach nieodnawialnych do gospodarki bardziej efektywnej i opartej na surowcach odnawialnych;
- zabezpieczenie dostaw zasobów odnawialnych, umożliwiające w długim okresie czasu ich zrównoważone i efektywne wykorzystywanie jako surowców odnawialnych;
- zrównoważone wykorzystywanie zasobów odnawialnych przy jednoczesnej ochronie bioróżnorodności i żyzności gleb;
- ochrona klimatu;
- poprawa innowacyjności Niemiec i ich międzynarodowej konkurencyjności;
- zabezpieczenie istniejących i tworzenie nowych miejsc pracy;
- zrównoważona konsumpcja po stronie konsumentów jako element łańcucha wartości biogospodarki.

Kryteria zrównoważonego rozwoju

W naukowej strategii biogospodarki założono, że kluczowe znaczenie dla jej rozwoju mają zrównoważona produkcja zasobów odnawialnych i postępy w biotechnologii. W strategii politycznej wprowadzono szereg działań z zakresu adaptacji ekologicznej (zazielenienie w ramach WPR), ochrony klimatu (w ramach WPR), zrównoważonej ochrony roślin i nawożenia, certyfikacji zrównoważenia biomasy i bioproduktów oraz nowej strategii ogrodnictwa.

Identyfikacja interesariuszy

W rozwijaniu biogospodarki istnieje potrzeba ścisłej współpracy ze wszystkimi zainteresowanymi stronami (politykami, nauką, przedsiębiorcami itd.) oraz ogółem społeczeństwa.

4.2. PLAN DZIAŁANIA

Mapa i oceny istniejących polityk i programów

Strategię biogospodarki wspomagają: plan działania dotyczący wykorzystywania zasobów odnawialnych do produkcji materiałów i energii (2009/2010), plan działania dotyczący odnawialnej energii (2010) oraz strategia leśnictwa (2020). Ze strategią biogospodarki pewne związki mają również takie polityki, jak: Narodowa strategia bioróżnorodności (2007), Plan działania wykorzystywania odnawialnych zasobów jako źródła energii (2009/2010), Narodowy plan działania w zakresie odnawialnej energii (2010), Koncepcja dostaw energii w sposób bezpieczny, niezawodny i niedrogi (2010), Strategia surowcowa (2010), Niemiecki program efektywnego gospodarowania zasobami (2012), Mapa drogowa rozwoju biorafinerii (2012) oraz Strategia rządu federalnego dotycząca mobilności i paliw (2013).

Identyfikacja przeciwności i synergii

Przyjęte cele mogą powodować konflikty. Spójne polityki powinny te konflikty ujawnić i eliminować poprzez tworzenie odpowiednich warunków ramowych oraz poprzez innowacje. Może to dotyczyć w szczególności:

- konkurencji w zakresie użytkowania gruntów na cele żywnościowe i produkcji odnawialnych surowców oraz konkurencji o infrastrukturę i tworzenie warunków rozwoju;
- konieczności zwiększenia produkcji biomasy przy jednoczesnym wzroście wymagań dotyczących ochrony przyrody;
- konfliktu pomiędzy wykorzystywaniem biomasy a celami ochrony środowiska;
- rosnącej konkurencji pomiędzy wykorzystaniem biomasy na cele materiałowe i energetyczne;
- wpływu importu biomasy do Niemiec na uwarunkowania społeczne, ekonomiczne i środowiskowe w krajach eksportujących biomasę, w tym zwłaszcza na bezpieczeństwo żywnościowe tych krajów.

Konflikty celów i interesów powinny być rozwiązywane według przewodnich zasad i środków politycznych oraz zasad zrównoważenia na poziomie strategicznym poprzez:

- przyjęcie, na poziomie narodowym i globalnym, że produkcja żywności ma priorytet nad produkcją biomasy na inne cele, co wymaga wspierania synergii pomiędzy tymi przeznaczeniami biomasy;
- rozważenie interakcji w wykorzystywaniu biomasy w celu rozpoznania jej potencjałów i możliwych o nią konkurencji oraz ustanowienia priorytetów dla akcji politycznych na poziomach globalnym, europejskim, narodowym i regionalnym;
- przyjęcie w ciągłym procesie strukturyzacji warunków ramowych rozwoju biogospodarki, że pierwszeństwo w wykorzystaniu mają te ścieżki, które po-

siadają większy potencjał tworzenia wartości dodanej przy zapewnieniu porównywalnych efektów realizacji innych celów, w szczególności odnosi się to do wykorzystywania produktów ubocznych i odpadów, co maksymalizuje tworzone wartości;

- tam, gdzie jest to możliwe i celowe, kaskadowe wykorzystanie biomasy, co jest inteligentnym sposobem wiązania łańcuchów wartości lub łańcuchów procesów, dającym poprawę efektywności, zmniejszenie konkurencji o biomasę oraz wzmocnienie potencjału innowacji; taki sposób wykorzystywania biomasy może być również sposobem oddzielania wzrostu gospodarczego od konsumpcji zasobów;
- dążenie do zabezpieczenia i wzmocnienia konkurencyjności biogospodarki w Niemczech oraz zwiększania jej potencjału na arenie międzynarodowej;
- dobrze przygotowany i poinformowany personel, niezbędny dla zapewnienia konkurencyjności biogospodarki;
- poprawę warunków finansowania rozwoju innowacyjnych produktów, zwłaszcza w małych i średnich przedsiębiorstwach;
- tam gdzie to możliwe, ukierunkowanie rozwoju i inicjatyw na kreatywność i innowacje oraz poprawę możliwości stosowania i upowszechniania nowych technologii;
- wzmocnienie roli konsumentów w rozwoju biogospodarki, poprzez wsparcie ich decyzji zakupowych przejrzystym informowaniem o celach zrównoważonego rozwoju;
- uwzględnienie coraz większych wymagań dotyczących norm ochrony przyrody, środowiska, zwierząt oraz standardów odpowiedzialności społecznej, których przestrzeganie zapewniać będzie akceptację produktów przez konsumentów, co może mieć wpływ na konkurencyjność biogospodarki;
- rozszerzenie stosowania standardów zrównoważonej produkcji w krajach trzecich;
- wykorzystanie efektu synergii pomiędzy ochroną bioróżnorodności a pozyskiwaniem i dostarczaniem biosurowców dla energetyki i przemysłu.

Przyjęte zasadnicze zadania, polityczne środki ich realizacji oraz konkretne wdrożenia

W latach obowiązywania narodowej strategii badawczej (2010–2018) wydatkowano 2,4 mld EUR w celu pobudzenia innowacji, organizacji badań i biznesu (GBC 2015). W ramach tej strategii ufundowano między innymi takie programy, jak: finansowanie odnawialnych zasobów, światowe bezpieczeństwo żywnościowe, hodowla roślin, fenotypowanie roślin, poprawa zdrowotności zwierząt oraz badania podstawowe z zakresu biotechnologii i bioenergetyki. Program sprzyjał tworzeniu sojuszy pomiędzy nauką a wielkimi koncernami przemysłowymi z różnych sektorów, w celu ustanowienia nowych łańcuchów wartości w biogospodarce. Rozwijano zakłady demonstracyjne i pilotażowe ze środków federalnych i regionalnych.

Przyjęto pięć zasadniczych zadań prowadzących do rozwoju biogospodarki, przypisano im polityczne środki realizacji oraz konkretne wdrożenia (tab. 8).

Tabela 8

Zadania, środki polityczne oraz wdrożenia strategii biogospodarki w Niemczech (GBC 2015)

Zasadnicze zadania	Środki polityczne	Wdrożenia	Budżet w EUR	Okres realizacji	Finansowanie
Promowanie innowacji	badania podstawowe i stosowane	np. Biotechnologia 2020, Sojusze innowacyjne (biotechnologia przemysłowa), Biotechnologia roślin, Hodowla roślin, Fundusz dla surowców odnawialnych, Rolnictwo ekologiczne	2,4 mld	2010–2018	Biogospodarka 2030 strategia badawcza
		węgiel organiczny w lasach, potencjał redukcji emisji CO ₂ i adaptacji do zmian klimatu	100 mln	2013–2016	
	klastry, demonstracje i zakłady pilotażowe	finansowanie 4 biorafinerii			
		finansowanie 5 klastrów bioprzemysłu	60 mln	2008–2012	
		klaster biogospodarki w Centralnych Niemczech (High-Tech)	20 mln	2014–2017	
	współpraca międzynarodowa	współpraca BiR z krajami spoza UE			
		współpraca Niemcy–Afryka, sieć systemów produkcji żywności			

cd. tab. 8

Zasadnicze zadania	Środki polityczne	Wdrożenia	Budżet w EUR	Okres realizacji	Finansowanie
Infrastruktura	centra kompetencji	sekwencjonowanie genomów, systemy biologiczne, fenotypowanie roślin, bioinformatyka		w realizacji	
	sieci naukowe i treningi specjalistów	partnerstwa nauczania i tematyczne sieci naukowe			
Komercjalizacja	rozwijanie rynku	sieć certyfikacji, zrównoważonych i odnawialnych zasobów biologicznych			
		inicjatywa eksportu odnawialnej energii		w realizacji	
	fundusze dla Start-up	start-up badań biotechnologii, inkubator nauk przyrodniczych		w realizacji	
	finansowanie i przedsięwzięcia kapitałowe	konkurs na pomysły nowych bioproduktów; wspomaganie innowacji (np. biotechnologia)		w realizacji	
		fundusze start-up High-tech, dotacje dla Aniołów Biznesu, Centralny Program Innowacji		w realizacji	
Wspomaganie popytu	wsparcie producentów biomasy	taryfy gwarantowane dla bioenergii z odpadów		w realizacji	poprawka do ustawy o energii odnawialnej z 2014 r.
	informowanie i dialog społeczny	komunikowanie inicjatyw i zaleceń (np. bioprodukty, odpady żywnościowe)		2004–2014	
	etykiety na produkty konsumpcyjne	Niebieski Anioł (produkty z papieru), tworzenie metodologii znakowania produktów zrównoważonych			

cd. tab. 8

Zasadnicze zadania	Środki polityczne	Wdrożenia	Budżet w EUR	Okres realizacji	Finansowanie
Ramowe polityki	spójność polityk	międzyresortowa grupa robocza ds. biogospodarki		w realizacji	
		zarządzanie informacją i wiedzą, badania monitorujące itp.		w realizacji	
	dostęp do zasobów odnawialnych	partnerstwo międzynarodowe dotyczące zrównoważonej produkcji biomasy		w realizacji	

4.3.MONITORING

Prowadzone będą badania monitorujące (szczegółów nie podano).

5. STRATEGIA BIOGOSPODARKI LITWY

Prace nad koncepcją biogospodarki Litwy są w toku (Lutzeyer 2019). Jednakże rząd od dawna wspiera rozwój biotechnologii w ramach „Narodowego Programu Rozwoju Biotechnologii Przemysłowej” (2007–2010; 2011–2013). Biotechnologia znalazła również miejsce w priorytetach naukowych i programach inteligentnych specjalizacji oraz w Programie Rozwijania Innowacji (2014–2020). W programach tych nie wspomniano o biogospodarce.

Przyszła strategia będzie zapewne podbudowana przeprowadzonymi badaniami wykonalności rozwoju biogospodarki (ME 2017).

6. PODSUMOWANIE

Z przedstawionego przeglądu strategii w wybranych krajach UE wynika, że strategia biogospodarki powinna uwzględniać trzy elementy. Pierwszym z nich jest wizja biogospodarki, w której należy zamieścić definicję biogospodarki, identyfikację jej zakresu i sektorów, zestaw celów strategii, kryteria zrównoważonego rozwoju oraz identyfikację interesariuszy. Drugim elementem jest plan działania uwzględniający mapę i oceny istniejących polityk i programów, identyfikacje antagonizmów i synergii, przyjęcie zasadniczych środków politycznych, ustanowienie zadań oraz wdrożenie strategii. Trzecim elementem jest monitoring, który powinien umożliwiać

ustalenie zgodności przyjętych wskaźników i ich wartości referencyjnych, kontrolę postępów i stanu zrównoważenia, ocenę oraz informowanie o wynikach stosowania strategii.

7. LITERATURA

1. Bogdańska A.: Towards a sustainable bioeconomy strategy – an overview. SCAR-CASA Workshop, Carcavelos, Portugal, 20 May 2019.
2. European Commission, Joint Research Centre. Knowledge4Policy: Supporting policy with scientific evidence; <https://knowledge4policy.ec.europa.eu/>
3. European Commission (EC) 2012. Innovating for Sustainable Growth: A Bioeconomy for Europe. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Brussels, COM(2012) 60 final.
4. European Commission (EC) 2017. Review of the 2012 European Bioeconomy Strategy. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
5. European Commission (EC) 2018. A sustainable bioeconomy for Europe: strengthening the connection between economy, society and the environment. Publications Office of the European Union.
6. FAO 2019. Towards sustainable bioeconomy guidelines. Brief. CA5145EN\1\06.19.
7. Federal Ministry of Education and Research (FMER). 2010. National Research Strategy BioEconomy 2030. Our Route towards a biobased economy.
8. Federal Ministry of Food and Agriculture (FMFA) 2013. National Policy Strategy on Bioeconomy. Renewable resources and biotechnological processes as a basis for food, industry and energy.
9. German Bioeconomy Council (GBC) 2015. Bioeconomy Policy. Synopsis and analysis of strategies in G7.
10. German Bioeconomy Council (GBC) 2018. Bioeconomy Policy (Part III) Update Report of National Strategies around the World; https://bioekonomierat.de/fileadmin/Publikationen/berichte/GBS_2018_Bioeconomy-Strategie
11. Gomez San Juan M., Bogdanski A., Dubois O.: Towards sustainable bioeconomy – Lessons learned from case studies. Rome, FAO, 2019, pp. 132.
12. Lutze y e r H.J.: Introduction to the European Bioeconomy Strategy. SCAR-CASA Workshop, Carcavelos, Portugal, 20 May 2019.
13. Ministerio De Economia Y Competitividad (MEC) 2017. 2030 HORIZON. The Spanish Bioeconomy Strategy.
14. Ministry of Economy (ME) 2017. Lithuanian Bioeconomy Development Feasibility Study.
15. Spanish Ministry of Economy, Industry and Competitiveness (SMEIC). 2016. The Spanish Bioeconomy Strategy: Horizon 2030. The 2016 Action Plan.
16. Organizacja Narodów Zjednoczonych (ONZ) 2015. Przekształcamy nasz świat: Agenda na rzecz zrównoważonego rozwoju. Rezolucja przyjęta przez Zgromadzenie Ogólne w dniu 25 września 2015 r.

A stylized, curved leaf-like graphic in shades of gray, positioned on the left side of the page.

**Antoni Faber
Zuzanna Jarosz**



EUROPEJSKI ZIELONY ŁAD ZAŁOŻENIA I CELE

Zakład Biogospodarki i Agrometeorologii
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa
Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. (0-81) 4786752

1. WSTĘP

Dynamika antropogenicznych zmian klimatu jest tak duża, że stanowione i realizowane z trudem cele przeciwdziałania tym zmianom wymagają rewizji. Jeszcze na dobre nie przystąpiono do realizacji porozumień paryskich z 2015 r. (UNFCCC 2015), w których 195 krajów przyjęło za konieczne wprowadzenie działań gwarantujących utrzymanie wzrostu średniej globalnej temperatury znacznie poniżej 2°C, najlepiej poniżej 1,5°C, a już w 2018 r. okazało się, że dla osiągnięcia tego celu konieczne staje się podjęcie działań bardziej ambitnych. W raporcie Międzyrządowego Panelu ds. Zmian Klimatu stwierdzono bowiem, między innymi, że „Osiągnięcie i utrzymanie w skali globalnej zerowych emisji netto antropogenicznych gazów cieplarnianych powstrzymałoby globalne ocieplenie na przestrzeni dekad” (KE 2019). Stwierdzenie to stało się podwaliną do kształtowania polityk, programów oraz działań zmierzających do neutralności klimatycznej, która warunkowana jest osiągnięciem zeroemisyjności netto do roku 2050.

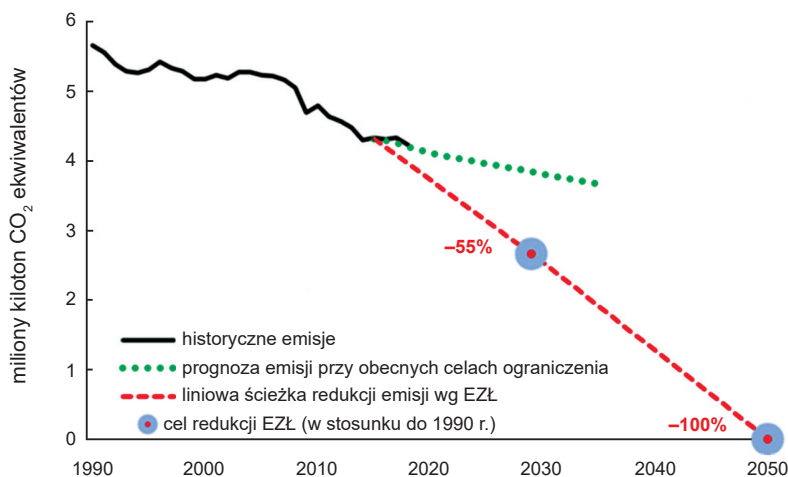
W grudniu 2020 r. na szczycie Rady Europejskiej unijni przywódcy zatwierdzili nowy cel zaproponowany przez Komisję, zgodnie z którym UE powinna do 2030 r. ograniczyć emisje netto o co najmniej 55% w porównaniu z rokiem 1990. Zaapelowano także o szybkie przyjęcie prawa klimatycznego spójnego z wyznaczonym celem na 2030 r. Porozumienie w sprawie prawa klimatycznego zostało zatwierdzone w maju 2021 r.

UE zadeklarowała chęć stania się pierwszym kontynentem zeroemisyjnym do 2050 r., co ma zapewnić zrealizowanie strategii Europejskiego Zielonego Ładu (EZŁ) (KE 2019). Dokument ten prezentuje kierunkowe działania odnoszące się do wszystkich sektorów gospodarki. Jego istotnym elementem, dedykowanym rolnictwu i gospodarce żywnościowej, jest strategia „od pola do stołu” (EC 2020a).

Celem prezentowanego opracowania jest omówienie założeń i celów strategii Europejskiego Zielonego Ładu (EZŁ), w tym zwłaszcza tych, które odnoszą się wprost do rolnictwa i gospodarki żywnościowej.

2. PRZESŁANKI DO PRZYJĘCIA STRATEGII EUROPEJSKIEGO ZIELONEGO ŁADU

Analiza trendów emisji antropogenicznych gazów cieplarnianych doprowadziła do wniosku, że przyjęte w UE cele ograniczenia emisji mogą nie zapewnić realizacji porozumienia paryskiego (rys. 1). Realizacja tych celów wymagałaby ograniczenia emisji netto, w stosunku do emisji w 1990 r., o 55% w 2030 r. oraz o 100% w 2050 r., co dawałoby w tym roku osiągnięcie neutralności klimatycznej (zeroemisyjności netto).



Rys. 1. Nowe cele ograniczenia emisji antropogenicznych gazów cieplarnianych w UE
(Źródło: UNFCCC 2015 i EEA 2015)

Wstępny plan transformacji unijnej gospodarki w celu osiągnięcia neutralności klimatycznej przedstawiono w komunikacie Komisji Europejskiej z 2018 r. pt. „Czysta planeta dla wszystkich” (KE 2018a). Dokument ten nie wprowadzał nowych polityk, nie zmieniał także celów ograniczania emisji przyjętych na 2030 r. Wyznaczono w nim natomiast kierunki dla polityki klimatycznej i energetycznej UE zmierzające do realizacji celów porozumienia paryskiego oraz celów zrównoważonego rozwoju ONZ. Zarysowane kierunki działania otwały debatę nad polityką klimatyczną UE, w tym zwłaszcza nad możliwościami osiągnięcia zerowej emisji gazów cieplarnianych netto do 2050 r. dzięki sprawiedliwej społecznie i racjonalnej kosztowo transformacji. W odniesieniu do rolnictwa podkreślono między innymi jego kluczową rolę w zapewnieniu niezbędnej ilości żywności, pasz i włókna na potrzeby rosnącej populacji ludzkiej oraz dostarczeniu do gospodarki niezbędnej ilości niskoemisyjnej biomasy. Oszacowano, że udział bioenergii w gospodarce zeroemisyjnej może wzrosnąć o 80% do 2050 r. Jednocześnie stwierdzono, że rolnictwo zawsze będzie źródłem emisji gazów cieplarnianych, takich jak metan i podtlenek azotu, ale dzięki stosowaniu efektywnych i zrównoważonych metod produkcji, do 2050 r. emisje te mogą zostać znacznie ograniczone.

W 2019 r. opublikowano raport wykazujący związki pomiędzy użytkowaniem gruntów a zmianami klimatu (IPCC 2019), według którego rolnictwo, leśnictwo i inne formy wykorzystywania gruntów na cele gospodarcze przyczyniają się globalnie do emisji 13% CO₂, 44% CH₄ oraz 82% N₂O, co odpowiada łącznie 23% całkowitej globalnej emisji gazów cieplarnianych. Jednocześnie wykazano, że pochłanianie tych gazów (głównie w leśnictwie) jest równoważne 29% całkowitej globalnej emisji CO₂. Biorąc pod uwagę aktywności przed- i poprodukcyjne globalnego

systemu żywnościowego, jego udział w globalnej emisji gazów cieplarnianych netto wynosi 21–37%. Raport sugeruje, że ograniczenie wzrostu temperatury do 1,5°C wymagać będzie ograniczenia emisji związanych z użytkowaniem gruntów i zmianami użytkowania, a także zwiększenia powierzchni obszarów zalesionych i zmniejszenia wylesiania.

3. EUROPEJSKI ZIELONY ŁĄD

Komisja Europejska sprecyzowała wytyczne dotyczące przeciwdziałania zmianom klimatu oraz degradacji środowiska w strategii Europejski Zielony Łąd (KE 2019). Jest to plan działań na rzecz rozwoju gospodarczego, który pomoże przekształcić Unię w nowoczesną, zasobniejszą i konkurencyjną gospodarkę, spełniającą następujące kryteria:

- osiągnięcie zerowego poziomu emisji gazów cieplarnianych netto w 2050 r.;
- oddzielenie wzrostu gospodarczego od zużywania zasobów;
- niepozostawienie w tych działaniach nikogo w tyle.

Europejski Zielony Łąd ma zapewnić poprawę zrównoważenia unijnej gospodarki poprzez przekucie wyzwań klimatycznych i środowiskowych w nowe możliwości we wszystkich obszarach polityki oraz zadbanie o to, aby transformacja była sprawiedliwa i sprzyjała włączeniu w nią społeczeństw. Zaplanowane w strategii działania mają umożliwić: bardziej efektywne wykorzystywanie zasobów dzięki przejściu na gospodarkę o obiegu zamkniętym, przeciwdziałanie utracie bioróżnorodności oraz zmniejszenie poziomu zanieczyszczeń. W dokumencie przedstawiono inwestycje, jakie będą potrzebne w tym celu oraz dostępne narzędzia ich finansowania. Wyjaśniono także, w jaki sposób dokonać transformacji gospodarki w sposób sprawiedliwy i sprzyjający włączeniu społeczeństw w ten proces.

Europejski Zielony Łąd obejmuje:

- działania na rzecz Europy bez zanieczyszczeń – powietrza, wody oraz rozwiązanie problemu zanieczyszczeń przemysłowych;
- przejście na gospodarkę cyrkulacyjną – poprzez przyjęcie nowego planu działania na rzecz gospodarki o obiegu zamkniętym;
- strategię „od pola do stołu” w sektorze rolno-spożywczym;
- Zieloną Wspólną Politykę Rolną – o wysokich ambicjach środowiskowych i klimatycznych;
- mechanizm sprawiedliwej transformacji (ang. *Just Transition*) – wsparcie finansowe dla regionalnych planów transformacji energetycznej;
- finansowanie transformacji – fundusze na zielone innowacje i inwestycje publiczne;
- wsparcie zaopatrzenia w czystą, przystępną cenowo i bezpieczną energię – ocenę ambicji państw członkowskich w przedstawionych przez nie krajowych planach w zakresie energii i klimatu;

- osiągnięcie neutralności klimatycznej – prawo klimatyczne;
- zapewnienie zrównoważonego transportu – przyjęcie strategii na rzecz zrównoważonej i inteligentnej mobilności, a także przegląd dyrektywy dotyczącej infrastruktury paliw alternatywnych i rozporządzenia w sprawie Transeuropejskiej Sieci Transportowej;
- ochrona europejskiego kapitału naturalnego – propozycja strategii UE na rzecz różnorodności biologicznej do 2030 r.

Unia Europejska, realizując Europejski Zielony Ład, chce stać się do 2050 r. kontynentem neutralnym dla klimatu. To zobowiązanie polityczne zostało uregulowane prawnie w Europejskim prawie o klimacie (KE 2020). Dokument podkreśla między innymi, że osiągnięcie neutralności klimatycznej wymaga zaangażowania wszystkich sektorów gospodarki oraz wspólnego dążenia wszystkich państw członkowskich, które powinny podjąć działania niezbędne do realizacji tego celu. Zobowiązuje on również państwa członkowskie do opracowania długoterminowych strategii narodowych określających, w jaki sposób planują osiągnąć redukcję emisji gazów cieplarnianych i wypełnić zobowiązania w ramach porozumienia paryskiego oraz celów klimatycznych UE.

Osiągnięcie neutralności klimatycznej wymagać będzie w UE i krajach członkowskich działań takich, jak (KE 2019):

- inwestycje w technologie przyjazne dla środowiska;
- wspieranie innowacji przemysłowych;
- wprowadzanie czystszych, tańszych i zdrowszych form transportu prywatnego i publicznego;
- obniżanie emisyjności sektora energii;
- zapewnianie większej efektywności energetycznej budynków;
- współpraca z partnerami międzynarodowymi w celu poprawy światowych norm środowiskowych.

Komisja Europejska chce zdobyć na realizację celów klimatycznych Europejskiego Zielonego Ładu 1 bln EUR, mobilizując kapitał prywatny oraz angażując Europejski Bank Inwestycyjny.

Przejście gospodarki na zasady określone w nowej strategii może w niektórych krajach członkowskich wymagać wsparcia finansowego i pomocy technicznej. Służyć ma temu mechanizm sprawiedliwej transformacji, dzięki któremu regiony najbardziej dotknięte skutkami przejścia na gospodarkę proekologiczną mają otrzymać 100 mld EUR w latach 2021–2027.

4. STRATEGIA „OD POLA DO STOŁU”

System rolno-spożywczy ma do odegrania istotną rolę w realizacji Europejskiego Zielonego Ładu (EC 2020a). Wskazuje na to, będąca jego elementem nowa strategia

„od pola do stołu”, stanowiąca niejako mapę drogową do osiągnięcia sprawiedliwego, zdrowego, zrównoważonego i przyjaznego dla środowiska systemu żywnościowego. Strategia obejmuje sześć głównych celów, które mają być realizowane w ramach i wspólnie z innymi celami strategicznymi Europejskiego Zielonego Ładu (EC 2020a, KE 2019), tj.:

- zmniejszenie śladu środowiskowego i klimatycznego unijnego systemu żywnościowego;
- wzmocnienie odporności sektora rolno-żywnościowego;
- zapewnienie bezpieczeństwa żywnościowego w obliczu zmian klimatu;
- ograniczenie utraty różnorodności biologicznej;
- bycie liderem globalnej transformacji w kierunku konkurencyjnej zrównoważoności od pola do stołu;
- tworzenie nowych możliwości.

Realizacja wymienionych celów ma zapewnić neutralny lub pozytywny wpływ na środowisko łańcucha żywnościowego (produkcji, transportu, dystrybucji, marketingu i konsumpcji żywności), bezpieczeństwo żywnościowe, czyli dostęp wszystkich ludzi do wystarczającej ilości pełnowartościowej i zrównoważonej żywności oraz zachowanie przystępności cenowej żywności przy sprawiedliwych zyskach w łańcuchu dostaw, tak aby żywność najbardziej zrównoważona stała się najbardziej przystępna cenowo. Dodatkowo realizowane będą takie działania, jak: promowanie zrównoważonej konsumpcji żywności, ułatwianie przejścia na zdrową i zrównoważoną dietę, przeciwdziałanie stratom i marnotrawstwu żywności oraz zwalczanie fałszowania żywności w łańcuchu jej dostaw.

W perspektywie do 2030 r. strategia przewiduje zmniejszenie o 50% stosowania pestycydów i ryzyka z nimi związanego, ograniczenie o 50% zużycia najbardziej niebezpiecznych pestycydów, zmniejszenie o 50% strat składników pokarmowych bez pogorszenia żyzności gleb, zmniejszenie zużycia nawozów o co najmniej 20%, zmniejszenie o 50% sprzedaży środków przeciwdrobnoustrojowych dla zwierząt i akwakultur, promowanie rozwoju rolnictwa ekologicznego w celu osiągnięcia 25% jego udziału w całkowitej powierzchni gruntów oraz obniżenie o 50% marnowania żywności w handlu i konsumpcji. Tworzone będą także warunki do przechodzenia obywateli UE na zdrową dietę. W tym celu żywność będzie obowiązkowo odpowiednio znakowana.

KE przeznaczy 10 mld euro, w ramach programu „Horyzont Europa”, na badania i innowacje związane z żywnością, biogospodarką, zasobami naturalnymi, rolnictwem, rybołówstwem, akwakulturą i środowiskiem. W okresie transformacji sektora rolnicy będą mogli korzystać z usług doradztwa w ramach WPR. Utworzona zostanie także sieć informacyjna o zrównoważeniu gospodarstw, która będzie stanowić instrumentalną pomoc dla rolników w okresie transformacji gospodarstw.

5. POWIĄZANIA MIĘDZY WSPÓLNĄ POLITYKĄ ROLNĄ A EUROPEJSKIM ZIELONYM ŁADEM

W 2018 r. KE przedstawiła wniosek ustawodawczy dotyczący WPR na lata 2021–2027. Położono w nim nacisk na uproszczenie i modernizację WPR, aby umożliwić lepszą reakcję na pojawiające się wyzwania gospodarcze, środowiskowe i społeczne, przed którymi stoi sektor rolny (KE 2018a). Nie wdając się w omawianie całego dokumentu, należy podkreślić, że zwiększono w nim poziom ambicji w zakresie ochrony środowiska i klimatu, w tym zwłaszcza przeciwdziałania zmianom klimatu, ochrony zasobów naturalnych, różnorodności biologicznej, siedlisk i krajobrazu. Tym samym wsparcie dochodów rolników będzie jeszcze bardziej uzależnione od stosowania praktyk rolniczych przyjaznych dla środowiska i klimatu. Działania rolników w tym zakresie będą obowiązkowe bądź też oparte na systemie zachęt. I tak:

- płatności bezpośrednie będą zależne od spełnienia surowszych wymogów w zakresie środowiska i klimatu;
- każde państwo członkowskie będzie musiało stworzyć ekoprogramy oferujące wsparcie dla rolników, których działania wykraczają poza obowiązkowe wymogi, co finansowane będzie z części krajowego przydziału płatności bezpośrednich;
- co najmniej 30% każdego krajowego przydziału środków na rozwój obszarów wiejskich ma zostać przeznaczone na działania środowiskowe i klimatyczne;
- 40% całkowitego budżetu WPR powinno być przeznaczone na realizację działań w dziedzinie klimatu;
- oprócz możliwości przesunięcia 15% środków między filarami państwa członkowskie będą miały możliwość przeniesienia dodatkowych 15% z filaru I do filaru II w celu sfinansowania działań klimatycznych i środowiskowych (bez współfinansowania krajowego).

Oczekuje się, że działania prowadzone przez kraje członkowskie w ramach WPR będą przyczyniać się do osiągnięcia celów nakreślonych w Europejskim Zielonym Ładzie. Oczekiwanie to wynika z faktu, że rozporządzenie o WPR zawiera zestaw wskaźników rezultatów, które są zgodne z celami EZŁ (tab. 1).

Realizacja celów EZŁ i WPR wymagać będzie prawidłowego i skutecznego monitorowania postępów w ich osiągnięciu, dobrej jakości danych oraz ich wymiany.

Tabela 1

Wskaźniki w Aneksie 1 rozporządzenia WPR powiązane z celami Europejskiego Zielonego Ładu (EC 2020b)

Cele Europejskiego Zielonego Ładu odnoszące się do sektora rolnego	Wskaźniki oddziaływania (wg Aneksu I) lub wskaźniki kontekstowe (wg prawodawstwa wtórnego)	Wyniki i wskaźniki rezultatu (wg Aneksu I)
Ograniczenie o 50% zużycia oraz ryzyka pestycydów do 2030 r. Ograniczenie o 50% zużycia bardziej niebezpiecznych pestycydów	I.27. Zrównoważone użytkowanie pestycydów: ograniczenie ryzyka i oddziaływania pestycydów	R.37. Zrównoważone użytkowanie pestycydów: udział gruntów rolnych objętych wsparciem prowadzącym do zrównoważonego stosowania pestycydów
Ograniczenie o 50% sprzedaży środków antydebrusujących dla zwierząt i akwakultury do 2030 r.	I.26. Ograniczenie stosowania antybiotyków w rolnictwie: sprzedaż/stosowanie w chowie zwierząt przeznaczonych na cele żywnościowe	R.36. Ograniczenie stosowania antybiotyków: udział jednostek zwierzęcych objętych wsparciem ograniczającym wykorzystywanie antybiotyków
Ograniczenie o 50% strat składników pokarmowych do 2030 r.	I.15. Poprawa jakości wód: bilans składników pokarmowych brutto na gruntach rolnych	R.21. Zrównoważone gospodarowanie składnikami: udział gruntów rolnych zobowiązanych do poprawy gospodarowania składnikami pokarmowymi
Osiągnięcie 25% udziału rolnictwa ekologicznego w stosunku do całkowitej powierzchni gruntów rolnych	C.32. Powierzchnia gruntów rolnych zajmowana przez rolnictwo ekologiczne	O.15. Powierzchnia (ha) ze wsparciem dla rolnictwa ekologicznego
Ukończenie budowy szybkiego szerokopasmowego Internetu na obszarach wiejskich		R.34. Łączenie obszarów wiejskich w Europie: udział ludności wiejskiej korzystającej z lepszego dostępu do usług i infrastruktury dzięki wsparciu w ramach WPR
Zwiększanie obszarów o różnorodności biologicznej, w tym terenów rolniczych o wysokiej różnorodności cech krajobrazu	I.20. Zwiększenie świadczenia usług ekosystemowych: udział powierzchni użytków rolnych z walorami krajobrazu	R.29. Ochrona cech krajobrazu: udział gruntów rolnych objętych zobowiązaniami do zarządzania cechami krajobrazu, w tym żywopłotami

6. EUROPEJSKI ZIELONY ŁAD A OGRANICZENIE EMISJI GAZÓW CIEPLARNIANYCH W ROLNICTWIE

Osiągnięcie neutralności klimatycznej wymaga działań ograniczających emisje we wszystkich sektorach gospodarki, w tym w rolnictwie i gospodarce żywnościowej.

Rolnictwo jest głównym sprawcą emisji gazów nie- CO_2 (metan i podtlenek azotu), które wraz z gazami fluorowanymi stanowią 20% całkowitej unijnej emisji gazów cieplarnianych (EC 2020c). Emisja tych gazów może być efektywnie zredukowana nawet o 30% w stosunku do 2015 r. (EC 2020c). Dodatkową ich redukcję najtaniej można osiągnąć w sektorze energetycznym, poprzez unikanie emisji metanu pochodzącego z produkcji i transportu ropy naftowej, gazu ziemnego i węgla.

Prognozuje się, że emisje rolnicze gazów nie- CO_2 w najlepszym razie będą powoli spadać do 2030 r. (EC 2020c). Nie da się ich w rolnictwie w pełni wyeliminować, ale mogą być do pewnego stopnia ograniczane. Efektywne wykorzystanie nawozów, upowszechnienie rolnictwa precyzyjnego, dbanie o zdrowie zwierząt gospodarskich, upowszechnienie biogazowni oraz waloryzacja odpadów organicznych to działania pomagające skutecznie ograniczać emisje tych gazów. Alternatywnym rozwiązaniem może być szerokie upowszechnienie zrównoważonej produkcji skorupiaków i glonów, co stwarzałoby szansę produkcji białka przy niskim poziomie emisji gazów cieplarnianych. Ponadto produkcja na gruntach rolnych wieloletnich roślin na potrzeby różnych sektorów gospodarki może przyczynić się do ich dekarbonizacji.

Z omówionej regulacji wynika, że rolnictwo, leśnictwo oraz LULUCEF (użytkowanie gruntów, zmiany użytkowania gruntów) nie będą miały wyznaczonego precyzyjnie celu ograniczenia emisji do 2030 r.

7. PODSUMOWANIE

Europejski Zielony Ład uznawany jest za najbardziej kompleksowy program budowania zielonej przyszłości w UE. Równie przełomowe znaczenie może mieć dla sektora rolno-spożywczego realizacja jego części nazwanej strategią „od pola do stołu”. Ta ostatnia nakreśla cele, które mają być osiągnięte do 2030 r. Ich realizacja wymaga dalekoidących zmian strukturalnych i funkcjonalnych całego sektora. Jest to wyzwanie, które może głęboko zmienić nie tylko wieś, rolnictwo, przemysł rolno-spożywczy, ale także zachowania i preferencje konsumentów żywności.

8. LITERATURA

1. European Commission (EC) 2020a. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. A Farm to Fork Strategy for a fair, healthy and environmentally-friendly food system. Brussels, 20.5.2020, COM(2020) 381 final.
2. European Commission (EC) 2020b. Commission Staff Working Document. Analysis of links between CAP Reform and Green Deal. Brussels, 20.5.2020 SWD(2020) 93 final.
3. European Commission (EC) 2020c. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Stepping up Europe's 2030 climate ambition. Investing in a climate-neutral future for the benefit of our people. Brussels, 17.9.2020 COM(2020) 562 final.
4. European Environment Agency (EEA) 2015. Trends and projections in Europe 2015 — Tracking progress towards Europe's climate and energy targets - 20 October 2015; <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/trends-and-projections-in-europe-2015>
5. IPCC 2018. Global Warming of 1.5°C; <https://www.ipcc.ch/sr15/>
6. IPCC 2019. Climate Change and Land. An IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems.
7. Komisja Europejska (KE) 2018a. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Rady Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego, Komitetu Regionów i Europejskiego Banku Inwestycyjnego. Czysta planeta dla wszystkich. Europejska długoterminowa wizja strategiczna dobrze prosperującej, nowoczesnej, konkurencyjnej i neutralnej dla klimatu gospodarki. COM(2018) 773 final.
8. Komisja Europejska (KE) 2018b. Budżet UE: WPR po 2020 r. Modernizacja i uproszczenie Wspólnej Polityki Rolnej. Czerwiec, 2018.
9. Komisja Europejska (KE) 2019. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Rady, Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Europejski Zielony Ład. COM(2019) 640 final.
10. Komisja Europejska (KE) 2020. Wniosek. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady ustanawiające ramy na potrzeby osiągnięcia neutralności klimatycznej i zmieniające rozporządzenie (UE) 2018/1999 (Europejskie prawo o klimacie), COM(2020) 80 final.
11. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) 2015. Paris Agreement, UNFCCC; https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf



Robert Borek

**IV. ROLNICTWO W ZRÓWNOWAŻONEJ
BIOGOSPODARCE
WYZWANIA I ROZWIĄZANIA**

Zakład Biogospodarki i Agrometeorologii
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa
Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. (0-81) 4786763
e-mail: Robert.Borek@iung.pulawy.pl

1. WSTĘP

Koncepcja biogospodarki Unii Europejskiej (UE) oznacza opartą na wiedzy, zrównoważoną i ekologiczną transformację odnawialnych zasobów biologicznych (zwierzęta, rośliny, mikroorganizmy i pochodząca od nich biomasa, w tym odpady organiczne) wykorzystywanych do produkcji żywności, paszy, bioproduktów i energii oraz świadczenia usług. Opiera się na wykorzystaniu odnawialnych źródeł energii i poprawie wykorzystania zasobów. Biogospodarka jest postrzegana jako droga do osiągnięcia celów zrównoważonego rozwoju opracowanych przez ONZ w 2015 r. oraz celów porozumienia paryskiego z zobowiązaniem UE do redukcji emisji gazów cieplarnianych przynajmniej o 55% do 2030 r. w stosunku do 1990 r. Niesłuszne jest jednak założenie, że biogospodarka sama w sobie jest zrównoważona. Wypełnienie celów zrównoważenia zachodzi tylko pod pewnymi warunkami (Pfau i in. 2014, Priefer i in. 2017). Niewłaściwe wdrażanie zasad biogospodarki oraz brak koordynacji działań może prowadzić do naruszenia kruchej równowagi bezpieczeństwa finansowego, degradacji środowiska czy nierówności społecznych. Rolnictwo, jako sektor szczególnie podatny na zmiany środowiskowe, ekonomiczno-społeczne i – obok leśnictwa – jeden z filarów biogospodarki, powinno być głównym odbiorcą wsparcia ukierunkowanego na zrównoważony rozwój. Celem tego rozdziału jest analiza wyzwań stojących przed biogospodarką oraz możliwości rozwoju rolnictwa w kontekście potrzeb zrównoważonej i sprawiedliwej gospodarki.

2. CZY BIOGOSPODARKA JEST ZRÓWNOWAŻONA?

Wzrost liczby ludności, postępująca urbanizacja, wzrost poziomu dobrobytu ludzi i konsumpcji produktów mięsnych oraz zmiany klimatyczno-środowiskowe wywierają coraz silniejszą presję na podaż żywności (Pretty 2008, FAO 2009, Godfray i Garnett 2017). Na tym tle uprawa roślin nieżywnościowych do produkcji biopaliw zarówno pierwszej, jak i drugiej generacji niesie za sobą ryzyko konkurencji z roślinami żywnościowymi i paszowymi o zasoby ziemi, wody czy fosforu, prowadzi też do wzrostu cen żywności (Gerbens-Leenes i in. 2009, Raghu i in. 2011, Sheppard i in. 2011, Bringezu i in. 2012, Rosengrant i in. 2013). Pośrednia zmiana użytkowania gruntów na plantacje biopaliw może skutkować zwiększeniem emisji gazów cieplarnianych (Valin in. 2015). Dodatkowa emisja z procesów przetwarzania biomasy również może być wartością pozytywną w porównaniu z emisją ze źródeł nieodnawialnych (Templer i van der Wielen 2011). Natomiast wykorzystywanie roślin żywnościowych do jednoczesnej produkcji biopaliw i bioproduktów oraz żywności może prowadzić do zubożenia zasobów węgla organicznego pochodzących z resztek pożywnych (Monforti i in. 2015). Produkcja roślin energetycznych na glebach marginalnych lub zdegradowanych pozwala znacząco zwiększyć potencjał surowca do produkcji bioenergii i bioproduktów bez szkody dla produkcji żywności, jednak może mieć też negatywny wpływ na dostępność naturalnych zasobów środowiska,

ograniczając akumulację węgla w glebie, żyzność gleby, dostępność wody, genetyczną i funkcjonalną bioróżnorodność, pogarszając jakość wody, naturalną regulację szkodników czy funkcję ochrony przed powodzią i suszą (Zhang i in. 2007, Raghu i in. 2011, Bommarco i in. 2013). Pozyskanie i efektywność wykorzystania biomasy z roślin uprawnych, produktów ubocznych i odpadów mogą być niewystarczające dla zaspokojenia popytu na surowce w sektorze biogospodarki, zagrażając podaży żywności i pasz oraz nasilając konkurencję z zasobami pracy i kapitału sektora żywnościowego oraz z zasobami naturalnymi (Sanders i Bos 2013, Carus i in. 2016, Muscat i in. 2020). Do kluczowych czynników kształtujących rynek biomasy należy zaliczyć stabilność polityczną w krajach producenckich, poziom cen na rynku globalnym oraz potencjalny wpływ pandemii COVID-19, zmian klimatu i katastrof klimatycznych. Jednym z celów instrumentów politycznych wspierających rozwój biogospodarki jest podnoszenie poziomu produktywności i efektywności zasobów biologicznych – plonów roślin i wydajności w produkcji zwierzęcej. Istotną rolę odgrywa genetyczna modyfikacja roślin, która – pomimo wielu korzyści ekonomicznych i środowiskowych – jest krytykowana za ryzyko inwazyjności, transferu genów do dziko żyjących populacji rodzimych gatunków, obecności toksycznych substancji w paszy i żywności, możliwość pojawienia się alergii na nowe metabolity roślinne oraz zagrożenie nowymi szkodnikami (Sheppard i in. 2011). Zrównoważona intensyfikacja rolnictwa, ukierunkowana na techniczno-biologiczną optymalizację produkcji, marginalizuje wymiar społeczny zrównoważenia – zwłaszcza równość, sprawiedliwość, uczciwość, partycypację. Rolnicy, w szczególności właściciele małych rodzinnych gospodarstw dominujących w Polsce, mają ograniczony wpływ na strukturę łańcuchów bioproduktów i żywności. Udział konsumentów w kształtowaniu wizji zrównoważonego rozwoju jest niewystarczający. Wynika on głównie z niskiej akceptacji społecznej biogospodarki oraz odmiennych oczekiwań konsumentów. Podczas gdy „bioprzemysł” jest zainteresowany tanim pozyskaniem z rolnictwa dużych ilości surowca nieżywnościowego o jednolitych parametrach fizyczno-chemicznych, konsumenci koncentrują się na dostępie do przystępnej cenowo żywności, z tendencją do zakupu odżywczych i wysokojakościowych produktów.

Różnice w rozumieniu koncepcji biogospodarki przez przedstawicieli różnych sektorów i środowisk doprowadziły do sformułowania odmiennych wizji jej rozwoju. Wyobrażenia biogospodarki wahają się od modelu ściśle powiązanego z rozwojem biotechnologii do paradygmatu zrównoważonego zarządzania zasobami naturalnymi będącego podstawą podejmowania decyzji. Bugge i in. (2016) wyróżnili trzy wizje rozwoju biogospodarki (tab. 1). Pierwsza z nich – **wizja biotechnologiczna**, podkreśla znaczenie badań, wdrożeń i komercjalizacji w dziedzinie biotechnologii. Zwolennicy tej wizji uważają, że postęp naukowy i technologiczny rozwiąże deficyt zasobów i powstawanie odpadów. Podstawą biogospodarki będą nowoczesne centra przemysłowe skupiające wokół siebie sieć mniejszych podmiotów oraz dostawców biomasy. Druga wizja – **wizja bio-zasobów**, opierać się będzie na dostępności za-

sobów naturalnych na potrzeby ekonomicznego wzrostu. Ważną częścią tej koncepcji jest kaskadowe wykorzystanie biomasy i zawracanie produktów odpadowych do obiegu naturalnego. Koncepcja bierze pod uwagę szerszą współpracę z interesariuszami w tworzeniu innowacji, w tym z konsumentami. Ostatnia wizja – **wizja bio-ekologii** (później nazywana **agroekologiczną**) – koncentruje się na zrównoważeniu. Podkreśla znaczenie bioróżnorodności i usług ekosystemowych dla rozwoju gospodarki. Podstawą zrównoważonej produkcji jest utrzymywanie ekologicznych zależności pomiędzy elementami systemu oraz projektowanie systemów rolniczych ukierunkowanych na minimalizację nakładów materiałowych i energetycznych oraz zanieczyszczeń i odpadów. Proces przekształcenia gospodarki powinien się odbywać z udziałem wszystkich zainteresowanych stron, w tym rolników i konsumentów, a jego efektem powinna być transformacja do lokalnych systemów wytwarzających produkty o wysokiej wartości dodanej. Każda z powyższych wizji ma swoje własne cele, metodę rozwoju i instytucje wspierające oraz interesariuszy.

Tabela 1
Charakterystyka wizji rozwoju biogospodarki (Bugge i in. 2016; zmodyfikowane)

	Wizja biotechnologiczna	Wizja biozasobów	Wizja bioekologii/ agroekologii
Cele	wzrost gospodarczy i tworzenie nowych miejsc pracy	wzrost gospodarczy i zrównoważenie	zrównoważenie, bioróżnorodność, zachowanie ekosystemów, zapobieganie degradacji gleby
Tworzona wartość	zastosowanie biotechnologii, komercjalizacja badań i technologii	przetwarzanie zasobów i podniesienie ich wartości	rozwój zintegrowanych systemów produkcji oraz wysokojakościowych produktów regionalnych
Czynniki rozwoju	prace badawczo-rozwojowe, patenty, transfer technologii, programy badawcze i sponsorzy (wsparcie liniowych modeli badań i wzrostu)	badania interdyscyplinarne, optymalizacja wykorzystania gruntów (w tym grunty marginalne do produkcji biopaliw), dostępność i przystępność zasobów biologicznych, zagospodarowanie odpadów, inżynieria, nauka i rynek (produkcja oparta na współpracy międzysektorowej z udziałem interesariuszy)	identyfikacja dobrych praktyk agroekologicznych, etyka, ograniczanie ryzyka, praca transdyscyplinarna, wykorzystywanie ekologicznych interakcji, ponowne wykorzystanie materiałów i recykling odpadów, efektywność wykorzystania gruntu (produkcja o obiegu zamkniętym i dążąca do samowystarczalności)
Skala przestrzenna rynku	globalne klastry/regiony innowacji	obszary wiejskie/peryferyjne	obszary wiejskie/peryferyjne

W świetle krajowych i regionalnych strategii rozwoju biogospodarki dotychczas przeważały koncepcje oparte na dominacji rozwoju przemysłu biotechnologicznego i liniowego wzrostu ekonomicznego (Hausknost i in. 2017). Wielu ekspertów zgadza się w opinii, że rozwiązania koncentrujące się na poprawie wydajności wykorzystania zasobów i udoskonalaniu procesu przetwórstwa produktów są niewystarczające, aby zapewnić wystarczającą ilość żywności. Kluczowa jest promocja świadomych wzorców przyjaznej środowiskowo konsumpcji oraz dążenie do samowystarczalności żywnościowej (Priefer i in. 2017). Wysiłki Komisji Europejskiej, aby włączyć w proces konstrukcji unijnej strategii biogospodarki interesariuszy różnych środowisk, zaczęły w pewnym stopniu zmieniać ten obraz. Kamieniem milowym dla przełamania narracji elit biznesowych był proces konsultacji koncepcji biogospodarki UE, który zaowocował opublikowaniem manifestu interesariuszy w 2016 r. (FBSC 2016). Kolejnym krokiem UE była aktualizacja strategii biogospodarki w 2018 r., koncentrująca się w większym stopniu niż dotychczas na zrównoważonych systemach żywnościowych i gospodarce sprzyjającej włączeniu społecznemu na obszarach wiejskich. Ocena postępów rozwoju biogospodarki w UE, przeprowadzona w 2022 r. (KE 2022), wskazała na rosnące powiązania tego sektora z polityką rolną i leśną oraz poprawę we wdrażaniu strategii na poziomach krajowych, jednak zidentyfikowała również liczne wyzwania związane ze zrównoważonym wykorzystaniem biomasy, integracją sektorów, rozwojem innowacji oraz brakiem spójnych danych i koordynacji między państwami członkowskimi. Krytycy liniowego podejścia do biogospodarki sygnalizują kontrastujące ze sobą postawy grup społecznych, różnie postrzegające sposób wykorzystania biomasy na cele bioenergii i bioplastiku (Fleishman i in. 2024).

3. GOSPODARKA O OBIEGU ZAMKNIĘTYM

Poprawa wydajności wykorzystania zasobów w biogospodarce może zostać dokonana poprzez kaskadowe wykorzystanie biomasy, w myśl koncepcji gospodarki o obiegu zamkniętym (ang. *Circular economy*), oznaczające wykorzystanie biomasy więcej niż jeden raz – najpierw do bioproduktów o wyższej wartości ekonomicznej, następnie do produktów materiałowych o niższej wartości, aż do ostatecznego spalania. Kaskadowe podejście może również stymulować bezpośrednie spalanie biomasy, która nie jest kwalifikowana jako odpad oraz rodzi liczne problemy natury logistycznej, inwestycyjnej i jakościowej dla produktów pochodzących z recyklingu (Keegan i in. 2013).

Gospodarka o obiegu zamkniętym jest z reguły definiowana jako „model produkcji i konsumpcji, który polega na dzieleniu się, pożyczaniu, ponownym użyciu, naprawie, odnawianiu i recyklingu istniejących materiałów i produktów tak długo, jak to możliwe. W ten sposób wydłuża się cykl życia produktów”¹. Auto-

¹<https://www.europarl.europa.eu/news/pl/headlines/economy/20151201STO05603/gospodarka-o-obiegu-zamknietym-definicja-znaczenie-i-korzystysci-wideo>

rzy przeglądowego artykułu na temat gospodarki o obiegu zamkniętym (Korhonen i in. 2018), przedstawiając własną definicję, zwracają uwagę na fakt, że zrównoważona gospodarka obiegu zamkniętego ogranicza przepływ materii do poziomu tolerowanego przez naturę oraz korzysta z naturalnych cykli biogeochemicznych dla zabezpieczenia zasobów materii, energii i składników odżywczych w celu ich gospodarczego wykorzystania. Dwutlenek węgla wyemitowany w procesie produkcji powraca do natury związany w biomase roślin w wyniku fotosyntezy, składniki odżywcze zostają odzyskane z odpadów/ścieków i wracają do gleby, zasilając wzrost biomasy itp. Kilkukrotne przerabianie biomasy pozwala na dłuższe wykorzystywanie materii do celów gospodarczych. W idealnym scenariuszu przyszłej zrównoważonej biogospodarki mamy również do czynienia z tzw. ekonomią dzielenia się – współdzieloną konsumpcją, opartą na kooperatywnych i obywatelskich postawach. Z drugiej strony Korhonen i in. (2018) zidentyfikowali sześć wyzwań i ograniczeń rozwoju zrównoważonej gospodarki o obiegu zamkniętym (tab. 2).

Tabela 2

Wyzwania i ograniczenia koncepcji gospodarki o obiegu zamkniętym
(Korhonen i in. 2018; zmodyfikowane)

Ograniczenia termodynamiki
system obiegu zamkniętego konsumuje zasoby oraz wytwarza odpady i zanieczyszczenia
Ograniczenia granic systemu
ograniczenia przestrzenne: problemy są przenoszone w cyklu życia produktu
ograniczenia czasowe: krótkotrwałe stosowanie zasobów kopalnych może być wykorzystane w produkcji infrastruktury odnawialnej
Ograniczenia nakładane przez fizyczną skalę gospodarki
efekt odbicia, paradoks Jevonsa, efekt bumerangu
Ograniczenia nakładane przez zależność od ścieżki rozwoju oraz efekt uzależnienia
technologie pojawiające się jako pierwsze utrzymują swoją pozycję rynkową pomimo niskiej wydajności
Ograniczenia w administracji i zarządzaniu
wewnątrzorganizacyjne i wewnątrzsektorowe systemy zarządzania przepływami materii i energii pomiędzy firmami i sektorami
Ograniczenia społeczne i kulturalne
kategoryzacja prawna odpadów ma silny wpływ na zasady postępowania z nimi, gospodarowanie i utylizację
zagospodarowanie odpadów jest uwarunkowane społecznie i kulturowo
klasyfikacja odpadów zależy od kontekstu społecznego, kulturowego i czasowego i zmienia się dynamicznie

Zamknięty obieg materii podlega prawom fizyki. Zgodnie z drugą zasadą termodynamiki entropia (nieuporządkowanie) rośnie w każdym układzie, czyli z czasem każdy układ staje się coraz bardziej nieuporządkowany. Georgescu-Roegen (1971) zwrócił uwagę, że recykling produktu zawsze będzie wymagał energii i zawsze będzie niepełny, produkując odpady i produkty uboczne wyrażające wzrost nieuporządkowania układu. Materia jest tracona w formie rozproszonej, której nie da się przywrócić do obiegu, a sam proces jej odzysku jest bardzo kosztowny energetycznie. Każda dodatkowa pętla obiegu zwiększa straty materii i energii, prowadząc również do pogorszenia jakości materiału (Cullen 2017). Kompletny recykling nie jest więc możliwy, tak jak nie jest możliwe *perpetuum mobile*. Chociaż część badaczy i ekspertów uważa, że domknięcie obiegu jest wykonalne, np. poprzez pełne zawrócenie składników odżywczych do biosfery lub pochłonięcie wyemitowanego dwutlenku węgla przez biomasę roślin. Staje się zatem jasne, że w obecnym globalnym liniowym modelu przepływu materii natura – ekonomia – natura zrównoważenie całej planety będzie wymagać radykalnych decyzji, o ile jest w ogóle realne.

Ocenia się, że gospodarka w skali globalnej korzysta obecnie w przybliżeniu z 75% energii produkowanej z paliw kopalnych. Dotychczasowe projekty pilotażowe gospodarki o obiegu zamkniętym mają charakter lokalny lub regionalny i w dużym stopniu korzystają z materiałów wytworzonych na bazie energii nieodnawialnej, np. maszyn, urządzeń, minerałów i substancji chemicznych używanych do produkcji fotoogniw itp. Globalny handel utrudnia ocenę środowiskowego wpływu łańcucha produkcji. Rozwój biogospodarki wymaga też budowy infrastruktury transportowej, głównie dróg do transportu wielokrotnie przetwarzanych materiałów. Nie jesteśmy w stanie przewidzieć całkowitego wpływu środowiskowego, gdyż relacje materiałów i energii są kompleksowe oraz zmieniają się w czasie. Trwałe środowiskowe korzyści inwestycji w innowacyjne rozwiązania technologiczne są trudne do osiągnięcia z uwagi na szybkość procesu innowacyjnego i konieczność zastępowania poprzednich innowacji nowymi.

Wzrost ekonomicznej wydajności oraz efektywności wykorzystania zasobów w biogospodarce wiąże się z ogólnym wzrostem zużycia surowców. Przy wzroście efektywności produkcji spadają koszty zakupu surowców, co z kolei obniża cenę końcowego produktu. Niższa oferta sprzedaży napędza konsumpcję, a zwiększony popyt powoduje zwiększenie wolumenu produkcji z jednoczesnym wzrostem zużycia surowców z zasobów naturalnych. Kontekst tego zjawiska jest opisywany w literaturze ekonomicznej jako „efekt odbicia” lub „paradoks Jevensa”. Zjawiskiem występującym w warunkach działania globalnej gospodarki jest również „efekt bumerangu”. Mayer i in. (2005) podają przykład wprowadzania przez kraj rozwinięty instrumentów prawnych wspierających zrównoważone wykorzystanie zasobów naturalnych i ochronę przyrody, co powoduje zwiększenie zapotrzebowania na chronione surowce (np. drewno). Wprowadzone restrykcje paradoksalnie mogą prowadzić do wzrostu importu surowców z krajów biedniejszych, rozwijających się, które takich regulacji ochronnych nie posiadają i do pogorszenia bioróżnorodności na ich

terenie. W efekcie kraj rozwinięty nie spełni swoich założonych celów środowiskowych. Podsumowując, opisany powyżej efekt skali globalnej gospodarki wskazuje na potrzebę budowy lokalnych, samowystarczalnych rozwiązań oraz wspieranie zrównoważonych trendów konsumpcyjnych.

Na wzrost poziomu innowacyjności biogospodarki i związanych z nią sektorów wpływają znacząco strategie rynkowe przedsiębiorstw. O wzroście sukcesu określonego rozwiązania często przesądza przewaga zdobyta na początkowym rozwoju danej gałęzi produkcji. Jest to związane z koncepcją tzw. zależności ścieżkowej (Mieleszko 2020). W dużym skrócie można powiedzieć, że innowacje pojawiające się jako pierwsze na rynku są łatwiej przyjmowane niż te, które wchodzą na rynek po nich. W gospodarce obiegu zamkniętego preferowane są technologie i rozwiązania wielokrotnie wykorzystujące wartość bioproduktów w cyklu kaskady, a dopiero na końcu spalające niewykorzystany materiał. Ma to w założeniu ograniczyć wykorzystanie zasobów naturalnych. Jednak firmy, które będą chciały włączyć się w model biogospodarki i zużywać biomasę, będą prawdopodobnie zainteresowane pozostaniem przy dotychczasowej technologii opartej na paliwach kopalnych lub jedynie wytwarzaniu bioenergii. W efekcie zwiększyć się może zużycie zasobów zarówno odnawialnych, jak i nieodnawialnych.

Ograniczeniem rozwoju gospodarki o cyklu zamkniętym jest również jej kompleksowość, wymagająca ścisłej współpracy uczestników łańcucha produktów i odpadów oraz reprezentantów różnych sektorów. Opracowanie zrównoważonej struktury przepływów materii wymaga określenia zakresu odpowiedzialności, ról, budżetu i stopnia kontroli procesu na poziomie wszystkich partnerów. Wymaga również zrewidowania strategii przedsiębiorstwa przetwarzającego bioprodukty i zmiany podejścia z ukierunkowanego na jak największe pozyskanie surowców odpadowych, maksymalizację produkcji i zysku na zrównoważone zarządzanie odpadami oraz maksymalizację wartości dodanej produktów.

Problem gospodarki produktami ubocznymi i odpadami stwarzają również odmienne regulacje i pojęcia prawne państw i regionów zaangażowanych w globalny i europejski rynek biogospodarki, a także niekompletna statystyczna informacja w zakresie wytwarzania poszczególnych kategorii odpadów. Definicje odpadów i produktów ubocznych są uwarunkowane w dużej mierze gospodarczą, środowiskową, społeczną i kulturową specyfiką regionu.

Na tle powyższych wyzwań gospodarki o obiegu zamkniętym prowadzone są obecnie liczne analizy dostarczające opcji strategicznych, alternatywnych do obecnie wdrażanych przez UE, które koncentrują się wokół technocentrycznej narracji. Rekomendacje obejmują bardziej spójną mobilizację zasobów na rzecz gospodarki obieguowej, wsparcie przedsiębiorczości instytucjonalnej, wspieranie współpracy na każdym poziomie, wprowadzanie taryf, ulg i regulacji w produkcji dóbr w kaskadowych procesach oraz działania edukacyjne podnoszące świadomość środowiskową i aktywizację obywateli do oddolnych działań (del Mar Alonso-Almeida i in. 2021). Zalecają również wsparcie opieki społecznej, osób wykluczonych oraz sprawiedli-

wy handel i transfer wiedzy do krajów Globalnego Południa. W kontekście rolnictwa postulują, aby Wspólna Polityka Rolna dofinansowywała jedynie rolników dostarczających społeczne i ekologiczne usługi. Rekomendują rolnictwo regeneratywne i agroekologię jako sposób na złagodzenie zmian klimatu i adaptację do nich (Friant i in. 2021).

4. W KIERUNKU ZRÓWNOWAŻONEJ BIOGOSPODARKI O OBIEGU ZAMKNIĘTYM

Krytyczne opinie ekspertów w kwestii zrównoważenia biogospodarki i gospodarki obieguowej doprowadziły z biegiem czasu do wprowadzenia pewnych zmian w strategiach UE. W aktualizacji strategii biogospodarki 2012 z 2018 r. położono większy nacisk na realizację celów zrównoważonego rozwoju, a zrównoważona biogospodarka jest ujmowana jako odnawialny element gospodarki o obiegu zamkniętym (KE 2018a). Wciąż na pierwszym miejscu jest stawiany cel zapewnienia bezpieczeństwa żywnościowego i żywieniowego. Proponuje się wzmocnienie działań na rzecz adaptacji do zmian klimatu oraz przywrócenia funkcji ekosystemów. Strategia Komisji Europejskiej coraz wyraźniej łączy idee biogospodarki i gospodarki obiegu zamkniętego w jeden schemat, chociaż projekt przejścia UE na gospodarkę o obiegu zamkniętym z 2020 r. jest oddzielnym planem działań (KE 2020a) uwzględniającym, między innymi poprawę dystrybucji i konsumpcji żywności, ponowne wykorzystanie wody w rolnictwie oraz plan zintegrowanej gospodarki składnikami odżywczymi.

Aby zapewnić realizację zapisanych celów rozwoju biogospodarki, Plan Działań Strategii Biogospodarki (KE 2018b) prezentuje zestaw ukierunkowanych aktywności obejmujący wszystkie sektory gospodarki z nią powiązane. Działania w kontekście rolnictwa i produkcji żywności obejmują opracowanie i promocję szeregu instrumentów, takich jak:

- standardy i reguły zielonych zamówień publicznych w zakresie odżywczej i bezpiecznej środowiskowo żywności i bioproduktów na bazie etykietowania śladu środowiskowego produktu;
- identyfikacja oraz wsparcie innowacji i dobrych praktyk ograniczających straty, marnowanie żywności, zwiększających efektywność wykorzystania zasobów oraz wzrost dochodów producentów i przetwórców;
- działania edukacyjne i rozwojowe w ramach krajowych planów Wspólnej Polityki Rolnej;
- działania pilotażowe na rzecz tzw. rolnictwa węglowego umożliwiające sprzedaż przez rolników kredytów węglowych (program LIFE);
- zakładanie tzw. żywych laboratoriów (ang. *living lab*) w gospodarstwach. Jest to forma wsparcia szczególnie interesująca i skuteczna dla rozwoju biogospodarki na obszarach wiejskich. „Żywe laboratorium” oznacza kreowanie innowacyjnych rozwiązań technicznych, organizacyjnych lub marketingowych

przy zaangażowaniu użytkowników (w tym przypadku rolników/przetwórców) w każdy proces rozwoju idei, to jest tworzenie prototypu, jego testowanie i walidację. Taki model innowacji umożliwia dostosowanie procesu do lokalnych uwarunkowań, poprawia oszczędność gospodarowania lokalnymi zasobami oraz ogranicza powstawanie odpadów. Wadą rozwiązania jest konieczność pokonania barier administracyjnych, ekonomicznych i społeczno-psychologicznych, które zwykle blokują rozwój inwestycji. Niezbędne jest również pozyskanie odpowiednich środków finansowych na ten cel (instrument inwestycyjny PROW, utworzenie grupy operacyjnej EPI, partnerstwo gospodarstwa w projekcie aplikacyjnym lub badawczo-rozwojowym, np. Horyzont 2020).

Kolejnym zestawem działań na rzecz promocji zrównoważonej biogospodarki jest budowa unijnej bazy wiedzy o biogospodarce zawierającej informacje o stanie i odporności ekosystemów, ze szczególnym uwzględnieniem bioróżnorodności oraz zasobów biomasy. Celem strategii ma również służyć system monitoringu zasobów. Zgromadzona wiedza pozwoli na opracowanie odpowiednich zaleceń rozwoju zrównoważonej biogospodarki. Zostaną również opracowane dobre praktyki poprawiające bioróżnorodność terenów rolnych poprzez działalność w trzech obszarach: 1) rozwiązania oparte na mikrobiomach; 2) działania promujące bioróżnorodność w kontekście agroekologii oraz 3) monitoring liczebności zapylaczy i stanu usługi zapylania.

Skuteczność wsparcia producentów w zakresie wszystkich aktywności określonych przez wyżej wymieniony plan działania UE zależy w głównej mierze od krajowych uregulowań i dostępności środków finansowych przeznaczonych na ten cel przez państwo członkowskie. Funkcję wspomagającą w realizacji działań pełnią jednostki powołane przez Komisję Europejską w celu ułatwienia współpracy pomiędzy przedsiębiorstwami, producentami, ośrodkami badawczymi i edukacyjnymi oraz organami administracji publicznej. Wiodącą rolę w promocji innowacyjności pełnią Wspólnoty Wiedzy i Innowacji tworzone w ramach Europejskiego Instytutu Innowacji i Technologii (EIT). Wspólnota w obszarze żywności (EIT-FOOD) ma za zadanie podnosić innowacyjność sektora rolno-spożywczego. Ważnym elementem wsparcia innowacyjności w UE jest sieć Europejskiego Partnerstwa Innowacyjnego na rzecz wydajnego i zrównoważonego rolnictwa (EIP-AGRI) łącząca praktyków i ekspertów związanych z rolnictwem oraz konsumentów, w celu wymiany wiedzy, opracowania i wdrażania nowatorskich rozwiązań. Platforma Europejskiej Technologii „Żywność dla życia” (ang. *Food for Life*) wspomaga współpracę partnerów w kierunku bardziej efektywnej i ukierunkowanej na konsumenta innowacji w sektorze żywnościowym.

Należy podkreślić, że wzrost ekonomiczny jest silnie ograniczony dostępnością zasobów produkcyjnych. Zapewnienie ładu społecznego i rozwoju lokalnego wymaga utrzymania bezpieczeństwa żywnościowego i żywieniowego, co okazuje się dużym wyzwaniem dla gospodarki, której poszczególne sektory, w tym sektor rol-

niczy, konkurują między sobą o te zasoby. Biorąc pod uwagę problemy wydajności gospodarki obiegowej wspomniane we wcześniejszym rozdziale, spełnienie celów zrównoważenia przez biogospodarkę jest nierealne w obecnym modelu społeczno-ekonomicznym. Scenariusz działań opracowany w ramach strategii biogospodarki pozwala na przełamanie wielu z barier, jednak jeśli nie zatrzymamy obecnego modelu liniowego wzrostu gospodarki, powiązanego ze wzrastającym zużyciem zasobów, nawet przedstawione ambitne strategie nie będą mogły być urzeczywistnione. Eksperci ostrzegają, że potrzebna jest radykalna zmiana modelu gospodarczego, w oderwaniu od uzależnienia od surowców naturalnych. Transformacja w kierunku zrównoważonego modelu wymaga uwzględnienia szeregu kompromisów i synergii, wymagających pełnego społecznego zaangażowania w ten proces. Wdrożenie zrównoważonej i transformacyjnej biogospodarki o obiegu zamkniętym wymaga również inwestycji w badania w zakresie wpływu produkcji biomasy na klimat, zastosowania integracyjnego modelowania, przyszłych systemów produkujących bioenergię, analizy czynników konkurencyjnych biogospodarki, przełamania ograniczeń społecznych oraz ograniczeń w administracji i zarządzaniu zasobami (Fritzche i in. 2020).

5. ZIELONA GOSPODARKA – TRANSFORMACYJNA (BIO) GOSPODARKA INTEGRUJĄCA SPOŁECZNOŚĆ I JEJ POTRZEBY

Zrównoważona biogospodarka została wybrana jako strategiczny kierunek polityki i rozwoju gospodarki Unii Europejskiej, w celu podniesienia konkurencyjności i zatrudnienia oraz realizacji celów zrównoważonego rozwoju. Rozwój biogospodarki ma uwzględniać ograniczenia ekologiczne planety, aby można było łagodzić presję na środowisko, chronić różnorodność biologiczną oraz zwiększyć pełen zakres usług ekosystemowych dostarczanych człowiekowi. Pomimo propozycji KE utworzenia bazy wiedzy, systemu monitoringu biogospodarki oraz opracowania nieobowiązkowych wytycznych w zakresie funkcjonowania biogospodarki w bezpiecznych granicach ekologicznych, trudno ocenić ich przydatność dla poprawy stanu środowiska w krajach członkowskich. Ocena zrównoważenia biogospodarki jest przeprowadzana na poziomie krajowym, co uniemożliwia scharakteryzowanie wpływu planowanych działań na zakres i stan dostarczanych usług ekosystemowych oraz analizę potencjalnych konfliktów i synergii zachodzących pomiędzy nimi w różnych sektorach gospodarki, jak i wewnątrz danego sektora. Usługi ekosystemowe są wymieniane jedynie w kontekście opisu oddziaływania i – z wyjątkiem typu usług zaopatrzeniowych – nie są brane pod uwagę w analizach ilościowych.

Zielona transformacja Europy, postulowana przez KE w wielu dokumentach, jest powiązana z koncepcją zielonej gospodarki. Strategia zrównoważenia biogospodarki UE odwołuje się do pojęć biogospodarki oraz gospodarki obiegu zamkniętego, podczas gdy zielona gospodarka ma znaczenie marginalne. Koncepcja zielonej gospo-

darki pojawiła się szerzej w polityce po konferencji ONZ w Rio de Janeiro w 2012 r. Program Organizacji Narodów Zjednoczonych ds. Środowiskowych (UNEP) definiuje zieloną gospodarkę jako gospodarkę przynoszącą poprawę ludzkiego dobrobytu, równość społeczną, a jednocześnie znacznie ograniczającą ryzyko dla środowiska i niedobory zasobów naturalnych. Najprościej mówiąc, zielona gospodarka jest niskoemisyjna, zasobooszczędna oraz sprzyjająca włączeniu społecznemu. Podczas kiedy biogospodarka oraz gospodarka obiegu zamkniętego skupiają się na oszczędności zasobów (zaopatrzeniowych usług ekosystemowych), zielona gospodarka bierze pod uwagę pozostałe typy usług ekosystemowych (regulacyjne, kulturowe), w tym bioróżnorodność i zieloną infrastrukturę. Schemat przedstawiający lokalizację zielonej gospodarki w kontekście biogospodarki i gospodarki o obiegu zamkniętym został przedstawiony na rysunku 1. D'Amato i in. (2017) porównali powyższe trzy koncepcje zrównoważenia gospodarki i rekomendują poprawę integralności i efektywności dokumentów politycznych promujących i wdrażających te koncepcje na potrzeby realizacji celów zrównoważonego rozwoju.



Rys. 1. Zależności pomiędzy zieloną gospodarką, biogospodarką, gospodarką opartą na zasobach naturalnych i gospodarką o obiegu zamkniętym (Kardung i in. 2021; zmodyfikowane)

Podstawowym dokumentem promującym filozofię zielonej gospodarki jest Europejski Zielony Ład. Odwołuje się on do planu działania dotyczącego gospodarki o obiegu zamkniętym, przedstawia zarys programu wspierania zrównoważonego rolnictwa (strategia „od pola do stołu”) oraz strategii na rzecz bioróżnorodności (SB). Wskazuje, że „wszystkie unijne polityki powinny się przyczyniać do zachowa-

nia i odbudowy kapitału naturalnego Europy (...). Aby nikt nie został pozostawiony w tyle, w ramach planu inwestycyjnego na rzecz zrównoważonej Europy Komisja zaproponuje mechanizm sprawiedliwej transformacji, obejmujący Fundusz na rzecz Sprawiedliwej Transformacji” (KE 2019). Wprowadzono zasadę zielonego przyrzeczenia „nie szkodzić”.

Sektor rolnictwa jest znaczącym użytkownikiem gruntów, istotnie wpływającym – z racji intensywności gospodarowania glebą i zasobami naturalnymi – na emisje gazów cieplarnianych, bioróżnorodność oraz poziom zanieczyszczeń wód i gleb. Pomimo systemu Wspólnej Polityki Rolnej (WPR), mającego wspierać rolników w dostarczaniu usług ekosystemowych, wiele krajów (w tym Polska) nie wywiązało się ze zobowiązań redukcyjnych zanieczyszczeń azotanów pochodzenia rolniczego czy zatrzymania spadku bioróżnorodności na obszarach rolnych. Nowe podejście WPR wprowadza bardziej rygorystyczną strategię zrównoważenia systemów żywnościowych i wzmacniania usług ekosystemowych, w powiązaniu z wytycznymi strategii Europejskiego Zielonego Ładu, strategii bioróżnorodności, strategii „od pola do stołu”, planem działań na rzecz gospodarki o obiegu zamkniętym i planem nowej strategii UE w zakresie przystosowania się do zmian klimatu.

Strategia na rzecz bioróżnorodności 2030, intensyfikując ochronę i odtwarzanie środowiska naturalnego i ekosystemów UE, ma istotne znaczenie dla realizacji koncepcji zrównoważonej i zielonej (bio)gospodarki, m.in. dla rozwoju samego rolnictwa w tym kontekście. Ambitne cele strategii zakładają rozszerzenie sieci obszarów chronionych do co najmniej 30% unijnych terenów lądowych i morskich, przekształcenie przynajmniej 10% gruntów rolnych do krajobrazów o wysokiej bioróżnorodności, obejmując takie praktyki, jak: pasy buforowe, pasy ugorów i odłogów, zadrzewienia czy oczka wodne, zrekultywowanie zdegradowanych ekosystemów poprzez działania remediacyjne oraz ograniczenia w stosowaniu pestycydów i nawozów. Inne powiązane działania to np. inicjatywa dotycząca owadów zapylających (monitoring, baza wiedzy, edukacja, działania ochronne) czy aktualizacja strategii tematycznej w ochronie gleby.

Najważniejszym dokumentem realizującym cele Europejskiego Zielonego Ładu jest komunikat Komisji Europejskiej (KE 2019) dotyczący strategii „od pola do stołu”. Założeniem strategii jest budowanie łańcucha żywnościowego działającego na rzecz konsumentów, producentów, klimatu i środowiska oraz zapewnienie bezpieczeństwa żywnościowego, żywieniowego i przystępności cenowej żywności. Szczegółowe cele strategii obejmują zmniejszenie stosowania pestycydów chemicznych i związanego z nimi ryzyka o 50% oraz ograniczenie stosowania niebezpiecznych pestycydów o 50% do 2030 r., zmniejszenie strat składników pokarmowych o co najmniej 50%, przy jednoczesnym zapewnieniu, że nie doszło do pogorszenia żywności gleby (ograniczy to stosowanie nawozów o co najmniej 20% do 2030 r.), zmniejszenie sprzedaży środków przeciwdrobnoustrojowych przeznaczonych dla zwierząt utrzymywanych w warunkach fermowych o 50% do 2030 r.; przeznaczenie

do 2030 r. co najmniej 25% gruntów rolnych na rolnictwo ekologiczne. Przewidziano również opracowanie planu działania w zakresie zintegrowanego zarządzania składnikami odżywczymi. Nowe instrumenty WPR, zwane ekoprogramami, mają zaoferować finansowanie w celu pobudzenia zrównoważonych praktyk, takich jak rolnictwo precyzyjne, agroekologia (w tym rolnictwo ekologiczne), uprawa sprzyjająca pochłanianiu dwutlenku węgla przez glebę i system rolno-leśny. Wzmocnione zostaną też zasady warunkowości w odniesieniu do wpływu na środowisko, obowiązujące wszystkich rolników. Przynajmniej 30% środków w zakresie filaru 2 WPR będzie przeznaczona na działania rolno-środowiskowo-klimatyczne.

Ważną częścią nowej polityki rolnej jest tzw. **rolnictwo węglowe**. Jest to bilansowanie węgla w gospodarstwie uwzględniające akumulację w glebie, przepływy węgla oraz emisję gazów cieplarnianych, w celu przeciwdziałania zmianom klimatu. Obejmuje odpowiednie gospodarowanie gruntami, inwentarzem zwierzęcym, glebą, materiałami i biomasą roślinną. Bierze pod uwagę emisje wszystkich gazów cieplarnianych (CO_2 , CH_4 , N_2O). Zgodnie z zapisami Europejskiego Zielonego Ładu Komisja Europejska będzie prowadzić monitoring działań w zakresie zwiększania zasobów węgla prowadzonych przez rolników państw członkowskich oraz opracuje odpowiedni system certyfikacji i nagradzania w tym celu. Praktyki rolnictwa węglowego oprócz świadczenia usługi regulującej klimat przyczyniają się też do poprawy wielu innych usług ekosystemowych (COWI 2021).

Szczególna uwaga Komisji Europejskiej jest też zwrócona na promowanie **rolnictwa ekologicznego**. Plan działania na rzecz rozwoju produkcji ekologicznej z 2021 r. (KE 2021) podkreśla, że rolnictwo ekologiczne stwarza możliwość stosowania innowacyjnych technik produkcji, które są przyjazne dla środowiska, sprzyjają obiegowi zamkniętemu i mają korzystny wpływ na dobrostan zwierząt.

Zarówno strategia „od pola do stołu”, jak również plan działań strategii biogospodarki zwracają uwagę na zwiększoną potrzebę alokacji funduszy badawczo-rozwojowych na wsparcie zasad agroekologii i systemów gospodarowania efektywnie wykorzystujących usługi ekosystemowe, to jest rolnictwa ekologicznego, produkcji mieszanej oraz systemów rolno-leśnych.

Świadczenia dostarczane przez ekosystemy rolnicze zwiększają odporność rolnictwa na zmiany klimatu i ograniczają ryzyko katastrof. W coraz większym stopniu włączane są do ram polityki zrównoważonego rozwoju UE, których głównym elementem jest biogospodarka. Skuteczność realizacji zielonej gospodarki opartej na usługach ekosystemowych zależy od spójnej koordynacji poszczególnych polityk sektorowych i jaśniejszego określenia priorytetów zrównoważonej gospodarki. Eksperci postulują uzgodnienie wspólnych standardów, wskaźników monitoringu i stosowanie odpowiednich narzędzi do ewaluacji działań mitygujących i adaptacyjno-ochronnych zorientowanych na rezultat. Niezbędne jest także zaangażowanie różnych grup społecznych (EEA 2021).

6. ROLA ROLNIKÓW W KSZTAŁTOWANIU WIZJI ZRÓWNOWAŻONEJ BIOGOSPODARKI

Pomimo wysokiego potencjału zasobów ludzkich w sektorze polskiego rolnictwa (prawie 15% wszystkich pracujących w gospodarce narodowej znajduje w nim zatrudnienie, podczas gdy w Niemczech i Francji odpowiednio: 1,5 i 2,8%) (Baer-Nawrocka 2016) i wysokiej pozycji w UE pod względem udziału użytków rolnych (UR) w powierzchni kraju (za Francją i Hiszpanią), podstawowym wyzwaniem realizacji celów biogospodarki w rolnictwie jest jego znaczny stopień zróżnicowania, który utrudnia sprawny przepływ materiałów. Odbiorcy biomasy wymagają odpowiednio dużych partii jednolitego surowca, sprowadzanego z bliskich odległości zapewniających opłacalność i niski ślad środowiskowy. Problemem jest nie tylko dostępność biomasy rolniczej, ale również jej jakość, różnorodność i technologiczne możliwości jej przetworzenia na bioprodukty.

Polskie rolnictwo jest silnie zróżnicowane regionalnie w funkcji czynników ekonomicznych, społecznych i środowiskowych, co obrazowane jest najczęściej wartościami wskaźnika waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej, struktury użytków rolnych (UR), struktury gospodarstw, poziomu intensyfikacji produkcji (zużycia nawozów, nakładów pracy) oraz stopnia specjalizacji i koncentracji produkcji. Specyfika regionalna jest często wyrażana na poziomie województw, gdzie pewne jej cechy (np. stopień specjalizacji) ułatwiają wypracowanie wspólnej wizji przyszłości regionu w kontekście biogospodarki i wyznaczenie inteligentnych specjalizacji w obrębie obszaru. Jednak nawet w obszarze wybranych regionów występuje znaczne zróżnicowanie prowadzonej struktury produkcji.

Wielkość średniej powierzchni gruntów rolnych gospodarstw wynosiła w 2020 r. 11 ha, podczas gdy we Francji czy w Niemczech była sześciokrotnie większa. Nieco ponad połowa gospodarstw w Polsce użytkuje nie więcej niż 5 ha użytków rolnych (UR), ale w ich użytkowaniu znajduje się niemal 13% UR ogółem (GUS 2020). Prawie $\frac{3}{4}$ gospodarstw użytkuje mniej niż 10 ha UR, a ich łączny udział w UR wynosi 28% (GUS 2020). Struktura gospodarstw jest silnie zróżnicowana regionalnie. W województwach: zachodniopomorskim, warmińsko-mazurskim, lubuskim, pomorskim, opolskim i dolnośląskim większość użytków rolnych skoncentrowana jest w gospodarstwach powyżej 50 ha. Gospodarstwa najmniejsze (do 5 ha) najsilniej dominują w województwach: podkarpackim, małopolskim, śląskim i świętokrzyskim (FDPA 2020). Rozdrobnienie gospodarstw jest głównym czynnikiem ograniczającym produktywność rolnictwa, chociaż różnica Polski w stosunku do UE-15 zmniejszyła się z 70% w 2008 r. do 49% w 2018 r. Produktywność pracy w rolnictwie polskim w 2016 r. mierzona wytworzoną produkcją stanowiła ok. 30% przeciętnego poziomu w UE i zaledwie 17% wydajności pracy w UE-15. Niemal połowa polskich gospodarstw to jednostki wytwarzające do 4 tys. euro standardowej produkcji (SO), stanowiące blisko 6% SO ogółem w kraju (IERiGŻ-PIB 2019). Ponadto obserwuje się pogorszenie integracji pomiędzy producentami.

Od 2000 r. do 2019 r. zlikwidowano 56% grup producentów rolnych (dane MRiRW 2019). Transfer wiedzy do rolników i pomiędzy nimi wciąż nie jest zadowalający i odbiega znacznie od poziomu organizacji producentów w krajach UE-15.

W kontekście powyższych czynników wdrażanie innowacyjnych technologii w polskim rolnictwie napotyka wiele barier, zwłaszcza w warunkach zmienności popytu na produkty rolne na rynku globalnym w świetle spekulacji cenami żywności, nieprzewidywalnych działań konkurentów oraz postępujących zagrożeń klimatycznych, szczególnie suszy. Możliwości rolnictwa coraz bardziej zależą od ogólnej koniunktury gospodarczej i polityki makroekonomicznej. Sytuacja ta ma znaczący wpływ na konkurencyjność gospodarstw w Polsce oraz ich potencjał wytwórczy w kontekście dostarczania surowca na potrzeby wytwarzania bioproduktów i lokalnej żywności. Do tej pory większość gospodarstw przyjmowała strategię naśladownictwa i adaptacji gotowych rozwiązań rynkowych. Wobec presji czynników ekonomicznych i środowiskowych bardziej skuteczną strategią mogą być oddolne procesy tworzenia innowacji skutkujące podniesieniem efektywności i odporności gospodarstw. Transformacja rolnictwa do zrównoważonego systemu żywnościowego, sprzyjająca włączeniu społecznemu na obszarach wiejskich, przyjęta w strategii „od pola do stołu” może się okazać idealną drogą rozwoju dla polskich zróżnicowanych i drobnych gospodarstw. Wymagać będzie jednak znaczącego wsparcia samoorganizacji rolników, wyrównania szans małych podmiotów i edukacji środowiskowej różnych grup społecznych, co zwiększy szanse na efektywniejsze uczestnictwo rolników w łańcuchu zrównoważonej biogospodarki.

Pomimo znaczących nakładów na programowanie działań wspierających oraz badań naukowych na rzecz włączenia rolnictwa w nurt zrównoważonej gospodarki o obiegu zamkniętym, brak jest jasnej wizji, jaki model należy wybrać. Rolnictwo jest sektorem charakteryzującym się wysokim poziomem kompleksowości, silnym powiązaniem z zasobami środowiska naturalnego oraz znaczną modularnością. Każdy kraj powinien opracować specyficzną dla swoich uwarunkowań strategię, jednak niezbędna jest ogólna analiza wyzwań i rozwiązań w zakresie wdrożenia zasad zrównoważonej biogospodarki w rolnictwie. Szczególnie istotna wydaje się w tym kontekście analiza gospodarki obiegu zamkniętego.

Jedna z najbardziej trafnych koncepcji gospodarki obiegu zamkniętego w odniesieniu do systemu żywnościowego została przedstawiona przez fundację Ellen MacArthur (2015). Koncepcja ta pokrywa się z najbardziej rozwiniętą koncepcją zrównoważonej biogospodarki – zieloną gospodarką ujmującą świadczenie usług ekosystemowych i obejmuje trzy zasady:

1. Zaplanuj system eliminacji odpadów i zanieczyszczeń;
2. Utrzymuj produkty i materiały w użyciu;
3. Odtwarzaj ekosystemy.

Pierwsza z nich polega na zapobieganiu zanieczyszczeniom z rolnictwa i ich usuwaniu, w szczególności nawozów i pestycydów. Druga zasada jest związana głównie z ukierunkowaniem wykorzystania biomasy z gospodarstwa do wytwarzania

nawozów, kompostu, paszy i bioenergii. Trzecia dotyczy stosowania **regeneratywnego rolnictwa** – systemu rolnego mającego na celu akumulować węgiel w glebie, chronić zasoby naturalne i bioróżnorodność oraz wspierać dostarczanie świadczeń ekosystemowych. Do praktyk rolnictwa regeneratywnego zaliczamy stosowanie nawozów organicznych i naturalnych, roślin okrywowych, wzbogaconego płodozmianu, uprawę bezorkową, agroleśnictwo, wypas rotacyjny i praktyki poprawiające bioróżnorodność.

Velasco-Muñoz i in. (2021), na podstawie ogólnych zasad opracowanych przez Schmidt-Rivera i in. (2020), wyróżniają cztery strategie wprowadzania zamkniętego obiegu w rolnictwie:

1. Zawężanie pętli zasobów;
2. Spowalnianie pętli zasobów;
3. Zamykanie pętli zasobów;
4. Odtwarzanie pętli zasobów.

Zawężanie pętli zasobów opiera się na idei połączenia systemu ekonomicznego i ekologicznego w jedną całość i cyrkulacyjną zależność. Podejście to ma na celu optymalizację wykorzystania zasobów, np. ponowne używanie materiałów w produkcji/przetwórstwie lub odpowiednią dywersyfikację upraw, aby uniknąć nadwyżki konkretnego produktu i zapobiec stratom finansowym, a także prowadzenie **mieszanej produkcji roślinno-zwierzęcej**. Spowalnianie pętli zasobów to zestaw działań ukierunkowanych na przedłużenie życia produktu w systemie rolno-żywnościowym. Może to być utrzymanie wartości odżywczej produktu poprzez jego konserwację, selekcja gatunków i odmian roślin nadających się do przetwórstwa albo wykonywanie napraw używanych maszyn zamiast zakupu nowych. Zamykanie pętli zasobów to ponowne wykorzystanie produktów ubocznych i odpadów w gospodarstwie/przetwórni. Może obejmować produkcję kompostu, bioenergii, ekstrakcję wartościowych składników chemicznych, produkcję opakowań biodegradowalnych lub wreszcie wytwarzanie nawozów w biogazowniach. Odtwarzanie pętli zasobów oznacza stosowanie praktyk rolnictwa regeneratywnego lub produkcję w zamkniętych farmach pionowych czy farmach na dachach.

Oczywiście zamykanie obiegu materii w gospodarstwie jest możliwe w wyjątkowych przypadkach. Z tego powodu systemy lokalnej żywności i innych bioproduktów powinny bazować na ściślejszej współpracy rolników dysponujących odpowiednimi zasobami, konsumentów i innych interesariuszy łańcuchów produktów i odpadów. Dotyczy to również sfery usług, np. zorganizowania systemu wynajmu maszyn. Kooperację może usprawnić internetowa baza danych dostarczająca informacje dla rolników i konsumentów zainteresowanych wymianą dóbr. Na podobnej zasadzie powinna się odbywać współpraca z naukowcami lub doradcami, poprzez system wsparcia decyzji w celu optymalizacji wykorzystania materii i energii. Ważną funkcję wspierającą decyzje rolników i przetwórców w zarządzaniu posiadają regulacje prawne ułatwiające korzystanie z zasobów, ulgi podatkowe na produkty wytwarzane w kaskadowym systemie, płatności za odpowiednie działania i praktyki, zachęty

finansowe do dzielenia się maszynami lub infrastrukturą czy programy edukacyjne dla wszystkich uczestników łańcucha.

Kluczowe znaczenie dla rozwoju zrównoważonej biogospodarki na obszarach wiejskich ma wzmocnienie pozycji rolników w łańcuchach wartości produktów, pozwalające zwiększyć odporność na zmiany. Raport ekspercki (Fritsche i in. 2021) wykonany na zlecenie Komisji Europejskiej podkreśla, że priorytetem transformacji systemów żywnościowych w obecnej sytuacji wyzwań ekonomicznych, klimatycznych i związanych z pandemią COVID-19 jest zastosowanie się do trzech zasad: agroekologii, „cyrkularności” i podejścia „jedno zdrowie”. Zwraca również uwagę na istotność „niebieskiej” biogospodarki, zrównoważonego gospodarowania w akwakulturze oraz rolnictwa miejskiego.

Podejście „jedno zdrowie” (ang. *One Health*) oznacza podejście wielosektorowe, które uznaje, że zdrowie ludzkie jest powiązane ze zdrowiem zwierząt i ze środowiskiem, a działania mające na celu przeciwdziałanie zagrożeniom zdrowia muszą uwzględniać te trzy wymiary. **Agroekologia** nie jest zdefiniowana w żadnym oficjalnym dokumencie UE, chociaż praktyki agroekologiczne są rekomendowane jako podstawowy środek osiągnięcia celów Europejskiego Zielonego Ładu w rolnictwie i strategii „od pola do stołu”. Więcej informacji na temat agroekologii znajduje się w następnej części tego rozdziału.

W kontekście sektora produkcji zwierzęcej rekomenduje się ograniczenie koncentracji zwierząt, bardziej rygorystyczne regulacje stosowania antybiotyków oraz lepsze wsparcie rozwoju rolnictwa ekologicznego. W sektorze akwakultury należy zwiększyć inwestycje w obszarze produkcji glonów bogatych w białko, stąd doskonale uzupełniających potrzeby paszowe i żywieniowe. Dużą szansę dla poprawy systemu żywnościowego stanowi rozwój rolnictwa miejskiego, zielonych zamówień publicznych i rynku żywności funkcjonalnej. Należy wspierać „rolnictwo węglowe”, praktyki rolne zwiększające bioróżnorodność oraz paludikulturę. Priorytetowym zestawem działań jest budowanie infrastruktury logistycznej dla lokalnych systemów żywności, wsparcie odnawialnych źródeł energii, cyfryzacji wspomagającej optymalizację produkcji rolnej oraz rewitalizacja obszarów wiejskich. Zaleca się też wdrażanie koncepcji **marketingu społecznościowego** (ang. *community marketing*) w lokalnej sprzedaży żywności (tworzenie i wspieranie kanałów dystrybucji produktów w kierunku społeczności zainteresowanych określoną marką czy produktem) (Lioutas i Charatsari 2021). Przykładami marketingu społecznościowego są Rolnictwo Wspierane przez Społeczność (RWS), kooperatywy czy organizacja targów z lokalnymi hodowcami i rolnikami. System ten bardzo dobrze spełniał swoją rolę w czasach pandemii.

Za najważniejsze wyzwanie dla biogospodarki eksperci uznają jednak zmianę społecznych norm i przyzwyczajeń w zakresie diety, konsumpcji materiałów i mobilności. Pierwszorzędną kwestią jest uzyskanie akceptacji społecznej dla nowych reguł zasobooszczędnej gospodarki, wzrost świadomości środowiskowej i przełamanie barier braku zaufania pomiędzy samymi rolnikami oraz wszystkimi uczestni-

kami łańcucha wartości produktów. Uważa się, że włączenie wszystkich grup społecznych (w tym drobnych rolników, kobiet i osób młodych) w proces decydowania o strukturze lokalnych modeli biogospodarki pozwoli na sprawne zbudowanie trwałego systemu powiązań materiałów i usług. Taka koncepcja rozwoju biogospodarki oparta na sprawiedliwym włączeniu społecznym została określona jako „**BioWEconomy**” (Fritsche i in. 2021), co można przetłumaczyć jako „nasza biogospodarka”.

7. AGROEKOLOGIA – IDEALNY MODEL BIOGOSPODARKI DLA ROLNICTWA

Wyczerpywanie się zasobów naturalnych, zmiany klimatu, nowe ekonomiczne wyzwania oraz rosnące społeczne oczekiwania w dynamicznie zmieniających się uwarunkowaniach doprowadziły do wprowadzenia modelu zrównoważonego rozwoju gospodarki, który powinien pogodzić ze sobą sprzeczne cele. Wyrazem tego dążenia jest nowy plan działania UE dotyczący gospodarki o obiegu zamkniętym, którego ambicją jest osiągnięcie neutralności klimatycznej do 2050 r. oraz oddzielenie wzrostu gospodarczego od wykorzystania zasobów, przy jednoczesnym zapewnieniu długoterminowej konkurencyjności UE i niezostawiania nikogo w tyle (KE 2020b). Transformacja gospodarki o liniowym wzroście do gospodarki cyrkularnej jest ogromnym wyzwaniem i wymaga kompromisów pomiędzy celami ekonomicznymi, środowiskowymi i społecznymi. Ewolucja koncepcji biogospodarki w polityce UE w wyniku prowadzonego procesu konsultacji wskazuje na coraz bardziej wyraźne postrzeganie elementów środowiskowych i społecznych. Strategia „od pola do stołu” oraz aktualizacja strategii biogospodarki z 2018 r. w oczywisty sposób nawiązują do agroekologicznej wizji biogospodarki. Nie określają jednak w żadnym miejscu jej definicji, wspominają jedynie o agroekologicznych praktykach i transformacji. W raportach ekspertów oraz dokumentach na poziomie krajowym pojawia się więc szereg interpretacji tej idei formułowanych *ad hoc* na bazie dostępnych definicji.

Wbrew powszechnej opinii agroekologia obecnie nie jest ekologią rolniczą, rolnictwem ekologicznym ani integrowanym systemem ochrony roślin. W XXI w. zaczęto dostrzegać interdyscyplinarny charakter tej ideologii. Eksperci pracujący na rzecz Organizacji Narodów Zjednoczonych, w tym FAO, uznają, że agroekologia ma kluczowe znaczenie dla sprawiedliwej transformacji systemów żywnościowych świata. Priorytetem dla agroekologii jest więc dostępność, przystępność i stopień wykorzystania żywności. Na poziomie międzynarodowym wyodrębniły się trzy wymiary agroekologii odwołujące się do (1) **dyscypliny naukowej**, (2) **technologii rolniczej/systemu rolniczego** i (3) **ruchu społecznego** (Wezel i in. 2009). Agroekologia jako nauka stosuje ekologiczne koncepcje i zasady do reorganizacji i zarządzania zrównoważonymi systemami żywnościowymi. Drugi wymiar odnosi się do gospodarowania ukierunkowanego na ograniczenie nakładów zewnętrznych, użycie naturalnych substancji i procesów oraz wykorzystanie zasad obiegu zamkniętego

i zróżnicowania produkcji. Trzeci wymiar jest wyrazem sprzeciwu drobnych rolników i konsumentów przeciwko rolnictwu przemysłowemu i promuje lokalne systemy produkujące żywność wysokiej jakości, sprawiedliwość społeczną, suwerenność żywności (prawo do samostanowienia polityki żywnościowej), a także prawo do wiedzy i zachowania własnej kultury. Ruch ten jest też często określany jako „agroekologia chłopska”. Wyróżnia się też czwarty wymiar w rozumieniu **strategii i aktów prawa wspierających agroekologię**. Odmienność interpretacji agroekologii przez różne grupy, instytucje i państwa oraz przywłaszczanie nazwy przez wielkie korporacje żywnościowe spowodowały, że organizacje międzynarodowe podjęły w ostatnich latach próbę opracowania spójnej całościowej koncepcji. Efektem pracy ekspertów FAO i HLPE (Wezel i in. 2020) jest sporządzenie **listy 13 zasad agroekologii** (w nawiasach podano wybrane korzyści ich zastosowania), tj.:

1. **Recykling** czyli wytwarzanie energii odnawialnej w gospodarstwach oraz stosowanie zasad obiegu zamkniętego biomasy i składników pokarmowych (oszczędność kureczących się zasobów);
2. **Ograniczenie nakładów zewnętrznych** (środków produkcji) oraz wzrost samowystarczalności gospodarstw (obniżenie kosztów produkcji, uniezależnienie się od ich producentów, globalnego rynku, kredytów itp.);
3. **Poprawa stanu gleby** – żyzności, zawartości materii organicznej, biologicznej aktywności, zasobności w wodę (wzrost poziomu i stabilności plonowania roślin uprawnych oraz ich odporności na zmiany);
4. **Zdrowie i dobrostan zwierząt** (poprawa produktywności, zapobieganie chorobom w warunkach zagrożeń klimatycznych);
5. **Bioróżnorodność** w skali pola, gospodarstwa i krajobrazu (polepszenie odporności na zmiany środowiskowe);
6. **Synergia** (zarządzanie interakcjami) – współoddziaływanie elementów w systemie rolniczym, np. roślin we wzbogaconym płodozmianie, drzew i roślin/zwierząt w systemie rolno-leśnym, roślin i zwierząt w systemach produkcji mieszanej (poprawa odporności i stabilności agroekosystemu, ochrona gleby i zasobów gospodarstwa);
7. **Zróżnicowanie produkcji** (zwiększenie bezpieczeństwa finansowego w obliczu kryzysu ekonomicznego i stresu środowiskowego, wzrost wartości dodanej produktu dopasowanego do oczekiwań konsumentów);
8. **Współtworzenie wiedzy** – oddolne opracowanie innowacji w lokalnych warunkowaniach, oparte na transferze wiedzy pomiędzy rolnikami przy współpracy naukowców, doradców i innych interesariuszy (transdyscyplinarność) (poprawa konkurencyjności gospodarstw w regionie, redukcja skali zagrożeń kryzysowych);
9. **Uczestnictwo w życiu społecznym oraz zapewnienie bezpieczeństwa żywnościowego** – zbudowanie lokalnego systemu żywnościowego respektującego

prawa społeczne, odrębność kulturową, równouprawnienie oraz dostarczającego wystarczającej, bezpiecznej i odżywczej żywności, zaspokajającej potrzeby żywieniowe i preferencje (poprawa odporności społecznej i zapewnienie bezpieczeństwa żywnościowego w obliczu zmian klimatu);

10. **Sprawiedliwość** – równe traktowanie wszystkich podmiotów łańcucha dostaw żywności, w szczególności drobnych producentów, oparte na idei sprawiedliwego handlu, uczciwych warunkach zatrudnienia oraz poszanowaniu praw własności intelektualnej (zapewnienie wszystkim równych warunków dostępu do rynku żywności zwiększa dostępność do ograniczonych zasobów);
11. **Budowanie relacji producentów rolnych z konsumentami** oznacza budowanie zaufania, tworzenie gęstej sieci dystrybucji żywności, krótkich łańcuchów dostaw oraz przywrócenie systemów żywnościowych do lokalnych gospodarek (ogranicza koszty, straty żywności, zmniejsza ślad środowiskowy);
12. **Zrównoważone gospodarowanie gruntami i zasobami naturalnymi na obszarach rolnych** – wprowadzanie instrumentów wsparcia rozwoju małych gospodarstw rodzinnych i drobnych producentów żywności, ukierunkowanych na świadczenie usług ekosystemowych przez rolników (poprawa naturalnej odporności agroekosystemów na zagrożenia związane ze zmianą klimatu);
13. **Partycypacja obywatelska** – wzmocnienie udziału organizacji pozarządowych i obywateli, w szczególności producentów żywności i konsumentów, w procesach decyzyjnych na poziomie lokalnym, np. w konsultacjach społecznych (zwiększenie skuteczności działań dostosowawczych podejmowanych na szczeblu lokalnym, zwłaszcza działań adaptacyjnych do zmian klimatu).

Według European Association for Agroecology² transformacja w kierunku agroekologii może dotyczyć zarówno małych, jak i dużych gospodarstw. Genetyczna modyfikacja roślin jest niedozwolona. Innowacje muszą mieć charakter oddolny, inkluzyjny i partycypacyjny. Rolnicy powinni mieć możliwość wymiany wiedzy i danych bez ograniczeń licencyjnych narzucanych przez ich dostawców. Należy ograniczać koszty związane z usługami wsparcia systemów informatycznych. Poleganie na zewnętrznych opiniach i gotowych rozwiązaniach producentów maszyn i środków produkcji, wiążących sprzedaż produktu z systemem kompleksowego wsparcia dla gospodarstwa i pełniących coraz częściej funkcje bezpośrednich doradców rolników, nie spełnia już swojej roli w takim modelu.

Podsumowując, nowa koncepcja agroekologii stoi w sprzeczności z zawężonym podejściem zastosowania przyjaznych środowiskowo praktyk uprawowych, zaniedbującym ekonomiczny i społeczny wymiar zrównoważenia. Analizy gospodarstw europejskich wskazują, że dobrze zorganizowany agroekologiczny model produkcji może zapewniać dochód, stabilność i zatrudnienie na wyższym poziomie niż modele rolnictwa konwencjonalnego i przemysłowego (van der Ploeg i in. 2019).

²<https://www.agroecology-europe.org>

8. PODSUMOWANIE

Przedstawiona analiza sektora biogospodarki potwierdza tezę, że spełnienie celów jej zrównoważenia zachodzi tylko pod pewnymi warunkami. Naruszenie równowagi może prowadzić, tak jak w każdej innej produkcji, do pogorszenia jakości środowiska naturalnego, wyczerpywania zasobów naturalnych, obniżenia stabilności finansowej czy pogłębienia nierówności społecznych. Ewolucja koncepcji biogospodarki w polityce UE powoduje, że w coraz większym stopniu akcentowane są elementy środowiskowe i społeczne. Jednak transformacja gospodarki opartej na liniowym modelu ekonomicznym do gospodarki obiegu zamkniętego, oddzielającej wzrost gospodarczy od wielkości zasobów naturalnych, jest często kwestionowana (Giampietro 2019), a liczne ograniczenia utrudniają rozwój gospodarki cyrkulacyjnej (Korhonen i in. 2018). Eksperti zalecają lepsze skoordynowanie wspólnych działań oraz wsparcie działań lokalnych. Plan działań strategii biogospodarki (KE 2018c) w kontekście rolnictwa i produkcji żywności obejmuje wspieranie zielonych zamówień publicznych, oznakowanie środowiskowego śladu żywności, stosowanie praktyk niskoemisyjnych i poprawiających bioróżnorodność, działania ograniczające straty żywności czy budowę sieci „żywych laboratoriów”. Rolę wspomagającą mają pełnić sieci EIT oraz EIP-AGRI oraz platformy interesariuszy. Transformacja do zrównoważonej biogospodarki obiegu zamkniętego wymagać będzie radykalnych zmian modelu społeczno-gospodarczego (Fritzsche i in. 2020). Wdrażany obecnie system monitoringu biogospodarki nie zapewnia jej funkcjonowania w bezpiecznych granicach ekologicznych.

Szansą jest wdrożenie w życie koncepcji zielonej gospodarki uwzględniającej wynagradzanie za świadczenie usług ekosystemowych i dobra publiczne. Takiemu podejściu sprzyjają strategia „Zielony Ład” oraz strategia „od pola do stołu” realizowane w ramach nowych zasad Wspólnej Polityki Rolnej. Powyższe dokumenty programowe potwierdzają, że priorytetem rolnictwa jest zapewnienie zrównoważonej produkcji żywności przy poprawie stanu środowiska naturalnego. Kluczem do sukcesu są monitoring rzeczywistych rezultatów osiąganych przez rolników, sprawiedliwa rekompensata za dostarczane dobra publiczne oraz skuteczne pokonanie barier innowacyjności na obszarach wiejskich. Skuteczną strategią mogą być oddolne procesy tworzenia innowacji skutkujące podniesieniem efektywności i odporności zróżnicowanych i drobnych gospodarstw.

W niniejszym rozdziale zawarto szereg rekomendacji na rzecz wprowadzenia zamkniętego obiegu w rolnictwie. Za najważniejsze wyzwanie dla wdrożenia biogospodarki eksperci uznają zmianę społecznych norm i przyzwyczajeń w zakresie diety, konsumpcji materiałów i mobilności. Włączenie wszystkich grup społecznych (w tym drobnych rolników, kobiet i osób młodych) w proces decydowania o strukturze lokalnych modeli biogospodarki pozwoli na sprawne zbudowanie stabilnego systemu powiązań materiałów i usług. Jest to zgodne z agroekologiczną wizją biogospodarki, pod warunkiem uwzględnienia kryteriów społecznych i ekonomicznych współczesnej koncepcji agroekologii (Migliorini i in. 2020).

9. LITERATURA

1. Baer-Nawrocka A.: The role of agriculture in the national economy of EU countries. *Journal of Agribusiness and Rural Development*, 2016, **4(42)**: 501-510.
2. Bommarco R., Kleijn D., Potts S.G.: Ecological intensification: Harnessing ecosystem services for food security. *Trends in Ecology & Evolution*, 2013, **28**: 230-238.
3. Bringezu S., O'Brien M., Schütz H.: Beyond biofuels: Assessing global land use for domestic consumption of biomass. A conceptual and empirical contribution to sustainable management of global resources. *Land Use Policy*, 2012, **29**: 224-232.
4. Bugge M.M., Hansen T., Klitkou A.: What is the bioeconomy? A review of the literature. *Sustainability*, 2016, **8**: 691-712.
5. Carus M., Raschka A., Iffland K., Dammer L., Essel R., Piotrowski S.: How to shape the next level of the European Bio-based Economy? The reasons for the delay and the prospects of recovery in Europe. Nova-Institute: Hürth, Policy, Germany 2016, pp. 30-39.
6. COWI, Ecologic Institute and IEEP 2021. Technical Guidance Handbook – setting up and implementing result-based carbon farming mechanisms in the EU Report to the European Commission. DG Climate Action, under Contract No. CLIMA/C.3/ETU/2018/007. COWI, Kongens Lyngby.
7. Cullen J.M.: Circular economy: theoretical benchmark or perpetual motion machine? *Society for Industrial Ecology*, 2017, **21(3)**: 483-486.
8. D'Amato D., Droste N., Allen B., Kettunen M., Lähtinen K., Korhonen J., Leskinen P., Matthies B.D., Toppinen A.: Green, circular, bio economy: A comparative analysis of sustainability avenues. *Journal of Cleaner Production*, 2017, **168**: 716-734.
9. del Mar Alonso-Almeida M., Rodriguez-Anton J.M., Bagur-Femenías L., Perramon J.: Institutional entrepreneurship enablers to promote circular economy in the European Union: Impacts on transition towards a more circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 2021, **281**, 124841.
10. Ellen MacArthur Foundation, 2015. Schools of Thought – Performance Economy. Ellen MacArthur; www.ellenmacarthurfoundation.org/publications
11. EEA (European Environment Agency) 2021. Nature-based solutions in Europe: Policy, knowledge and practice for climate change adaptation and disaster risk reduction; <https://www.eea.europa.eu/publications/nature-based-solutions-in-europe>
12. FAO 2009. The state of food security in the world; <http://www.fao.org/3/i0876e/i0876e.pdf>
13. FBSC (the Fourth Bioeconomy Stakeholders Conference) 2016. European Bioeconomy Stakeholders Manifesto. Building blocks. Draft version; Dutch Ministry of Economic Affairs: Utrecht, The Netherlands.
14. Fleischmann B., Mayer A., Görg C., Pichler M.: Negotiating biophysical limits in the European Union's bioeconomy: a critical analysis of two conflicts over regulating biomass use in EU policy. *Sustainability Science*, 2024, **19(6)**: 1935-1948.
15. Friant M.C., Vermeulen W.J., Salomone R.: Analysing European Union circular economy policies: words versus actions. *Sustainable Production and Consumption*, 2021, **27**: 337-353.
16. Fritsche U., Brunori G., Chiaramonti D., Galanakis C., Hellweg S., Matthews R., Panoutsou C.: Future transitions for the Bioeconomy towards Sustainable Development and a Climate-Neutral Economy – Knowledge Synthesis Final Report, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020; DOI: 10.2760/667966. JRC121212.

17. Fritsche U., Brunori G., Chiaramonti D., Galanakis C.M., Matthews R., Panoutsou C.: Future transitions for the Bioeconomy towards Sustainable Development and a Climate-Neutral Economy – Bioeconomy Opportunities for a green recovery and enhanced system resilience. M.T. Borzacchiello, J. Sanchez Lopez, M. Avraamides (eds). Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2021; DOI: 10.2760/831176, JRC123534.
18. FDPA (Fundacja na rzecz Rozwoju Polskiego Rolnictwa) 2020. Polska Wieś 2020. Raport o stanie wsi. Wydawnictwo Naukowe SCHOLAR, Warszawa.
19. GUS 2020. Rocznik statystyczny rolnictwa. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2020.
20. Georgescu-Roegen N.: The entropy law and economic process. Harvard University Press, Cambridge, MA, 1971, pp. 457.
21. Gerbens-Leenes P.W., Hoekstra A.Y., van der Meer T.: The water footprint of energy from biomass. A quantitative assessment and consequences of an increasing share of bio-energy in energy supply. *Ecological Economics*, 2009, **68**: 1052-1060.
22. Giampietro M.: On the circular bioeconomy and decoupling: implications for sustainable growth. *Ecological Economics*, 2019, **162**: 143-156.
23. Godfray J., Garnett T.: Food security and sustainable intensification. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 2017, **369(1639)**, 20120273.
24. Hausknost D., Schriebl E., Lauk C., Kalt G.: A transition to which bioeconomy? An exploration of diverging techno-political choices. *Sustainability*, 2017, **9(4)**: 1-669.
25. IERiGŻ-PIB 2019. Analiza sektorów produkcji rolnej, o których mowa w projekcie rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady ustanawiającego przepisy dotyczące wsparcia na podstawie planów strategicznych sporządzanych przez państwa członkowskie w ramach wspólnej polityki rolnej (planów strategicznych WPR) i finansowanych z Europejskiego Funduszu Rolniczego Gwarancji (EFRG) i z Europejskiego Funduszu Rolnego na rzecz Rozwoju Obszarów Wiejskich (EFRROW) oraz uchylającego rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1305/2013 i rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1307/2013. Warszawa.
26. Kardung, M., Cingiz, K., Costenoble, O., Delahaye, R., Heijman, W., Lovrić, M., van Leeuwen, M., M'Barek, R., van Meijl, H., Piotrowski, S., Ronzon, T., Sauer, J., Verhoog, D., Verkerk, P.J., Vrachlioti, M., Wesseler, J.H.H., Zhu, B.X. 2021. Development of the circular bioeconomy: Drivers and indicators. *Sustainability*, **13(1)**, 413; <https://doi.org/10.3390/su13010413>
27. KE (Komisja Europejska) 2018a. Zrównoważona biogospodarka dla Europy: wzmocnienie powiązań między gospodarką, społeczeństwem i środowiskiem. Komunikat Komisji, COM(2018) 673 final.
28. KE (Komisja Europejska) 2018b. The European way to use our natural resources. A sustainable bioeconomy for Europe: strengthening the connection between economy, society and the environment. Updated Bioeconomy. Strategy action plan 2018. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/775a2dc7-2a8b-11e9-8d04-01aa75ed71a1>
29. KE (Komisja Europejska) 2018c. Bioeconomy: the European way to use our natural resources. Action plan 2018; <https://europanel.org/wp-content/uploads/2021/02/COM-Bioeconomy-Action-Plan-2018.pdf>
30. KE (Komisja Europejska) 2019. Europejski Zielony Ład, COM(2019) 640 final.
31. KE (Komisja Europejska) 2020a. Nowy plan działania UE dotyczący gospodarki o obiegu zamkniętym na rzecz czystszej i bardziej konkurencyjnej Europy, COM(2020) 98 final.
32. KE (Komisja Europejska) 2020b. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Eu-

- ropejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Zalecenia dla państw członkowskich w sprawie ich planów strategicznych dotyczących wspólnej polityki rolnej (COM(2020) 846 final); <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0846>
33. KE (Komisja Europejska) 2021. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego w sprawie Planu Działania dotyczącego Rozwoju Produkcji Ekologicznej; <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/HTML/?uri=CELEX:52021DC0141&from=PL>
 34. KE (Komisja Europejska) 2022. Sprawozdanie z postępów w realizacji unijnej strategii dotyczącej biogospodarki. Europejska polityka w zakresie biogospodarki: podsumowanie i przyszłe zmiany. Raport COM/2022/283; <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/HTML/?uri=CELEX:52022DC0283>
 35. K e e g a n D., Kretschmer B., Elbersen B., Panoutsou C.: Cascading use: a systematic approach to biomass beyond the energy sector. *Biofuel, Bioproducts and Biorefining*, 2013, **7(2)**: 193-206.
 36. Kowalski A., Kowalczyk S., Rembisz W., Grochowska R., Krzyżanowski J., Nosecka B., Bodył M., Kraciński P., Osuch D., Pasińska D., Szajner P., Wigier M., Zawadzka D., Bocian M., Bugała A., Dzwonkowski W., Grzybowska E., Hryszko K., Łopaciuk W., Zaremba Ł.: Analiza sektorów produkcji rolnej, o których mowa w projekcie rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady ustanawiającego przepisy dotyczące wsparcia na podstawie planów strategicznych sporządzanych przez państwa członkowskie w ramach wspólnej polityki rolnej (planów strategicznych WPR) i finansowanych z Europejskiego Funduszu Rolniczego Gwarancji (EFRG) i z Europejskiego Funduszu Rolnego na rzecz Rozwoju Obszarów Wiejskich (EFRROW) oraz uchylającego rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1305/2013 i rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1307/2013. IERiGŻ-PIB, Warszawa 2019, ss. 155; https://www.krs.org.pl/images/pdfy2019/3_analiza_swot_sektory_produkcji_rolnej.pdf
 37. K o r h o n e n J., Honkasalo A., Seppälä J.: Circular economy: the concept and its limitations. *Ecological Economics*, 2018, **143**: 37-46.
 38. L i o u t a s E.D., Charatsari C.: Enhancing the ability of agriculture to cope with major crises or disasters: What the experience of COVID-19 teaches us. *Agricultural Systems*, 2021, **187**, 103023.
 39. M a y e r A., Kauppi P., Angelstam P., Zhang Y., Tikka P.: Importing timber, exporting ecological impact. 2005, *Science* 308 (April): 359-360.
 40. M i e l e s z k o A.: Koncepcja path dependence w ekonomii. W: Współczesne problemy ekonomiczne w badaniach młodych naukowców, E. Gruszeńska (red.). T.4, Teoria i praktyka. Białystok, 2020, s. 10-17; <http://hdl.handle.net/11320/9249>
 41. Migliorini P., Bärberi P., Bellon S., Tommaso G., Gkissakis V.D., Peeters A., Wezel A.: Controversial topics in agroecology: A European perspective. *International Journal of Agriculture and Natural Resources*, 2020, **47(3)**: 159-173.
 42. M o n f o r t i F., Lugato E., Motola V., Bodis K., Scarlat N., Dallemand J.F.: Optimal energy use of agricultural crop residues preserving soil organic carbon stocks in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, **44**: 519-529.
 43. M u s c a t A., de Olde E. M., de Boer I. J., Ripoll-Bosch R.: The battle for biomass: A systematic review of food-feed-fuel competition. *Global Food Security*, 2020, **25**, 100330.
 44. P f a u S.F., Hagens J.E., Dankbaar B., Smits A.J.: Visions of sustainability in bioeconomy research. *Sustainability*, 2014, **6(3)**: 1222-1249.

45. Parlament Europejski, 2023. Gospodarka o obiegu zamkniętym: definicja, znaczenie i korzyści (wideo); <https://www.europarl.europa.eu/topics/pl/article/20151201STO05603/gospodarka-o-obiegu-zamknietym-definicja-znaczenie-i-korzysci-wideo>
46. P r i e f e r C., Jörisse n J., Frör O.: Pathways to shape the bioeconomy. Resources, 2017, **6(1)**, 10.
47. R a g h u S., Spencer J.L., Davis A.S., Wiedenmann R.N.: Ecological consideration in the sustainable development of terrestrial biofuel crops. Current Opinion in Environmental Sustainability, 2011, **3**: 15-23.
48. R o s e n g r a n t M.W., Ringler C., Zhu T., Tokgoz S., Bhandary P.: Water and food in the bioeconomy: Challenges and opportunities for development. Agricultural Economics, 2013, **44**: 139-150.
49. P r e t t y J.: Agricultural sustainability: Concepts, principles and evidence. Philosophical Transactions of the Royal Society, 2008, **363**: 447-465.
50. S a n d e r s J.P.M., Bos H.L.: Raw material demand and sourcing options for the development of a bio-based chemical industry in Europe: Part 2: Sourcing options. Biofuels, Bioproducts and Biorefining, 2013, **7**: 260-272.
51. S h e p p a r d A.W., Gillespie I., Hirsch M., Begley C.: Biosecurity and sustainability within the growing global bioeconomy. Current Opinion in Environmental Sustainability, 2011, **3**: 4-10.
52. S c h m i d t-Rivera X.C., Gallego-Schmid A., Najdanovic-Visak V., Azapagic A.: Life cycle environmental sustainability of valorisation routes for spent coffee grounds: from waste to resources. Resources, Conservation & Recycling, 2020, **157**, 104751.
53. T e m p l e r R., van der Wielen L.: Biorenewables, the bio-based economy and sustainability. Interface Focus, 2011, **1**: 187-188.
54. W e z e l A., Bellon S., Doré T., Francis C., Vallod D., David C.: Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. Agronomy for sustainable development, 2009, **29(4)**: 503-515.
55. W e z e l A., Herren B. G., Kerr, R. B., Barrios E., Gonçalves A. L. R., Sinclair F.: Agroecological principles and elements and their implications for transitioning to sustainable food systems. A review. Agronomy for Sustainable Development, 2020, **40(6)**: 1-13.
56. V a n d e r P l o e g J.D., Barjolle D., Bruil J., Brunori G., Madureira L.M.C., Dessein J., Drąg Z., Fink-Kessler A., Gasselin P., de Molina M.G., Gorlach K., Jurgens K., Kinsella J., Kirwan J., Knickel K., Lucas V., Marsden T., Maye D., Migliorini P., Milone P., Noe P., Nowak P., Parrott N., Peeters A., Rossi A., Schermer M., Ventura F., Visser M., Wezel A.: The economic potential of agroecology: Empirical evidence from Europe. Journal of Rural Studies, 2019, **71**: 46-61.
57. V e l a s c o-Muñoz J.F., Mendoza J.M.F., Aznar-Sánchez J.A., Gallego-Schmid A.: Circular economy implementation in the agricultural sector: Definition, strategies and indicators. Resources, Conservation and Recycling, 2021, **170**, 105618.
58. V a l i n H., Peters D., Van den Berg M., Frank S., Havlik P., Forsell N., Hamelinck C., Pirker J., Mosnier A., Balkovic J., Schmid E., Dürauer M., di Fulvio F.: The land use change impact of biofuels consumed in the EU: Quantification of area and greenhouse gas impacts. ECOFYS Netherlands, 2015; http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/12310/1/Final%20Report_GLOBIOM_publication.pdf
59. Z h a n g W., Ricketts T.H., Kremen C., Carney K., Swinton S.M.: Ecosystem services and dis-services to agriculture. Ecological Economics, 2007, **64**: 253-260.

A stylized, grey leaf-like graphic with a curved shape, positioned on the left side of the page, partially overlapping the text area.

**Antoni Faber
Zuzanna Jarosz**

V.

**BIOGOSPODARKA: ADAPTACJA
ROLNICTWA DO ZMIAN KLIMATU**

Zakład Biogospodarki i Agrometeorologii
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa
Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czarторыskich 8, 24-100 Puławy
tel. (0-81) 4786752

1. WSTĘP

Sekretarz Generalny ONZ Antonio Guterres, otwierając Szczyt Klimatyczny COP25 (Madryt 2–13 grudnia 2019 r.), stwierdził, że ludzkość stanęła na rozdrożu i ma przed sobą dwie drogi. Pierwsza prowadzi do punktu przełomu, który równoznaczny jest z utratą kontroli nad zmianami klimatycznymi, co oznacza brak możliwości powrotu do bezpiecznej egzystencji. Druga droga jest ścieżką nadziei polegającą na wyzwoleniu woli politycznej, zastosowaniu niezbędnych środków technicznych i zasobów, by katastrofy klimatycznej uniknąć. Słowa te mają uzasadnienie w niektórych ogłoszonych ostatnio artykułach i raportach naukowych.

W artykule opublikowanym w *Nature* (listopad 2019 r.) sformułowano tezę, iż nie można wykluczyć, że już utraciliśmy kontrolę nad procesami zmian klimatu (Lenton i in. 2019). Wynikać to ma z osiągnięcia punktów przełomowych (ang. *tipping points*) w funkcjonowaniu ekosystemów. Należą do nich: częste susze w amazońskich lasach deszczowych, zmniejszenie powierzchni lodu w Arktyce, zmiany w cyrkulacji atlantyckiej od 1950 r., pożary i szkodniki w lasach strefy borealnej, wymieranie na dużą skalę raf koralowych, zanikanie lodu na Grenlandii, rozmarzanie wiecznej zmarzliny oraz przyspieszenie utraty lodu w zachodniej i wschodniej Antarktyce. Oprócz tego, że zmiany te są symptomami ocieplenia klimatu niektóre z nich mogą przyczynić się do dalszego wzrostu temperatur (zwiększone odbicie światła od pozbawionego lodu oceanu), inne mogą powodować znaczny wzrost emisji gazów cieplarnianych. Z artykułu wynika, że aby utrzymać średni wzrost temperatury na poziomie 1,5°C, do atmosfery nie może trafić w sumie więcej niż 500 Gt dwutlenku węgla, podczas gdy emisje z rozmarzającej zmarzliny mogą wynieść 100 Gt, z lasów borealnych – 110 Gt, z Amazonii – 90 Gt. Oznacza to, że w bilansie zmniejsza się dramatycznie wielkość dopuszczalnych emisji antropogenicznych.

Z badań Bendella (2018) wynika, że zmiany klimatu przebiegają szybciej niż przewidywano, co może prowadzić do katastrof klimatycznych. Jego zdaniem jest zbyt późno, aby zmiany te powstrzymać. Pozostaje jedynie dążenie do minimalizacji skutków katastrof klimatycznych poprzez głęboką adaptację.

Optymizmem nie napawają też wyniki wskazujące, że w ostatnim pięcioleciu (2015–2019) emisje dwutlenku węgla wzrosły w porównaniu z poprzednim o ok. 20%, czemu towarzyszyły wzrosty stężenia w atmosferze podstawowych gazów cieplarnianych (WMO 2019). Średnie temperatury w latach 2015–2019 oraz 2010–2019 były najwyższe w historii. Potwierdzono przyspieszenie tempa wzrostu poziomu mórz oraz zmniejszenie zasięgów pokrywy lodowej.

W 2019 r. przyrost emisji CO₂ w stosunku do 2018 r. wyniósł 0,6%, co odpowiadało emisji 37 Gt dwutlenku węgla (Friedlingstein i in. 2019). Emisje obniżyły się w UE i USA o 1,7%, natomiast wzrosły w Chinach o 2,6% i Indiach o 1,8%. Aby obecnie osiągnąć stabilizację wzrostu temperatury na poziomie 1,5°C, zgodnie z porozumieniem paryskim, redukcja emisji gazów cieplarnianych powinna wynosić 7,6% rocznie. Jednakże przy obecnych planach redukcji emisji w poszczególnych

państwach, niższych niż wymagane, temperatura pod koniec wieku może wzrosnąć o 3,0–3,2°C w stosunku do okresu przedindustrialnego (UNEP 2018, Lenton i in. 2019). Przeciwdziałanie temu zagrożeniu i utrzymanie wzrostu temperatury na poziomie 1,5°C do 2100 r. wymaga osiągnięcia zerowej emisji netto gazów cieplarnianych przed 2067 r. oraz zmniejszenia emisji do 27,4 Gt CO₂ eq przed 2030 r. (IPCC 2018). Unia Europejska rozważa osiągnięcie zerowej emisji netto przynajmniej przed 2050 r. (EP 2019).

W zaistniałej sytuacji, przy ciągle niewystarczającym ograniczaniu emisji gazów cieplarnianych (mitygacji), szczególnego znaczenia nabiera adaptacja rolnictwa do zmian klimatu. Celem niniejszego rozdziału było dokonanie przeglądu nowszej literatury na ten temat.

2. EFEKTY ZMIAN KLIMATU STWIERDZANE OBECNIE

Rolnictwo już obecnie odczuwa zachodzące zmiany klimatu (Ray i in. 2019). Z badań przeprowadzonych dla 20 000 jednostek administracyjnych na świecie dla dziesięciu ważniejszych upraw (jęczmień, kassawa, kukurydza, palma oleista, rzepak, ryż, sorgo, soja, trzcina cukrowa i pszenica) wynika, że spadki lub wzrosty plonów wahały się w granicach od –13,4% (palma oleista) do 3,5% (soja). Spadki plonów występowały głównie w Europie, północnej Afryce Północnej i Australii, zaś wzrosty plonów w Ameryce Łacińskiej. Wpływ zmian klimatu na plony w Azji, północnej i centralnej Ameryce był mieszany (spadki i wzrosty plonów). Stwierdzone wpływy obniżyły średnio o ok. 1% ($-3,5 \times 10^{13}$ kcal·r⁻¹) konsumowaną ilość kalorii. Dostępność kalorii w żywności zmalała w około połowie krajów niemających zapewnionego bezpieczeństwa żywnościowego.

Plony dla dominujących (nietropikalnych) upraw w zachodniej i południowej Europie spadły wskutek zmian klimatu od 6,3 do 21,0% (Ray i in. 2019). Częściowo można to tłumaczyć stagnacją plonów w Europie. Stwierdzono spadki plonów podstawowych upraw (pszenicy, jęczmienia, kukurydzy i rzepaku) na obszarze części stepów europejskiej Rosji oraz w pasie zbożowym zachodniej Syberii. Jęczmień, kukurydza i sorgo niżej plonowały również na Ukrainie. Roczne straty plonów w Europie Zachodniej i Południowej były dość wysokie, choć zdarzały się wyjątki, jak w Andaluzji w południowej Hiszpanii, gdzie plony pszenicy wzrosły. We wschodniej i północnej Europie straty plonów były powszechne w przypadku kukurydzy (–24,5%), jęczmienia (–9,1%) i pszenicy (–2,1). Spadki plonów we Francji zmniejszyły produkcję kalorii badanych roślin o ok. 24%, a w konsumowanej żywności o ok. 7% kalorii. Duże zmniejszenie konsumowanej ilości kalorii ze względu na zmiany klimatu występowały również w Niemczech (~ –11%), Hiszpanii (~ –4%), Włoszech (~ –7%). We wschodniej i północnej Europie duże spadki konsumpcyjnych kalorii stwierdzano na Węgrzech (~ –11%), w Rumunii (~ –7%) oraz Irlandii (~ –3%).

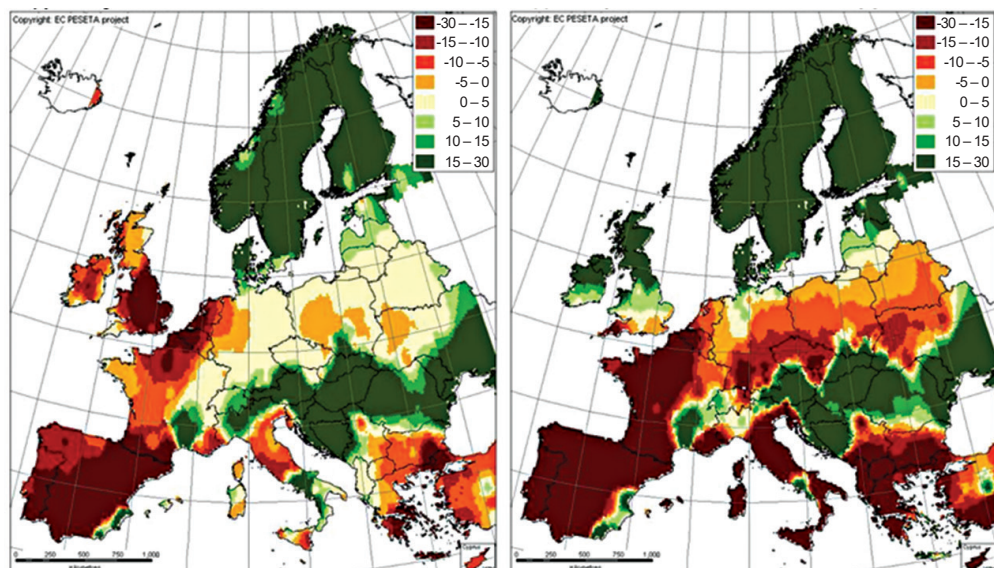
Z badań trendów plonów, zagregowanych dla poziomów krajów europejskich, wynika, że od 1989 r. plony malały istotnie statystycznie w przypadku pszenicy ($-2,5\%$), jęczmienia ($-3,8\%$), natomiast rosły nieznacznie w przypadku kukurydzy ($0,2\%$) oraz buraków cukrowych ($0,3\%$) (Moore i Lobell 2015). Znaczące spadki plonów większości upraw wystąpiły przede wszystkim w rejonie Morza Śródziemnego. Uzyskane wyniki sugerują, że trendy klimatyczne objaśniały ok. 10% stwierdzanej od 1990 r. stagnacji plonów pszenicy i jęczmienia w Europie.

3. PROGNOZOWANE EFEKTY ZMIAN KLIMATU

Większość scenariuszy zmian klimatu przewiduje, że do 2050 r. minimalny wzrost średniej globalnej temperatury może wynieść 2°C w stosunku do poziomu przedindustrialnego (EC 2018a). Spowodować to może zmiany długoterminowych trendów w lokalnych temperaturach, wzorcach opadów, a także zwiększenie częstotliwości i intensywności ekstremalnych zjawisk klimatycznych, takich jak: fale upałów, burze, susze i intensywne opady. Zmiany te będą w sposób zróżnicowany wpływać na rolnictwo w Europie, powodując następujące skutki (EC 2018a, EEA 2019):

- Wydłużenie okresu wegetacji, co doprowadzi do rozszerzenia na północ obszarów, na których można uprawiać określone rośliny. Oczekiwać można, że obszary sprzyjające wykorzystywaniu użytków zielonych, uprawie pszenicy i jęczmienia będą obejmować strefę borealną (Finlandia, Szwecja, Litwa, Estonia, Łotwa). W niektórych częściach południowej Europy (np. w Hiszpanii) cieplejsze warunki pozwolą w niektórych przypadkach przenieść uprawy z okresu letniego na okres zimowy;
- Zmiany w fenologii upraw będą się pogłębiać, co może prowadzić do skracania okresu wypełniania ziarna zbóż i roślin oleistych oraz w efekcie obniżać plony;
- Wzrost występowania szkodników roślin oraz chorób zwierząt wskutek wzrostu temperatur;
- Wzrost występowania zdarzeń ekstremalnych (fal upałów, susz i powodzi) zwiększający ryzyko utraty upraw i szkód w produkcji zwierzęcej, szczególnie w środkowej i południowej Europie;
- Wzrost zapotrzebowania na nawadnianie upraw, szczególnie w południowej Europie, gdzie już obecnie istnieje znaczna konkurencja między różnymi użytkownikami zasobów wody.

Zmiany klimatu do 2080 r. spowodują spadki lub wzrosty średnich plonów w Europie, których wielkość zależeć będzie od przyjętego scenariusza zmian klimatu (rys. 1).



Rys. 1. Procentowe spadki lub wzrosty plonów w 2080 roku w stosunku do lat 1961–1990 dla scenariusza wysokich emisji (IPCC A2) oraz dwóch różnych modeli klimatycznych: HadCM3/HIRHAM (z lewej) oraz ECHAM4/RCA3 (EC 2019)

Symulacje wykazały ponadto, że do 2050 r. na sektor rolny będą miały wpływ zarówno regionalne zmiany klimatu, jak również spowodowane nimi zmiany w konkurencyjności produkcji (Pérez Domínguez i Fellmann 2018). Jeśli efekty te wyrazić zagregowanymi zmianami cen, to w scenariuszu nieuwzględniającym nawozowego działania na rośliny CO₂ ceny u producenta w UE wahać się będą w zakresie –3% dla zbóż (–7% dla pszenicy) do +5% dla innych roślin uprawnych (np. rośliny bobowate i buraki cukrowe). Zmiany cen produktów zwierzęcych u producenta wahać się będą między –6% w przypadku mięsa owiec i kóz a +4% w przypadku mięsa wieprzowego. W scenariuszu z nawozowym działaniem dwutlenku węgla na rośliny ceny u producenta spadną od –20% dla zbóż (–25% dla pszenicy) do prawie –50% dla warzyw i upraw trwałych. W przypadku produktów zwierzęcych ceny u producenta spadać będą w zakresie od –7,5% w przypadku mleka krowiego do –19% w przypadku mięsa wołowego, ze względu na niższe ceny pasz. Według obu badanych scenariuszy bilans handlowy UE poprawi się w przypadku większości produktów rolnych, z wyjątkiem wołowiny, owiec i kóz. Nie przewiduje się większych zmian w konsumpcji żywności w UE. Zmiany w produkcji, handlu i cenach u producenta sprawiają, że w scenariuszu bez nawozowego działania CO₂ dochód rolniczy zagregowany na poziomie UE-28 wzrośnie o 5%. W scenariuszu z nawozowym działaniem CO₂ zagregowany dochód rolniczy spadnie o 16%. Dochód rolniczy w Polsce będzie rósł niezależnie od rozpatrywanego scenariusza.

4. STRATEGIE ADAPTACJI DO ZMIAN KLIMATU W UE I W POLSCE

Ramowa Konwencja Narodów Zjednoczonych w Sprawie Zmian Klimatu (UNFCCC) (UN 1992) w artykule 4.1b stanowi, że strony są zobowiązane do opracowania i wdrożenia programów krajowych oraz, w stosownych przypadkach, regionalnych programów prowadzących do mitygacji zmian klimatu oraz ułatwiających adaptację do zmian klimatu. Ponadto w protokole z Kioto (art. 10) zobowiązuje się strony do promowania i ułatwiania adaptacji oraz wdrażania technologii adaptacyjnych w celu przeciwdziałania skutkom zmian klimatu (IPCC 2007).

Strategia adaptacji UE do zmian klimatu została przyjęta przez Komisję Europejską w kwietniu 2013 r. (EC 2013). Ma ona na celu przyczynienie się do bardziej odpornej na zmiany klimatu Europy oraz zwiększenia jej gotowości i zdolności do reagowania na skutki zmian klimatu na szczeblu lokalnym, regionalnym, krajowym i unijnym (COWI 2017). Porozumienie paryskie wzmocniło wymienione cele, dążąc do „zwiększenia zdolności adaptacyjnych, wzmocnienia odporności i zmniejszenia podatności na zmiany klimatu” (UNFCCC 2015). W odróżnieniu od ram polityki mitygacji strategia adaptacji UE nie określa wiążących celów ani wymagań dla państw członkowskich. Zamiast tego skupia się na zapewnieniu dokumentów pomocniczych i wskazówek, aby pomóc państwom członkowskim w opracowaniu ich własnych inicjatyw adaptacyjnych z uwzględnieniem zasad spójności i pomocniczości. Transgraniczne kwestie adaptacji są jednak rozwiązywane na poziomie UE, np. współzależność gospodarcza i ekologiczna, wspólne problemy związane ze zmianami klimatu, takie jak powódzie, gospodarowanie na wybrzeżach oraz gospodarka wodna. Strategia wymaga od krajów członkowskich szerszego uwzględnienia tych kwestii transgranicznych. Obejmuje ona również szereg dokumentów i wskazówek pomocniczych służących osiągnięciu trzech celów strategii adaptacji, w tym zasad i zaleceń dotyczących włączenia działań adaptacyjnych do PROW 2014–2020 (tj. poprawy informacji o ryzyku oraz określenia potrzeb poprawy odporności na zmiany klimatu do 2020 r.). Strategia zachęca państwa członkowskie do opracowania własnych strategii i planów adaptacji oraz zgłaszania ich za pośrednictwem rozporządzenia w sprawie środków monitorowania (MMR). Do 2019 r. 28 krajów europejskich (EU 25 i trzy kraje EEA) miało opracowane strategie adaptacji, w tym 17 krajów (EU 15 i dwa kraje EEA) miało przygotowane plany adaptacji (EEA 2019). Z dokonanego w 2019 r. monitoringu (MMR) wynika, że w krajowych strategiach adaptacja rolnictwa do zmian klimatu zaliczana była do działań priorytetowych.

W 2018 r. KE opublikowała ocenę realizacji unijnej strategii adaptacji (EC 2018b). Wynika z niej, że cele i działania strategii były realizowane różnie w różnych sektorach gospodarki. Z oceny wynika także, że spośród 4 analizowanych sektorów najbardziej wrażliwe na zmiany klimatu było rolnictwo (EC 2018c)

Główne działania na rzecz adaptacji w rolnictwie, które mogą być wspierane ze środków publicznych, są następujące (Ignaciuk 2015):

- badania i rozwój (B+R), na przykład w celu oceny wpływu zmian klimatu lub wspierania rozwoju nowych technologii dla rolników (np. technologii niskiego nawożenia);
- budowanie zdolności do zwiększania wiedzy i uwzględniania najlepszych praktyk produkcyjnych;
- zarządzanie ryzykiem pozwalające poprawić odporność na ryzyko wynikające z częstszego występowania ekstremalnych zjawisk pogodowych i zwiększonej zmienności cen spowodowanej pośrednio zmianami klimatu;
- podawanie dokładniejszych informacji o spodziewanej pogodzie, w tym terminy i dokładniejsze alerty pogodowe oraz promowanie dostępności produktów ubezpieczeniowych i innych instrumentów (np. narzędzi stabilizacji dochodów);
- tworzenie infrastruktury mającej na celu zwiększenie odporności lub zdolności adaptacyjnej w sektorze rolnym (np. zbiorniki na deszczówkę);
- tworzenie mechanizmów finansowania działań adaptacyjnych na poziomie gospodarstwa.

Polska Narodowa Strategia Adaptacji do Zmian Klimatu opublikowana została w 2013 r. (MŚ 2013). Według niej z punktu widzenia produkcji roślinnej najważniejsze są zmiany temperatury i opadów. Prognozy wskazują, że wyższe temperatury doprowadzą do wydłużenia okresu wegetacji po 2020 r. (230 dni), w stosunku do wielolecia 1971–2000 (214 dni). Największe zmiany w okresie wegetacji wystąpią w północnej i północno-zachodniej części Polski. W efekcie przesunięte zostaną terminy wykonywania prac polowych i zmienią się plony roślin. Wzrosnąć mogą plony roślin ciepłolubnych (kukurydza, słonecznik, soja, winorośl). Pogłębić się może występowanie susz, zwłaszcza w województwach wielkopolskim i kujawskim oraz w zachodniej i środkowej Polsce. W okresie letnim mogą występować intensywniejsze opady, co wymagać będzie sprawnych systemów drenażu pól. Zwiększyć się może nasilenie chorób i szkodników roślin. Należy spodziewać się, że wzrośnie częstość występowania lat z niekorzystną pogodą, co może pogorszyć wydajność rolnictwa. Na produkcję zwierzęcą może negatywnie wpływać wzrost cen pasz oraz zwiększenie stresów termicznych.

Strategia oraz Strategiczny plan adaptacji do 2020 r. (MŚ 2013) w odniesieniu do rolnictwa zakładają skuteczną adaptację do zmian klimatu na obszarach wiejskich poprzez realizację następujących celów: rozwój lokalnych systemów monitorowania i wczesnego ostrzegania przed zagrożeniami, organizacyjna i techniczna adaptacja rolnictwa i rybactwa do zmian klimatu, wsparcie inwestycyjne dla gospodarstw oraz szkolenia i doradztwo technologiczne dostosowujące produkcję rolną do zwiększonego ryzyka klimatycznego i zapobiegania zmianom klimatu oraz doskonalenie systemu tworzenia i zarządzania rezerwami żywności, materiału siewnego i pasz w przypadku nieudanych zbiorów.

5. TYPY ADAPTACJI DO ZMIAN KLIMATU

Wyróżnia się kilka typów adaptacji do zmian klimatu (Smit i in. 1999, IPCC 2001, Teshome 2018), które przedstawiono niżej, zestawiając je w pary.

Adaptacje reaktywne a proaktywne

Adaptacja jest reaktywna lub proaktywna w zależności od bodźca (motywacji), który ją wywołuje i to niezależnie od tego, czy jest reakcją na zaobserwowane działanie klimatu, czy też podejmowane jest w oczekiwaniu na zmianę klimatu w przyszłości. Reaktywna adaptacja ma miejsce po zaobserwowaniu lub odczuciu wpływu zmiany klimatu. Jest ona również znana jako adaptacja *ex post*. Ponieważ reaktywna adaptacja jest oparta na bezpośrednim doświadczeniu, działania są ukierunkowane na znane zagrożenia. W tym sensie historyczne adaptacje były w dużej mierze reaktywne (Easterling i in. 2004, Burton i in. 2006). Proaktywna adaptacja następuje przed zaobserwowaniem i odczuciem skutków zmian klimatu. Ten rodzaj adaptacji jest znany również jako adaptacja antycypacyjna. W przeciwieństwie do adaptacji reaktywnej wybiega ona w przyszłość i uwzględnia niepewności związane z przewidywaniem zmian. Ponieważ zajmuje się ona przyszłymi zagrożeniami, które są niepewne co do czasu wystąpienia i nasilenia oddziaływania, utrudnione jest dokładne określenie, jakie środki potrzebne będą na taką adaptację oraz kiedy (Burton i in. 2006). Adaptację można również uznać za reaktywną lub proaktywną ze względu na formę. W tym przypadku rozróżnienie dotyczy natury reakcji społeczeństwa (Smit i in. 1999). Proaktywne podejście ma na celu ograniczenie narażenia na przyszłe ryzyko, na przykład poprzez unikanie działalności na obszarach podatnych na powodzie (zmiana lokalizacji). Podejście wyłącznie reaktywne ma na celu złagodzenie skutków dopiero po ich wystąpieniu, na przykład poprzez zapewnienie w nagłych wypadkach pomocy ofiarom powodzi (podział strat). Doświadczenie sugeruje, że adaptacja proaktywna wymaga większych inwestycji początkowych, ale jest skuteczniejsza i zmniejsza przyszłe ryzyko oraz koszty (Burton i in. 2006). W związku z tym, strategie adaptacyjne powinny dawać pierwszeństwo działaniom proaktywnym, które ograniczają przyszłe ryzyko strat gospodarczych.

Adaptacja autonomiczna a planowana

Adaptacja autonomiczna, zwana niekiedy spontaniczną, jest nieświadomą reakcją na bodźce klimatyczne. Wyzwalana jest zazwyczaj przez zmiany zachodzące w naturalnych ekosystemach lub przez zmiany rynkowe, bądź zmiany w dobrostanie ludzi. Adaptacja planowana jest natomiast wynikiem decyzji politycznych wynikających ze świadomości, że warunki uległy zmianie lub wkrótce się zmienią i że konieczne jest działanie, aby przywrócić, utrzymać lub osiągnąć pożądany stan (Smit i in. 1999, Burton i in. 2006).

Adaptacje prywatne a publiczne

Adaptacje prywatne podejmowane są przez osoby fizyczne, gospodarstwa lub prywatne przedsiębiorstwa i zwykle są racjonalnymi realizacjami własnych interesów. Adaptacje publiczne są inicjowane i wdrażane przez rządy różnych szczebli i ukierunkowane są zazwyczaj na realizację potrzeb zbiorowych (Easterling i in. 2004, Burton i in. 2006).

6. KATEGORIE ADAPTACJI DO ZMIAN KLIMATU

Omówione typy adaptacji mogą należeć do jednej lub większej liczby kategorii adaptacji, takich jak: ponoszenie strat, podział strat, modyfikacja zagrożeń, zapobieganie efektom zmian, zmiana użytkowania, zmiana lokalizacji, badania nowych technologii i metod adaptacji oraz kształcenie, informowanie i zachęcanie do zmian zachowań (Teshome 2018).

Ponoszenie strat

Jest to kategoria, która polega na niepodejmowaniu działań adaptacyjnych i akceptacji ponoszonych strat. Może wystąpić wtedy, gdy brak jest zdolności do reagowania na zagrożenie lub gdy koszty działań adaptacyjnych są niewspółmiernie wysokie w stosunku do oczekiwanych szkód.

Podział strat

W kategorii tej poniesione straty dzielone są wśród większej społeczności. W tradycyjnych społeczeństwach straty dzielone są wśród członków wielopokoleniowej rodziny, mieszkańców wsi lub małej społeczności (adaptacja autonomiczna). W społeczeństwach rozwiniętych straty rekompensowane są z pomocy publicznej lub prywatnych ubezpieczeń (planowana adaptacja publiczna, reaktywna).

Modyfikacja zagrożeń

Do kategorii tej należą działania, które zapewniają korzyści adaptacyjne poprzez sprawowanie kontroli nad zagrożeniami, na przykład takimi, jak: powódzie, podtopienia czy susze. W zależności od czasu ich przeprowadzenia mogą być reaktywne lub proaktywne, planowane lub autonomiczne oraz prywatne lub publiczne.

Zapobieganie efektom zmian

Polega na zapobieganiu skutkom zmian klimatu i zmienności klimatycznej poprzez zmiany w praktykach rolniczych (nawadnianie, optymalne nawożenie, kontrola pojawów chorób i szkodników, nowe odmiany odporniejsze na stres termiczny i wodny). Jest to więc kategoria związana z wdrożeniem lepszych technologii

rolniczych oraz zwiększeniem zdolności instytucjonalnych, zwłaszcza w zakresie wczesnego ostrzegania przed anomaliami pogodowymi.

Zmiana użytkowania

Stosowana jest, gdy zagrożenie powodowane zmianami klimatycznymi uniemożliwia kontynuację danego działania lub stawia go w wyjątkowo ryzykownej sytuacji. Na przykład rolnik zmienia rośliny uprawne lub zwierzęta gospodarskie na takie, które są lepiej dostosowane do zmieniających się warunków klimatycznych. Niekiedy może też być konieczna zmiana użytkowania gruntów ornych poprzez przekształcenie ich w pastwiska, lasy lub użytki ekologiczne.

Zmiana lokalizacji

Ta kategoria jest reakcją najbardziej ekstremalną i polega na przenoszeniu upraw i regionów uprawy na tereny nienarażone na skutki zmian klimatu. Na przykład przeniesienie niektórych upraw na obszary północnej Europy.

Badania nowych technologii i metod adaptacji

Efektywność adaptacji zależy od badań nad nowymi technologiami produkcji i metodami adaptacji. Znaczącą rolę do odegrania mają tu instytucje naukowe, agencje zajmujące się ochroną środowiska i bioróżnorodności. Oczekuje się, że nauki rolnicze dostarczą nowych wysokoplonujących odmian odpornych na stresy abiotyczne i biotyczne, jak również ras zwierząt odporniejszych na stresy termiczne.

Kształcenie, informowanie i zachęcanie do zmian zachowań

Istotne znaczenie dla efektywności adaptacji ma upowszechnianie wiedzy, kampanie edukacyjne oraz informacyjne, których celem ma być zmiana zachowań rolników i konsumentów żywności. Kategoria ma obecnie większy priorytet niż w przeszłości.

Omówione dotąd typy i kategorie adaptacji wydają się być właściwe w odniesieniu do projekcji przyszłej zmienności klimatycznej. Bendell (2018) uważa, że mogą być one daleko niewystarczające w przypadku utraty kontroli nad zmianami klimatu. W takiej sytuacji należy się liczyć już nie tyle z ekstremalnymi zjawiskami pogodowymi, co raczej ze skutkami o nasileniu katastrofalnym. Cytowany autor zaproponował na taką ewentualność, jako częściowe remedium, głęboką adaptację. Elementami takiej adaptacji są: rezylercja, rezygnacja oraz rewitalizacja.

Rezylercja w tej koncepcji jest rozumiana jako zdolność ludzkich wspólnot do przystosowania się do zmieniających się warunków, z zachowaniem norm i wartości przydatnych do przetrwania (Bendell 2018). Ponieważ jednak zachodzące zmiany klimatyczne mogą prowadzić nieuchronnie do społecznych zapaści, to istotne staje się rozstrzygnięcie kwestii, których norm i wartości społeczeństwo potrzebuje do

przetrwania. Dlatego oprócz rezylerencji niezbędna jest rezygnacja. Ma ona polegać na uświadomionej konieczności porzucenia przez ludzi i społeczeństwa tych zasobów, zachowań i przekonań, które mogłyby pogorszyć sytuację. Przykładami mogą być przesiedlenia ludzi z obszarów narażonych na zalanie, zamykanie zagrożonych przedsięwzięć gospodarczych czy zmiany nawyków konsumpcyjnych. W końcu trzecim elementem głębokiej adaptacji jest rewitalizacja, z takimi działaniami, jak: rewitalizacja dzikiej przyrody, powrót do sezonowej diety, rozwój lokalnych form produkcji i spółdzielczości. Praca Bendella (2018) jest pierwszą, w której rozważa się adaptację w sytuacji katastrofy klimatycznej. Niewątpliwie przezorność nakazuje dalsze rozwijanie tego wątku badań i analiz.

7. ADAPTACJA ROLNICTWA DO ZMIAN KLIMATU

IPCC (2014) definiuje adaptację jako proces dostosowania do aktualnego lub oczekiwanego klimatu oraz jego wpływów. Z terminem adaptacji powiązany jest termin wrażliwość na zmiany klimatu. Rozumie się ją jako „stopień w jakim system jest podatny na zmiany klimatu i niezdolny do radzenia sobie z niekorzystnymi zmianami, w tym ze zmiennością klimatu i jego ekstremami (Parry i in. 2007). Wrażliwość jest funkcją charakteru, wielkości, tempa zmian klimatu i zmienności, na które system jest narażony, oraz zdolności tego systemu do adaptacji. Rolnictwo zaliczane jest do systemów wrażliwych na zmiany klimatu, dlatego adaptacja rolnictwa do zmian klimatu ma kluczowe znaczenie dla utrzymania bezpieczeństwa żywnościowego i jest warunkiem efektywnej działalności gospodarstw rolnych.

Uważa się, że środki adaptacyjne na poziomie rolnictwa i gospodarstw obejmują niezbędne polityki adaptacyjne (strategie i plany działań), rozwiązania technologiczne, dostosowania w zarządzaniu oraz strukturze gospodarstw.

Na poziomie rolnictwa (w kraju lub regionie) mogą to być następujące środki adaptacji (EC 2015):

- identyfikacja wrażliwych obszarów i sektorów produkcji oraz ocena potrzeb i możliwości zmiany upraw i odmian w odpowiedzi na trendy klimatyczne;
- wsparcie badań rolniczych i produkcji eksperymentalnej mającej na celu selekcję roślin i rozwój odmian najlepiej dostosowanych do nowych warunków;
- budowanie zdolności adaptacyjnych poprzez podnoszenie świadomości oraz dostarczanie istotnych informacji i porad dotyczących zarządzania gospodarstwem.

W odniesieniu do adaptacji na poziomie gospodarstwa rolnego możliwe mogą być krótko- i średnioterminowe rozwiązania adaptacyjne, takie jak (EC 2015):

- dostosowanie do warunków terminów prac w gospodarstwie, takich jak daty siewu i sadzenia oraz zabiegów uprawowych;
- rozwiązania techniczne, takie jak ochrona sadów przed uszkodzeniami spowodowanymi mrozem lub poprawa systemów wentylacji i chłodzenia w pomieszczeniach dla zwierząt;

- wybieranie upraw i odmian lepiej dostosowanych do oczekiwanej długości sezonu wegetacyjnego i dostępności wody oraz bardziej odpornych na nowe warunki temperatury i wilgotności;
- uzyskanie lepszych odmian dzięki wykorzystaniu istniejącej różnorodności genetycznej i nowych możliwości oferowanych przez biotechnologię;
- poprawa skuteczności zwalczania szkodników i chorób poprzez lepsze monitorowanie ich pojawów, zróżnicowanie płodozmianów lub zintegrowane metody zwalczania chorób i szkodników;
- bardziej efektywne wykorzystanie wody poprzez zmniejszenie jej strat, poprawę praktyk nawadniania oraz recykling lub gromadzenie wody;
- poprawa gospodarowania glebą poprzez zwiększenie retencji wody w celu zachowania wilgotności gleby oraz zarządzanie krajobrazem, takie jak zachowanie cech krajobrazu zapewniających ochronę gleb oraz schronienie dla zwierząt;
- wprowadzenie bardziej tolerancyjnych cieplnie ras zwierząt gospodarskich i dostosowanie wzorców żywieniowych zwierząt do warunków stresu cieplnego.

Omówione środki adaptacji zostały poszerzone na poziomie krajowym lub regionalnym o środki adaptacyjne, takie jak: podnoszenie świadomości rolników i doradztwo, zarządzanie ryzykiem, doskonalenie infrastruktury do nawodnień oraz zapobieganie powodziom (EEA 2019).

Rolnicy są obecnie świadomi tych zmian klimatu, których doświadczają. Niemniej istnieje potrzeba szerokiego informowania ich o spodziewanych zmianach klimatu i ich skutkach oraz o właściwych sposobach adaptacji do tych zmian w rejonach ich gospodarowania. Działania prowadzone w tym zakresie przez ośrodki doradztwa rolniczego (ODR) powinny być w większym stopniu włączane do systemu zaleceń. Byłoby to zgodne z zachętami KE do podejmowania starań w tym zakresie.

Szczególnego znaczenia w adaptacji do zmian klimatu nabiera zarządzanie ryzykiem (EEA 2019). Ogólnie rzecz ujmując, można wyróżnić trzy sposoby zarządzania ryzykiem, poprzez: fundusze na likwidację skutków klęsk żywiołowych, fundusze wspólnego inwestowania oraz ubezpieczenia prywatne. Pierwsze z nich tworzone są przez rządy ze środków publicznych i pokrywają, zazwyczaj w części, niektóre szkody o nasileniu klęskowym. Fundusze wspólnego inwestowania są niekiedy tworzone przez rolników regionalnie i obejmują opcję wzajemnej reasekuracji. Dobrym narzędziem zmniejszenia lub eliminacji ryzyka są ubezpieczenia prywatne. Szerzej stosowane są one w produkcji roślinnej, jako zabezpieczenie przed utratą zbiorów wskutek określonej klęski żywiołowej (gradobicia, suszy, powodzi). W produkcji zwierzęcej obejmują najczęściej ubezpieczenia przed upadkiem zwierząt oraz chorobami nieepidemicznymi. Istotnymi elementami zarządzania ryzykiem w przypadku inwentarza żywego są programy pomocy sanitarnej i zwalczanie kryzysów chorobowych, które objęte są pomocą publiczną. Ubezpieczenia upraw lub zwierząt są kosztowne. Żeby mogły być skutecznym narzędziem adaptacyjnym, powinny być

nimi objęte różne czynniki pogodowe, co może zwiększyć i tak wysokie koszty polis. Dotychczas w ramach PROW (2014–2020) możliwe jest wspomaganie następujących narzędzi zarządzania ryzykiem (EC 2017):

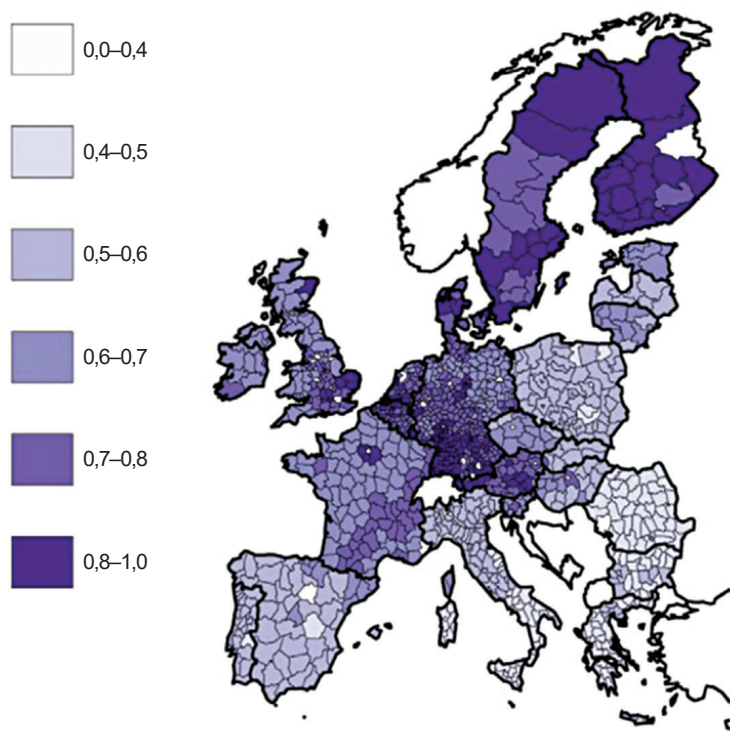
- wsparcie dla rolników kupujących ubezpieczenie, pod warunkiem, że straty objęte ubezpieczeniem wynoszą więcej niż 30% średniej kwoty odszkodowania z okresu trzech lat;
- współfinansowanie wkładu do funduszy wspólnego inwestowania w zakresie pokrycia kosztów administracyjnych tworzenia funduszu oraz rekompensat dla gospodarstw;
- kompensacja strat w dochodach rolników w ramach narzędzi stabilizacji dochodów (IST).

Istotnym działaniem adaptacyjnym jest zarządzanie ryzykiem powodziowym w ramach dyrektywy powodziowej (Dz.U. L 288 z 6.11.2007) oraz planów zarządzania ryzykiem powodziowym. Podejmowane w tym zakresie przedsięwzięcia to: renowacja lub budowa polderów oraz obszarów zalewowych, dostosowanie wałów przeciwpowodziowych do przyszłych zagrożeń, zalesienie gruntów porzuconych, utrzymywanie w dobrym stanie koryt rzek oraz poprawa retencji wodnej.

Na poziomie gospodarstwa adaptacja do zmian klimatu wymaga podjęcia działań technicznych, takich jak: utrzymywanie w sprawności systemów drenarskich, poprawa efektywności nawodnień, gromadzenie wody opadowej, stosowanie rolnictwa precyzyjnego, modyfikacja kalendarza zabiegów uprawowych, stosowanie roślin okrywowych, wprowadzanie do uprawy roślin zaadaptowanych do zmian klimatu, dywersyfikacja upraw, poprawa struktury gleby oraz stosowanie uprawy uproszczonej lub systemu bezorkowego (EEA 2019).

Skuteczna adaptacja do zmian klimatu wymaga właściwego poziomu pięciu determinujących ją czynników: wiedzy i świadomości, zasobów technologicznych, infrastruktury, instytucji oraz zasobów gospodarczych. Czynniki te uwzględnione zostały w indeksie zdolności do adaptacji ESPON (rys. 2). Indeks zawiera się w przedziale od 0 (mała zdolność do adaptacji) do 1 (duża zdolność do adaptacji). Wartości indeksów są zróżnicowane w skali Europy.

Przeważający obszar Polski charakteryzuje się mniej niż średnimi wartościami indeksów zdolności do adaptacji (0,4–0,5). Sugerowałoby to, że niezbędne i pilne są działania zmierzające do zwiększenia w Polsce zdolności adaptacyjnych do zmian klimatu.



Rys. 2. Indeks zdolności do adaptacji ESPON (Greiving i in. 2013)

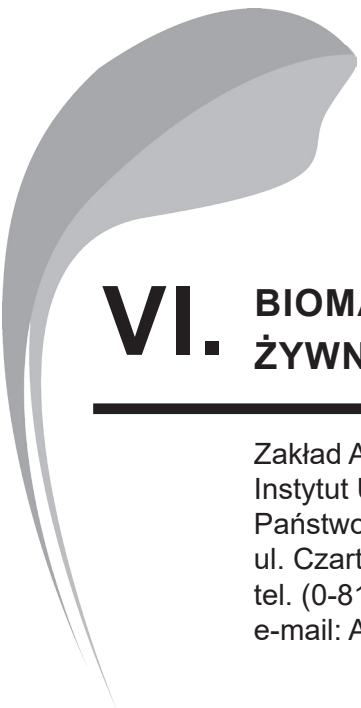
8. PODSUMOWANIE

Przez wiele lat mitygacja zmian klimatu była postrzegana jako działanie znacznie ważniejsze od adaptacji do zmian klimatu. Dziś, w obliczu mniejszej niż oczekiwano efektywności mitygacji, w tym niepowodzeń w międzynarodowym uzgadnianiu ambitniejszych planów redukcji emisji gazów cieplarnianych, szczególnego znaczenia nabiera adaptacja. Rolnictwo jest dziedziną gospodarki szczególnie wrażliwą na zmiany klimatu. Z tego względu prowadzenie w nim efektywnych działań adaptacyjnych jest imperatywem. Krajowe strategie adaptacji na ogół są realizowane dość skutecznie i zgodnie z założonymi planami. Jednakże przyszła produktywność rolnictwa, a w efekcie także poziom bezpieczeństwa żywnościowego, zależą będą od zdolności gospodarstw do adaptacji. Działania prowadzone w tym zakresie wydają się być niewystarczające. Zwłaszcza jeśli wziąć pod uwagę fakt, że skutki zmian klimatu mogą być znacznie poważniejsze, niż wcześniej przewidywano. W zaistniałej sytuacji gospodarstwa powinny być objęte doradztwem w zakresie adaptacji dostosowanym do lokalnych warunków gospodarowania. Widmo już nie tylko ekstremalnych zjawisk pogodowych, ale również możliwych klęsk żywiołowych nagli do podjęcia stosownych działań adaptacyjnych w skali gospodarstw.

9. LITERATURA

1. B e n d e l l J.: Deep adaptation: a map for navigating climate tragedy. IFLAS Occasional Paper 2, 2018.
2. B u r t o n I., D i r i n g e r E., S m i t h J.: Adaptation to climate change: international policy options. Pew Center Global Climate Change. Arlington, USA, 2006, pp. 28.
3. COWI 2017. Mainstreaming of adaptation into the ESIF 2014–2020. Report for European Commission DG CLIMA, COWI, Denmark.
4. Dyrektywa 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim (Dz.U. L 288 z 6.11.2007, pp. 27–34)
5. E a s t e r l i n g W.E., H u r d B.H., S m i t h J.B.: Coping global climate change: the role of adaptation in the United States. Pew Center on Climate Change, Arlington, USA, 2004.
6. European Commission (EC) 2018a. Evaluation study of the impact of the CAP on climate change and greenhouse gas emissions. ISBN 978-92-79-85797-3.
7. European Commission (EC) 2018b. Report from the Commission to the European Parliament and the Council on the implementation of the EU Strategy on adaptation to climate change, COM(2018) 738 final.
8. European Commission (EC) 2018c. Commission Staff Working Document. Evaluation of the EU Strategy on adaptation to climate change. Accompanying the document Report from the Commission to the European Parliament and the Council on the implementation of the EU Strategy on adaptation to climate change, SWD(2018) 461 final.
9. European Commission (EC) 2017. Risk management schemes in EU agriculture. Dealing with risk and volatility. EU Agricultural Markets Briefs No 12, European Commission; https://ec.europa.eu/agriculture/sites/agriculture/files/markets-and-prices/market-briefs/pdf/12_en.pdf
10. European Commission (EC) 2015. EU agriculture and climate change; <https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/sustainability-and-natural-resources/agriculture-and-environment/agriculture-and-climate-change>
11. European Commission (EC) 2013. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions — An EU Strategy on adaptation to climate change, COM(2013) 216 final.
12. European Commission (EC) 2019. PESETA I results – Impacts of climate change on agriculture (crop yields); <https://ec.europa.eu/jrc/en/peseta/peseta-i-results/impacts-climate-change-agriculture-crop-yields>
13. EEA 2019. Climate change adaptation in the agriculture sector in Europe. EEA Report, No 04, ISSN 1977-8449.
14. European Parliament (EP) 2019. European Parliament resolution of 28 November 2019 on the 2019 UN Climate Change Conference in Madrid, Spain (COP 25) (2019/2712(RSP)).
15. F r i e d l i n g s t e i n P., J o n e s M.W., O ’ S u l l i v a n M., A n d r e w R.M. i n.: Global Carbon Budget 2019. Earth Syst. Sci. Data, 2019, **11**: 1783-1838.
16. G r e i v i n g S., F l e x F., L i n d n e r C., L ü c k e n k ö t t e r J. et al.: ESPON Climate – Climate Change and Territorial Effects on Regions and Local Economies Applied Research 2013/1/4 Scientific Report. Dortmund, ESPON & IRPUD, TU Dortmund University, 2013.
17. I g n a c i u k A.: Adapting agriculture to climate change: a role for public policies. OECD Food Agriculture and Fisheries Papers, No. 85, OECD, Paris 2015.
18. IPCC 2018. Global warming of 1,5 °C. Special report; <https://www.ipcc.ch/sr15/>

19. IPCC 2014. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Cambridge University Press, 2014, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
20. IPCC 2007. Adaptation to climate change in the context of sustainable development background paper. UNFCCC Secretariat Bonn, Germany.
21. IPCC 2001. Intergovernmental panel on climate change 2001: Impacts, adaptation and vulnerability. Cambridge University Press, England, UK.
22. Lenton T.M., Rockström J., Gaffney O., Rahmstorf S., Richardson K., Steffen W., Schellnhuber H.J.: Climate tipping points – too risky to bet against. *Nature*, 575, 27 November 2019. Ministry of the Environment Republic of Poland (ME), 2013. Polish National Strategy for Adaptation to Climate Change (NAS 2020) with the perspective by 2030. Warsaw 2019.
23. Ministerstwo Środowiska (MŚ) 2013. Strategiczny plan adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu do roku 2020 z perspektywą do roku 2030, Warszawa.
24. Moore F.C., Lobell D.B.: The fingerprint of climate trends on European crop yields. *PNAS*, 2015, 112, 9: 2670-2675.
25. Parry M.L., Canziani O.F., Palutikof J.P., van der Linden P.J., Hanson C.E.: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2007.
26. Pérez Domínguez I., Fellmann T.: PESETA III: Agro-economic analysis of climate change impacts in Europe. JRC Technical Reports, EUR 29431 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg 2018, ISBN 978-92-79-97220-1.
27. Ray D.K., West P.C., Clark M., Gerber J.S., Prishchepov A.V., Chatterjee S.: Climate change has likely already affected global food production. *PLoS ONE*, 2019, 14, 5: e0217148.
28. Smith B., Burton I., Klein R., Street R.: The science of adaptation: a framework for assessment. *Mitigation & Adaptation Strategies for Global Change*, 1999, 3, 4: 199-213.
29. Teshom M.: Theoretical and Methodological Approaches to Climate Change Adaptation Assessment: Review Paper. *Environmental Analysis & Ecology Studies*, 2018, 2, 4: 152-158. Crimson Publishers. ISSN 2578-0336.
30. United Nations (UN) 1992. United Nations Framework Convention on Climate Change. New York: United Nations. FCCC/INFORMAL/84; <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>
31. UN Environment Programme (UNEP) 2018. Emissions gap report 2018, pp. 21.
32. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) 2015. Paris Agreement, UNFCCC; https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf
33. World Meteorological Organization (WMO) 2019. The Global Climate in 2015–2019.



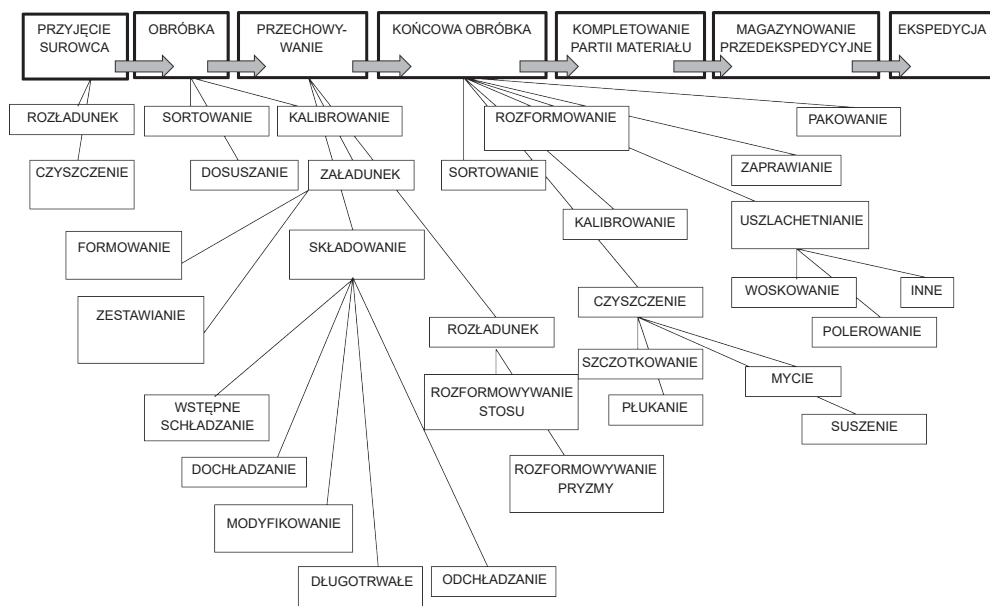
Andrzej Madej

VI. BIOMASA NA CELE ŻYWNOŚCIOWE

Zakład Agroekologii i Ekonomiki
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa
Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. (0-81) 4786809
e-mail: Andrzej.Madej@iung.pulawy.pl

W przetwarzaniu biomasy w bardziej złożone i uszlachetnione produkty kluczową rolę odgrywają biotechnologia, różne technologie chemiczne i procesy fizyczne (Adamowicz 2017). Biogospodarka obejmuje praktycznie wszystkie sektory i związane z nimi usługi, które produkują, przetwarzają lub wykorzystują zasoby biologiczne w jakiegokolwiek formie (Chyłek i Rzepecka 2011).

Zbiór roślin, z reguły mechaniczny, kończy etap produkcji polowej i jednocześnie rozpoczyna proces pozbiorowego postępowania z zebraniem plonem w gospodarstwie rolniczym. W zależności od dalszego przeznaczenia surowca, okresu jego przebywania w gospodarstwie, sposób postępowania z plonami po zbiorach jest zróżnicowany, a postępowanie to jest mniej lub bardziej złożone, co przedstawiono na przykładzie obiektu przechowalniczego, tj. mnogości realizowanych w nim procesów technologicznych (rys. 1).



Rys. 1. Procesy technologiczne realizowane w obiekcie przechowalniczym (Chadzyński i Piróg 2013)

Omówienie dalszego postępowania z wyprodukowanymi w gospodarstwie produktami rolniczymi, polegającego między innymi na obróbce po zbiorach, magazynowaniu produktów, dalszej ich obróbce związanej z przygotowaniem do sprzedaży

czy też przetwórstwa w szeroko pojętym przemyśle rolno-spożywczym, zamieszczone w dalszej części opracowania, dotyczy podstawowych grup roślin technologicznie podobnych, tj.:

- zboża (konsumpcyjne i paszowe), rośliny strączkowe na nasiona i rośliny oleiste (rzepak);
- burak cukrowy;
- ziemniak (jadalny i przemysłowy);
- warzywa (cebula, korzeniowe, kapusta, liściaste, pomidor) i owoce (ziarnkowe i pestkowe).

2. ZBOŻA, STRĄCZKOWE NA NASIONA, OLEISTE (RZEPAK)

Zboża mają największy udział w powierzchni zasiewów w Polsce. W 2016 r. w gospodarstwach indywidualnych powyżej 1 ha UR stanowiły one ponad 69%, a ich powierzchnia obejmowała 6,8 mln ha. W 2017 r. ich produkcja w skali kraju wyniosła, według IERiGŻ-PIB (2019), 29,687 mln t.

Przechowywanie ziarna zbóż, nasion roślin oleistych i strączkowych, czyli roślin technologicznie podobnych, to przede wszystkim odpowiednie przygotowanie surowca do przechowania i zbytu, zapobieganie lub znaczne ograniczenie ilościowych strat oraz utrzymanie wysokich właściwości użytkowych poszczególnych gatunków od zbioru do konsumpcji lub przerobu.

W utrwalaniu ziarna zbóż i nasion roślin technologicznie podobnych mogą być wykorzystane następujące techniki (Schulz i Böttcher 1999):

- suszenie;
- chłodzenie;
- kiszenie;
- samokonserwacja;
- konserwacja chemiczna.

Jedynie ziarno i nasiona suche oraz o odpowiedniej temperaturze mogą być bezpiecznie przechowywane. Dlatego najodpowiedniejszymi zabiegami utrwalającymi, umożliwiającymi zmniejszenie lub zahamowanie przyczyn ich zmian, które zapobiegają jakimkolwiek rozwojowi owadów i drobnoustrojów, a jednocześnie nie ograniczają zachodzących w ziarnach zmian chemicznych lub enzymatycznych, są suszenie (obniżające wilgotność do poziomu uniemożliwiającego rozwój drobnoustrojów) i schładzanie (do temp. ok. 5–7°C). Do krótkotrwałego przechowywania produktów o wilgotności wynoszącej 18% możliwe jest zastosowanie chłodzenia części lub całej partii ziarna bez uprzedniego suszenia, jednak dłuższe przechowywanie ziarna w tym stanie może stwarzać zagrożenie porażenia go pleśniami i roztozczami (Schulz i Böttcher 1999).

Proces suszenia może być realizowany w następujących systemach (Schulz i Böttcher 1999):

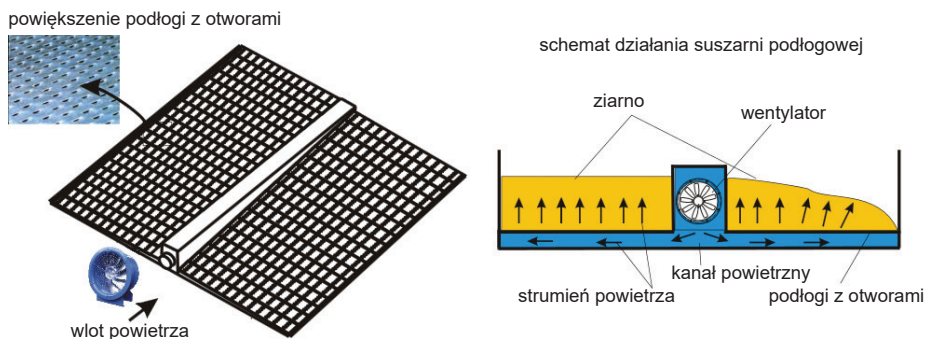
- suszenie przez wentylację:
 - suszenie powietrzem otoczenia (aktywne wietrzenie),
 - suszenie powietrzem lekko podgrzanym (o 5–8°C);
- suszenie termiczne:
 - suszenie w ruchu ciągłym,
 - suszenie w warstwie mieszanej,
 - suszenie w warstwie nieruchomej;
- suszenie próżniowe;
- suszenie promieniami podczerwonymi.

Do **suszenia przez wentylację** (przetłaczanie powietrza przez warstwę ziarna za pomocą wentylatora) może być stosowane powietrze niepodgrzane lub podgrzane, w zależności od jego wilgotności, temperatury i natężenia przepływu oraz temperatury ziarna. Celem zabiegu jest głównie obniżenie aktywności wszystkich składników organicznych ziarna (zanieczyszczeń pochodzenia roślinnego, mikroorganizmów, szkodników). Ponadto proces zapobiega samozagrzewaniu się ziarna oraz powoduje wydalenie niepożądanych zapachów.

Proces **suszenia termicznego** polega na usuwaniu cieczy z ziarna lub nasion poprzez odparowanie, kosztem energii cieplnej doprowadzonej do układu. Ciepło jest dostarczane przez konwekcję i wnika do suszonego materiału bezpośrednio od czynnika suszącego. Im wyższa temperatura czynnika, tym więcej pary może pochłonać, co zwiększa i przyspiesza wydajność procesu. Ograniczeniem są właściwości biologiczne i technologiczne suszonych surowców (np. zdolność kiełkowania ziarna zbóż wymuszająca temp. w zależności od wilgotności początkowej: 36°C dla > 20%; 40°C dla 18–20%; 45°C dla 18%). Natomiast dla ziarna paszowego temperatura może być wyższa o 10–15°C (Szyszło 2002).

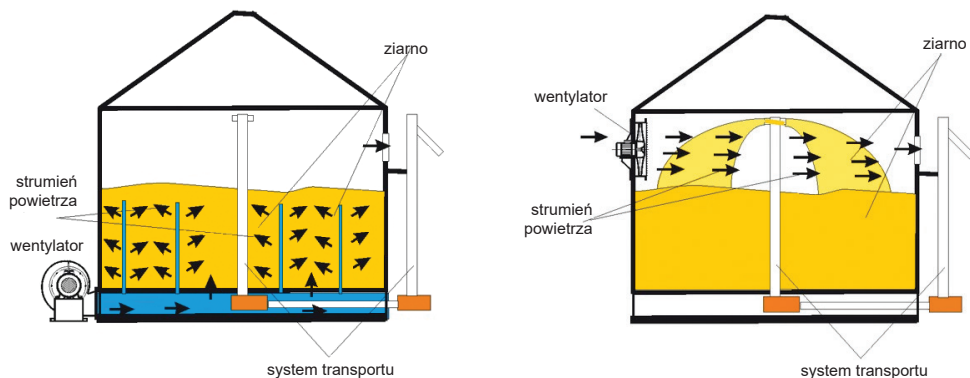
Kukurydza, ze względu na zawartość olejów i tłuszczu, ma skłonność do szybszego zagrzewania się, powinna więc być suszona do wilgotności 12–13% i schłodzona do 10°C, co jest wyjątkowo energochłonne i kosztowne. W tym celu można zastosować metodę wysokotemperaturową w specjalnych suszarniach lub dwuetapową – z wykorzystaniem w drugim etapie techniki niskotemperaturowej. Podział procesu jest podyktowany względami ekonomicznymi, gdyż poniżej 20% wilgotności suszenie wysokotemperaturowe jest nieopłacalne, a możliwe jest dosuszenie w niższej temp. w silosie lub magazynie płaskim (Szyszło 2002).

Suszarnie podłogowe (rys. 2) są wykorzystywane przy małej wilgotności ziarna (np. M858 firmy BIN); można w nich stosować powietrze zimne i podgrzewane. Podgrzewacz może być elektryczny, gazowy, na paliwo ciekłe lub stałe, a intensywność wentylacji zależy od wilgotności ziarna i jego temperatury. Aby uzyskać odpowiednią efektywność chłodzenia, wentylację należy prowadzić przez kilka miesięcy (Lisowski 2006).



Rys. 2. Budowa i schemat działania suszarni podłogowej (Lisowski 2006)

Do przechowywania ziarna zbóż w średnich i dużych gospodarstwach powinny być wykorzystywane silosy typu BIN (rys. 3). Płaszcz zewnętrzny wykonany jest w nich z blachy płaskiej lub falistej, a dno jest płaskie lub stożkowe. Pojemności silosów zależą od przeznaczenia: do przechowywania ziarna suchego – o pojemności 100–400 t; z aktywną wentylacją (do ziarna wilgotnego czekającego na suszenie) – o pojemności 50 lub 100 t; silosy suszące – o pojemności 10–30 t (Lisowski 2006).



Rys. 3. Dosuszanie zboża metodą cyrkulacyjną z wykorzystaniem wentylatora osiowego (po lewej) i za pomocą wentylatora promieniowego w zbiorniku typu „BIN” (po prawej) (Lisowski 2006)

W dużych gospodarstwach najczęściej stosuje się suszarnie termiczne o pracy ciągłej. Przeważnie są to suszarnie kolumnowe o zabudowie daszkowej. Suszarnie te wykonywane są jako porcjowe i z recyrkulacją w różnych odmianach. Cechuje je prosta konstrukcja i łatwość obsługi. Ich wadą jest wrażliwość na zanieczyszczenia słomiste powodujące nierównomierny przepływ ziarna, co stwarza konieczność jego wstępnego czyszczenia.

Suszarnie cylindryczne (np. Pedrotti) mogą być stosowane w średnich i małych gospodarstwach. Nie wymagają dużych nakładów inwestycyjnych i mogą być zasilane od ciągnika. Na ich cykl pracy składają się dwa procesy: suszenie i schładzanie ziarna. Ziarno może być zasypywane przenośnikiem poziomym lub od góry, bezpośrednio do komory suszenia (Lisowski 2006).

W dużych magazynach zboże powinno być suszone w instalacjach o dużej wydajności dobowej, zintegrowanych z ciągiem technologicznym magazynu.

Suszenie próżniowe usuwa nadmiar wody przez parowanie pod zmniejszonym ciśnieniem. Natomiast **suszenie promieniami podczerwonymi** dostarcza ciepła poprzez promieniowanie. Te dwie metody wymagają dużych nakładów energii, a ich wydajność jest zbyt niska, dlatego stosuje się je w mniejszej skali (Schulz i Böttcher 1999).

W obecnym przechowywaniu zbóż wyróżnia się cztery podstawowe sposoby konserwacji ziarna wykorzystujące agregaty chłodnicze (Szyszło 2002), tj.:

- suszenie ziarna za pomocą agregatu chłodniczego jako pompy ciepła;
- suszenie ziarna w niskich temperaturach;
- klimatyzacja powietrza w celu doprowadzenia ziarna do pożądanej temperatury i wilgotności;
- schładzanie ziarna.

Schłodzone powietrze, przepływając przez ziarno, wpływa na zmianę stanu ziarna i powietrza. Różnice temperatur i wilgotności przy chłodzeniu są znaczne, co powoduje wymianę masy. Efekt schładzania kończony jest przy osiągnięciu w całej masie ziarna temperatury w przedziale różnic 2–4°C. Ziarno zbóż może być oziębiane we wszystkich obiektach i magazynach przechowalniczych, które pozwalają na aktywną wentylację. Są to magazyny podłogowo-kanalowe, podłogowo-rusztowe, silosy wieżowe, komory wyposażone w urządzenia wietrzące.

Sposób działania dmuchawy chłodnicy ziarna polega na zasysaniu powietrza z otoczenia, które w chłodnicy/parowniku zostaje schłodzone i osuszone. Suche i zimne powietrze jest dostarczane poprzez rurociąg rozdzielacza powietrza w magazynie i przetłaczane przez warstwę ziarna (zarówno w magazynach płaskich, jak i silosach wieżowych). Zużyte powietrze ulatnia się na zewnątrz poprzez otwory, odprowadzając ciepło i wilgoć z ziarna (Szyszło 2002).

Procesy zakiszania, samokonserwacji oraz konserwacji chemicznej dotyczą jedynie zabezpieczenia ziarna przeznaczonego na paszę.

Magazynowanie nasion oleistych (rzepaku) zwiększa ryzyko psucia się nasion z uwagi na większą wilgotność, zbyt wysoką temperaturę, zły stan zdrowotny nasion, mniejszą ich żywotność, a także wysoki udział cząstek tłuszczyn i łądyg oraz nasion chwastów, co powoduje, iż w czasie omłotu może dojść do nawilgotnienia nasion rzepaku. Dlatego też rzepak powinien być możliwie dobrze oczyszczony i schłodzony do 10°C.

Magazynowanie może odbywać się w magazynach płaskich, jak i silosach, wysokich komorach czworokątnych zarówno drewnianych, jak i metalowych oraz

w metalowych silosach cylindrycznych z dobrą wentylacją (urządzenia przewietrzające) (Schulz i Böttcher 1999).

Wzrost zainteresowania uprawą rzepaku na cele energetyczne przez mniejsze gospodarstwa indywidualne, nieposiadające odpowiedniej bazy suszarniczo-przechowalniczej, wymaga dostosowania posiadanych instalacji do przechowywania zbóż, ze zwróceniem uwagi na odmienne cechy fizyczne nasion rzepaku, jak: poziom bezpiecznej wilgotności, gęstość usypowa, opór warstwy nasion. Nasiona rzepaku stawiają inne wymagania w ciągu technologicznym przechowalni pod względem wydajności i przepustowości: koszt przyjęciowy, czyszczalnia, instalacja suszarnicza, układ silosowy (Schulz i Böttcher 1999).

W przypadku ziarna siewnego i jęczmienia browarnego najważniejsze jest zachowanie jakości zarodków. Temperatura powietrza suszącego dla ziarna siewnego to 35–45°C (konsumpcyjnego 50–60°C), gdzie powyżej tych temperatur zachodzą nieodwracalne zmiany surowca. Schłodzone ziarno o wilgotności 15–16% ma lepszą zdolność kiełkowania niż ziarno suche i suszone w wyższej temperaturze. Poprzez schłodzenie ziarna do temp. ochronnej (10–12°C) wydłuża się możliwy czas przechowywania i skraca okres spoczynku zarodków (Schulz i Böttcher 1999).

2.1. OCENA PORAŻENIA SUROWCÓW PRZEZ SZKODNIKI I ICH ZWALCZANIE

Na podstawie ustawy z 2001 r. o warunkach zdrowotnych żywności (Dz.U. z 2001 r nr 63 poz. 634, par 3 ust 1 pkt 7) stwierdzono, że obecność takich zanieczyszczeń jak szkodniki, mikroorganizmy, toksyny lub inne substancje chemiczne w produktach spożywczych powoduje ich nieprzydatność do spożycia. Jednocześnie „części owadów, włosy zwierząt, części metaliczne i szklane” nie są podstawą do dyskwalifikacji produktu (Dz.U. z 2001 r nr 63 poz. 634).

Obecność szkodników oprócz strat bezpośrednich powodujących ubytek masy w wyniku żerowania wyrządza także straty pośrednie, pogarszające jakość ziarna oraz nasion poprzez zanieczyszczenie ich wydaliniami, wydzielinami, wylinkami czy martwymi osobnikami. Powoduje też zawilgocenie i zagrzewanie się surowca, pogarszając warunki przechowywania. Najczęściej są to ptaki, gryzonie, owady, pajęczaki, roztocze oraz mikroorganizmy, takie jak grzyby i bakterie.

Możemy wyróżnić następujące metody oceny stopnia porażenia surowców przez szkodniki i choroby (Olejarski 2010):

- fizyczne (ocena wizualna, np. inspekcja pomieszczeń magazynowych), liczenie porażonych ziarniaków, przesiewanie, wyplaszanie, wystawianie pułapek, ocena akustyczna, rentgenograficzna, spektroskopii bliskiej podczerwieni NIR lub NRS, spektroskopii nuklearnego rezonansu magnetycznego NMR lub NMRS, widzenia maszynowego, pomiaru przewodnictwa elektrycznego, hodowli szkodników);

- chemiczne (flotacja, barwienie, rozjaśnianie ziarna, pomiar zawartości CO₂, pomiar zawartości kwasu mlekowego, molekularna);
- lub:
- niszczące surowiec;
 - nieniszczące badanej próby.

W wykrywaniu szkodników często stosuje się pojęcie progu ekonomicznej szkodliwości (np. 2 wołki w 1 kg ziarna), którego przekroczenie uzasadnia stosowanie odpowiednich metod zwalczania szkodników magazynowych (Błażewicz i Zembold-Guła 2019a).

Samo zwalczanie szkodników magazynowych zawiera się w szerszym pojęciu – dezynsekcja. Ddefiniowana jest ona jako zespół metod zmierzających do zniszczenia szkodliwych owadów i innych stawonogów.

W najszerszym ujęciu metody zwalczania szkodników możemy podzielić na dwie grupy, tj.:

- zapobiegawcze (profilaktyka), polegające przede wszystkim na stworzeniu nieogodnych warunków dla zasiedlenia przez szkodniki;
- bezpośredniego zwalczania (interwencyjne) (Bakuła 2012).

Metody stosowane w celu zniszczenia szkodników magazynowych ponadto dzielimy na (Olejarski 2005):

- mechaniczne;
- fizyczne;
- biologiczne;
- biotechniczne;
- chemiczne;
- kombinacja powyższych metod.

Do metod mechanicznych możemy zaliczyć (Olejarski 2005):

- utrzymanie czystości obiektów (sita, wialnie, tryjery, żmijki, sortowniki i inne magazynowe urządzenia czyszczące, stałe sprzątanie wnętrza i otoczenia magazynu);
- czyszczenie, przesiewanie i odwiewanie ziarna (dokładne czyszczenie przed zmagazynowaniem);
- szuflowanie lub przesypywanie ziarna;
- stosowanie entoleterów;
- stosowanie pułapek (mechaniczne w pryzmie zboża), siatek i systemów elektrycznych na ptaki, kolców i linek uniemożliwiających ptakom siadanie, lepow na owady.

Z kolei metody fizyczne opisane przez Ignatowicza (2019) wykorzystują takie czynniki, jak: temperatura, wilgotność, promieniowanie, ciśnienie, światło, dźwięk, kontrolowana atmosfera, obojętne pyły, opakowania odporne na szkodniki.

Stosowanie wysokich temperatur polega na krótkotrwałym ogrzaniu produktu do 50–70°C i schłodzeniu. Dla większości produktów dezynsekcja zachodzi w czasie poniżej 1 min. w temp. 65°C. Stosuje się tu dwie technologie:

TempAir – wprowadzanie do budynku ciepłego powietrza przewodami z pieców zewnętrznych opalanych paliwem;

ThermoNox – stosowanie wewnątrz budynku specjalnych, małych, ruchomych, elektrycznych grzejników oraz wentylatorów zapewniających równomierną dystrybucję podgrzanego powietrza (stosowana w przemyśle młynarskim).

Stosowanie niskich temperatur to kilkudniowe zamrażanie do –15°C lub niżej niewielkich ilości produktów spożywczych, hamujące rozmnażanie szkodników i zabezpieczające przed ponownym porażeniem (poniżej 4°C giną stadia rozwojowe większości szkodników). Metoda stosowana jest na małą skalę (np. w obiektach muzealnych).

Promieniowanie jonizujące stosowane w niskich (powodujące sterylność płciową szkodników) i wysokich (zabijające szkodniki) dawkach. Dawki >2 kGy (wysokie) stosuje się np. do dezynsekcji opakowań wielokrotnego użytku (worków jutowych), a niskie <1 kGy do radiacyjnej dezynsekcji płodów rolnych.

Niskie ciśnienie stosuje się w specjalnych gazoszczelnych „namiotach” o kształcie sześcianu. Brak tlenu na skutek wypompowanego z nich powietrza zabija szkodniki, a produkty zachowują swoje walory smakowe i zapachowe.

W przypadku światła na owady latające wykorzystuje się wabiące właściwości ultrafioletu UV poprzez umieszczenie w przechowalniach lamp owadobójczych.

Stosowanie promieniowania elektromagnetycznego (mikrofale pomiędzy podczerwienią a falami ultrakrótkimi – fale radiowe od 1 mm do 30 cm «300 GHz do 1 GHz»), które jest pochłaniane przez materię, polega na zastosowaniu urządzenia do niszczenia szkodników, np. w drewnie, działając bezpośrednio na szkodniki w temp. 55–56°C. Jest to metoda w pełni ekologiczna ze względu na brak szkodliwości na środowisko.

Kontrolowana atmosfera uzyskiwana jest w szczelnym pomieszczeniu przez dodanie azotu (stężenie tlenu jest mniejsze niż 1%) – stosowanego częściej ze względów ekonomicznych i organizacyjnych – lub dwutlenku węgla (stężenie tlenu mniejsze niż 8%).

Obojętne pyły (ziemia krzemkowa, aerozele krzemowe, niekrzemowe pyły, np. fosforyty i fosforany) chronią ziarno zbóż i nasiona roślin bobowatych w zabiegach profilaktycznych. Są elementem integrowanej ochrony przed szkodnikami. Duża skuteczność tej metody uzyskiwana jest w suchych materiałach i pomieszczeniach magazynowych.

W metodach biologicznych, działających długofalowo, wykorzystuje się naturalnych wrogów szkodników, insektycydy mikrobiologiczne, związki wytwarzane przez rośliny czy modyfikacje genetyczne roślin. Bioinsektycydy stosowane są jako naturalne środki owadobójcze zawierające patogeny ograniczające liczebność populacji szkodników (Ignatowicz 2019).

Metody biotechniczne (pułapki feromonowe) polegają na masowym wylapywaniu szkodników, zakłócaniu normalnego komunikowania się płci, wykonywaniu zabiegów atrakcyjnych. Pułapki stosuje się do wczesnego wykrywania szkodników i określenia populacji, ale też do ich bezpośredniego zwalczania w magazynach (Ignatowicz 2019).

W metodach chemicznych mogą być wykorzystywane następujące sposoby dezynsekcji: opryskowy, aerozolowy, zadymianie – zamglawianie, fumigacja, pułapki z insektycydami. W fumigacji stosuje się fumiganty cieczowe lub stałe oparte na fosforowodorze. Stosowana jest fumigacja sprężonym (CO_2 lub N_2) fosforowodorem, gdzie dawkowanie odbywa się z zewnątrz obiektu gazowanego. Nowe możliwości daje stosowanie w generatorach fosforowodoru (Speedbox) związków szybko go uwalniających, np. fosforek magnezu (granulat) (Błażewicz i Zembold-Guła 2019b).

W odniesieniu do pestycydów możemy zastosować podział w zależności od miejsca działania: układ nerwowy, wytwarzanie energii, wytwarzanie naskórka, układ hormonalny, równowaga wodna.

Przykładem kombinacji metod może być integrowana metoda usuwania gryzoni (IPM) polegająca na jednoczesnym wdrożeniu metod sanitarnych, szczelności obiektów, metod bezpośredniego zwalczania szkodników poprzez karmniki deratyzacyjne lub chwytacze gryzoni, tworzące 2–3 bariery (Olejarski i Ignatowicz 2011).

3. BURAK CUKROWY

Sposób postępowania po zbiorze z surowcem, jakim jest burak cukrowy dokładnie opisali Schulz i Böttcher (1999). Okres zbioru buraka cukrowego zależy przede wszystkim od warunków ekonomicznych i technologicznych, w zależności od rozpoczęcia przerobu przez cukrownie i związane z tym plany dostaw. Miejsce usuwania liści podczas ogławiania buraków może mieć istotny wpływ na późniejsze straty przechowalnicze (obcinanie bezpośrednio pod nasadą zielonego ogonka). Wyżej cięte mogą wypuszczać liście i wykazywać większą zawartość cukru inwertowanego i azotu w masie, a niżej cięte mają większą powierzchnię wpływającą na większe straty cukru. Również dokładne usunięcie ziemi i resztek liści przed zmagazynowaniem gwarantuje równomierny przepływ powietrza w pryzmie i szybkie schłodzenie surowca, co zmniejsza w magazynowanych burakach straty cukru. Ponadto podmioty skupujące często stosują bodziec ekonomiczny prowadzący do spadku ilości zanieczyszczeń poprzez podwyższenie ceny skupu przy niskiej ich zawartości i jej obniżenie przy przekroczeniu ich wartości granicznej. Korzenie, które zgodnie z harmonogramem odbioru przewidziane są do przechowania, powinny być kopane możliwe jak najpóźniej.

Zabezpieczenie pryzm przechowywanych buraków włókniną opisane przez Sadurę i Skwierz (2009) pozwala na zminimalizowanie wpływu niekorzystnych warunków pogodowych w okresie jesienno-zimowym. Dobrze zastosowana włóknina chroni skutecznie przed opadami atmosferycznymi (deszcz, śnieg), ogranicza dzia-

łanie mrozu oraz zmniejsza straty w masie i polaryzacji buraków. Pryzmy należy okrywać bezpośrednio po uformowaniu, przed spodziewanymi niekorzystnymi zjawiskami atmosferycznymi. W źle wentylowanych pryzmach wzrasta temperatura i następuje porastanie korzeni. Mogą pojawiać się pleśń i zgnilizna, co sprzyja szybkiej degradacji surowca i pogorszeniu jego jakości technologicznej.

4. ZIEMNIAK

Postępowanie po zbiorze, opisane przez Schulza i Böttchera (1999), dotyczy usuwania zanieczyszczeń i wody z powierzchni oraz szybkiego gojenia uszkodzonych bulw. Dlatego ziemniaki po zbiorach powinny być traktowane wyższą temperaturą (12–15°C), co przyspiesza gojenie ran i korkowacenie skórki.

Bulwy (zawierające 70–80% wilgotności) są bardzo podatne na działanie metalowych elementów maszyn zbierających, środków transportowych oraz urządzeń do załadunku i sortowania. Uszkodzenia mechaniczne to głównie: otarcia, obicia bez skałeczenia, nacięcia, pęknięcia, zgniecienia i zmiżdżenia, które ułatwiają wnikanie bakterii i grzybów oraz powodują ubytek wody. Uszkodzenia zewnętrzne pozwalają na łatwe odseparowanie uszkodzonych bulw, a wewnętrzne mogą się ujawniać w późniejszym okresie przechowywania, powodując straty. Duży wpływ na jakość ziemniaków konsumpcyjnych przeznaczonych do przetwórstwa mają obicia.

Wczesne odmiany przechowuje się krótko w przechowalniach i chłodniach, natomiast późne w kopcach ziemnych i technicznych, ziemniakach, piwnicach, adaptowanych budynkach, przechowalniach. W kopcu stosujemy okrywę jesienną (do uzyskania temp. 3°C), a następnie zimową. Najlepsze budynki do adaptacji, pod kątem przechowania, to stodoła lub obora, gdzie ziemniaki można przykryć z wierzchu warstwą słomy lub inną okrywą umożliwiającą ich oddychanie.

W przechowalniach, w celu utrzymania optymalnych parametrów, powinien być zainstalowany system wentylacyjny sterowany ręcznie lub automatycznie (częściowo bądź całkowicie). Ziemniaki mogą być przechowywane luzem do wys. 5 m lub w skrzyniopaletach na wysokość 3–6 palet (www.piorin.gov.pl, Gajewski 2001a).

5. WARZYWA I OWOCE

Warzywa, jak podają Schulz i Böttcher (1999), mogą być zbierane w dojrzałości niepełnej (fasola szparagowa, groch, kukurydza cukrowa, oberżyna, ogórek, zielona papryka) lub w dojrzałości pełnej (kawon, melon, pomidor, papryka czerwona, kapusta, warzywa korzeniowe). Jakość warzyw przeznaczonych do przechowywania zależy głównie od czynników agrotechnicznych (termin i sposób zbioru). Natomiast postępowanie z warzywami po zbiorze oraz odpowiednie warunki przechowywania mają na celu ograniczenie tempa zmian biochemicznych, fizjologicznych i fizycznych, będących bezpośrednią przyczyną obniżenia jakości i strat powstających w czasie przechowywania. Szkodliwe jest obijanie i ranie warzyw podczas zbioru.

ru, załadunku i przewozu, szczególnie w produkcji wielkotowarowej o zmechanizowanym zbiorze. Zbiór ręczny pozwala ograniczyć uszkodzenia mechaniczne do minimum, a przy jednoczesnej selekcji bezpośrednio na polu pozwala kierować do przechowania surowiec najwyższej jakości. Stąd jest on preferowany do długiego przechowywania warzyw.

Po zbiorze warzyw można wyróżnić takie procesy, jak:

- szybkie obsychanie wody z powierzchni surowca i powierzchni cięć (Schulz i Böttcher 1999);
- zasklepianie zranień;
- uzupełniające dojrzewanie (np. cebula);
- szybkie schładzanie po obsychaniu i zasklepieniu zranień.

Warzywa niewymagające dosuszania należy jak najszybciej schłodzić do temperatury przechowywania! Zmniejsza to zagrożenie rozwoju chorób w przechowalni i ogranicza intensywność oddychania oraz tempo dojrzewania. Wybór schładzania warzyw zależy od gatunku, temperatury zbioru i rodzaju opakowania.

Najczęściej stosowanymi sposobami schładzania warzyw w przechowalni są:

- chłodne powietrze (w komorze chłodniczej, gdzie następuje schładzanie, a później przechowywanie; jest to proces, któremu poddaje się warzywa trwałe, przeznaczone do długotrwałego przechowywania; umieszcza się je w komorze o temp. 0°C na 18–48 godzin);
- „wymuszony obieg” zimnego powietrza (przyspiesza proces schładzania; skrzyniopalety z warzywami ustawia się w dwóch rzędach w odległości 70–90 cm i przykrywa folią polietylenową, a na końcu montuje się wentylator zasysający powietrze i powodujący podciśnienie, co wymusza przepływ chłodnego strumienia powietrza; pozwala to 3–4-krotnie skrócić proces schładzania, ale pojawia się niebezpieczeństwo przesuszenia surowca);
- użycie lodowatej wody (poprzez zanurzenie warzyw w zbiorniku z lodowatą wodą lub zastosowanie transportera z natryskiem lodowatej wody – stosowane dla gatunków dobrze znoszących kontakt z wodą – warzywa zielone typu rzodkiewka, brokuł, kalafior, szparagi; zabieg trwa od 10 do 30 min);
- schładzanie próżniowe (najszybszy sposób dokonywany w gazoszczelnych kontenerach, gdzie ciśnienie obniża się do 6–8 hPa, co powoduje gwałtowną transpirację z powierzchni tkanek i szybkie obniżenie temperatury; mogą tu wystąpić stosunkowo duże ubytki masy 1–5%, a powyżej 5% mogą wystąpić objawy wędnięcia, dlatego w zbiorniku próżniowym stosuje się nawilżanie powietrza; wykorzystywane do warzyw liściowych: sałata, seler naciowy);
- schładzanie kruszonym lodem (powszechnie stosowany, prosty do wykonania sposób i możliwy, gdy nie ma dostępu do nowocześniejszych metod; do obniżenia temperatury z 30 do 4°C masa kruszonego lodu powinna stanowić 30% masy schładzanych warzyw; dotyczy warzyw odpornych na uszkodzenia chładowe; skuteczna jest też mieszanina wody z lodem; zabieg może być także używany w transporcie) (Adamicki i Czerko 2002).

Sposoby postępowania z poszczególnymi warzywami bezpośrednio po zbiorze według Schulza i Böttchera (1999) są odmienne i zależą od ich gatunku, cech fizycznych i okresu przechowywania.

Warzywa korzeniowe po podoraniu, ręcznym wyjęciu z gleby i obcięciu naci bezpośrednio kieruje się do przechowalni.

Cebula bezpośrednio po zbiorze powinna być składowana w warunkach pozwalających na jej dosuszenie. Producenci nieposiadający nowoczesnych przechowalni zmuszeni są do zbioru dwufazowego. Wyrwana cebula pozostaje na polu przez 7–10 dni, a po dosuszeniu szczypioru przewożona jest do przewiewnych pomieszczeń, gdzie pozostaje aż do doschnięcia, co warunkuje jej dobre przechowywanie. Najlepiej nadają się tu specjalistyczne przechowalnie wyposażone w urządzenia wentylacyjne, warunkujące dosuszanie, a następnie schłodzenie cebuli w warunkach kontrolowanych (Adamicki 2006).

W zbiorze jednofazowym, po obcięciu szczypioru i wykopaniu następuje przewóz cebuli do przechowalni (w warstwie 3,5–4,0 m) i dosuszanie: przez pierwsze 3 dni temperaturą w pryzmie 27°C, a następnie 25°C i w wilgotności względnej 60–80%, co zapewnia odpowiednie cechy surowca. Dosuszanie trwa ok. 3 tygodnie.

Dla przechowywania **pora** znaczenie odgrywają warunki pogodowe. Odmiany późne mogą zimować w polu i być zbierane wiosną do bezpośredniej sprzedaży.

Kapusta do długotrwałego przechowywania zbierana jest ręcznie i najczęściej układana w skrzyniopaletach bezpośrednio na polu, a następnie transportowana do komór chłodniczych.

Zbiór **pomidorów** dojrzałych, jak podaje Gajewski (2001b), odbywa się do przetwórstwa i bezpośredniego spożycia. Owoce wysyłane na dalsze odległości zbierane są na początku wybarwienia, a dojrzewają w transporcie i podczas składowania. Gdy planuje się ich przechowywanie i dojrzewanie w okresie późniejszym, zbiera się owoce w pełni wyrośnięte, bielejące lub zielone. W czasie sortowania i pakowania należy uważać na obijanie owoców, gdyż dojrzałe łatwo pękają i gniją w miejscu obicia.

Przechowywanie pomidorów zależy od odmiany. Dłużej przechowują się owoce twarde, powoli dojrzewające i odporne na choroby. Owoce zielone przechowują się do 3–4 tygodni, różowe 7–14 dni, a dojrzałe 3–5 dni. Przyspieszenie dojrzewania pomidorów w przechowalni za pomocą etylenu wymaga owoców zielonych, wyrośniętych i koniecznie bez szypułek. Dla pomidorów poddanych procesowi dojrzewania liczba dni do początku dojrzewania (owoce lekko czerwone „zapalone”) wynosi 9 bez etylenu i 3–5 z etylenem (stężenie 100 p.p.m.). Dalsze dojrzewanie trwa 3–4 dni, zależnie od stężenia etylenu.

6. NOWOCZESNE SPOSOBY PRZECHOWYWANIA OWOCÓW I WARZYW

Owoce po zbiorze, podobnie jak warzywa, powinny być jak najszybciej schłodzone, jednak zależy to od ich temperatury początkowej. Często wykorzystuje się komorę przejściową z temperaturą 10°C, a następnie przewozi się je do komory z temperaturą 4°C (Rutkowski 2005).

Jak podają Adamicki i Czerko (2002), jednym z czynników ograniczających dojrzewanie owoców podczas przechowywania jest modyfikacja atmosfery. Zwiększenie CO₂ i obniżenie O₂ spowalnia procesy oddychania. Długotrwałe przechowywanie owoców i warzyw wymaga odpowiednich technologii. Podstawowym typem atmosfery przechowalniczej jest 21% O₂, 78% N₂ i 0,03% CO₂. Stosuje się też technologie z atmosferą kontrolowaną (KA), gdzie zawartość tlenu obniżana jest do 3%, stężenie CO₂ podwyższana się do 1–5%, a resztę stanowi azot. Za najlepszą uważa się technologię KA z możliwością stosowania wersji ULO (ang. *ultra low oxygen*), co wymaga obniżonej temperatury w zakresie od –1 do 3°C. W niektórych technologiach kontroluje się też stężenie etylenu (C₄H₄) poniżej 1 p.p.m. Wymaga to zastosowania komór chłodniczych o bardzo wysokiej gazoszczelności, co uniemożliwia niekontrolowany przepływ gazów (dyfuzję).

Wyróżnia się trzy typy kontrolowanych atmosfer stosowanych w przechowalnictwie, tj.:

- normalny (NA) – 21% O₂, 0,03% CO₂
- modyfikowany (MA) – 16% O₂, 5% CO₂
- kontrolowany (KA) – 3% O₂, 3–5% CO₂ (Adamicki i Czerko 2002).

Każdy typ ma swoje wady i zalety, a jego zastosowanie zależy od gatunku i odmiany surowca oraz planowanego okresu przechowywania.

W technologii NA tempo dojrzewania hamowane jest poprzez schładzanie. W przeszłości dość powszechnie przechowywano owoce w technologii MA, gdzie skład atmosfery regulowano dopuszczaniem świeżego powietrza, co wydłużało okres przechowywania.

W technologii KA do usuwania nadmiaru CO₂ stosuje się płuczki (węglowe lub z wapnem hydratyzowanym). Ilość tlenu reguluje się przez dopuszczenie świeżego powietrza. Niekiedy celowo obniża się zawartość tlenu do 1,5%, stosując technologię ULO. Pozwala to na znaczne wydłużenie okresu przechowywania owoców i warzyw, nie tracąc ich jędrności i walorów smakowych.

Uzupełniając stosuje się atmosfery z dynamiczną zmianą tlenu wyznaczaną pomiarem progu oddychania beztlenowego produktów (DCA); atmosfery z obniżonym stężeniem etylenu czy atmosfery z wysokim stężeniem CO₂ (15–20% i więcej).

Rozmiar komory powinien być dobrany do załadunku, co ułatwi utrzymanie odpowiednich parametrów kontrolowanej atmosfery w komorze.

Korzyści wynikające z przechowywania w kontrolowanej atmosferze przejawiają się w (Adamicki i Czerko 2002):

- ograniczeniu intensywności oddychania;
- zahamowaniu procesu dojrzewania i starzenia się;
- zmniejszeniu tempa przemian biochemicznych;
- zmniejszeniu wrażliwości warzyw na uszkodzenia chładowe;
- zmniejszeniu wrażliwości na działanie etylenu;
- ograniczeniu chorób przechowalniczych.

7. PRZYGOTOWANIE SUROWCÓW DO OBROTU

Świeże warzywa i owoce oraz te wyjęte z przechowalni, przed dostarczeniem do obrotu, powinny być przygotowane zgodnie z wymaganiami norm. Towar odznacza się wysoką jakością, gdy został otrzymany w odpowiedniej technologii produkcji oraz gdy był przechowywany w optymalnych warunkach i zastosowano wobec niego odpowiednie technologie do sortowania i pakowania.

Czasem przygotowanie warzyw i owoców do obrotu jest związane bezpośrednio ze zbiorem. Wtedy są one pakowane bezpośrednio na polu do skrzynek, kartonów, lub opakowań jednostkowych, a następnie przewożone do pakowni, gdzie są schładzane i przygotowywane do transportu.

Gospodarstwa towarowe ze zbiorem mechanicznym lub ręcznym przewożą zebrane produkty do pakowni i tam są one poddawane przygotowaniu do obrotu, podobnie jak warzywa i owoce wyjęte z przechowalni. Niektóre warzywa (liściaste, brokuł) są schładzane dopiero po zapakowaniu do opakowań transportowych.

Warzywa wyjęte z chłodni umieszcza się w temperaturze otoczenia, a następnie poddaje procesom sortowania, konfekcjonowania i pakowania. W pierwszym etapie wszystkie warzywa uszkodzone i niespełniające wymagań jakościowych są oddzielane przed procesem sortowania (w procesie wstępnego sortowania) na stołach przeglądowych lub transportowych.

Czyszczenie i mycie polega na dokładnym pozbyciu się z warzyw resztek gleby przed pakowaniem. Niektóre warzywa (cebula, czosnek) podlegają procesowi czyszczenia „na sucho”. Natomiast do mycia warzyw wykorzystuje się płuczki bębnowe, a do niektórych warzyw owocowych specjalne transportery z wałkami szczotkowymi i spryskiwaczami. Mycie może odbywać się z wykorzystaniem wody czystej, chlorowanej lub ozonowanej (Adamicki i Czerko 2002).

Proces sortowania i kalibrowania warzyw wykonywany jest przeważnie ręcznie na stołach przeglądowych lub przenośnikach, a także mechanicznie na liniach sortowniczych wyposażonych w odpowiednie czujniki. Proces kalibrowania odbywa się na kalibrownicach wyposażonych w czujniki elektroniczne, sortujących surowiec pod względem długości (szczelinowa, sitowa, strunowa), średnicy lub masy (wagowa – tackowa). Automatyczne linie sortownicze charakteryzują się dużą wydajnością i najczęściej znajdują się w dużych pakowniach magazynów hurtowych,

które są wyposażone w stałe linie do konkretnych gatunków warzyw (Adamicki i Czerko 2002).

Niektóre gatunki warzyw i owoców po zabiegu mycia poddawane są procesowi woskowania – tworzenia powłoki z naturalnych surowców w specjalnych urządzeniach wykorzystujących emulsje wodne, roztwory w rozpuszczalnikach lub pianę. Czasem dodatkowo są stosowane fungicydy lub preparaty roślinne mające poprawić zdrowotność warzyw lub owoców podczas transportu (Adamicki i Czerko 2002).

Procesem stosowanym w odniesieniu do niektórych warzyw (włoszczyzna) jest porcjowanie i ocieranie, mające za zadanie ułatwienie przygotowania towaru do spożycia przez konsumenta. Proces przeprowadzany jest w specjalnych urządzeniach (np. krajalnicach, ocieraczkach, szatkownicach), gdzie porcjowane warzywa wymagają odpowiednich opakowań i warunków przechowywania oraz zapewnienia czystości mikrobiologicznej w całym cyklu obrotu produktem (Gajewski 2001a).

Pakowanie warzyw i owoców (do opakowań zbiorczych lub jednostkowych, a następnie do zbiorczych), zależnie od gatunku lub przeznaczenia, odbywa się po procesie sortowania. Niektóre warzywa (np. ogórek) mogą być pakowane w folię termokurczliwą, rozciągliwą lub polietylenowe woreczki foliowe, a niektóre są układane na tackach i owijane folią rozciągliwą. Opakowania zbiorcze ustawiane są na paletach i foliowane do transportu. W pakowniach wykorzystuje się: workownice, urządzenia do owijania warzyw folią rozciągliwą, tunele grzewcze do pakowania w folię termokurczliwą, tubusy do pakowania w siatki.

Do suchego rozładunku owoców, w mniejszych sortowniach ($2\text{--}3\text{ t}\cdot\text{godz.}^{-1}$), mogą być stosowane wywrotnice o górnym (stosowanym częściej ze względu na małe uszkodzenia) lub dolnym (z uwagi na większe uszkodzenia stosowanym częściej w przetwórnich) sposobie odbioru surowca. Ich napęd może być elektryczny linowy lub elektryczno-hydrauliczny. Niektóre, bardziej zautomatyzowane (sterowane fotokomórkami) mogą być dostosowane do różnego rozmiaru skrzynek i skrzyniopalet. Kolejnym elementem linii sortowniczej jest podajnik taśmowy, często z regulowaną prędkością podawania owoców na stół rolkowy (inspekcyjny), gdzie następuje odbiór owoców zgniłych. Dalej są montowane szczotkarki czyszczące i polerujące suche owoce (Werner 2004a).

W rozładunku wodnym, stosowanym w liniach o większej wydajności (ponad $4\text{ t}\cdot\text{godz.}^{-1}$), minimalizującym uszkodzenia owoców i coraz częściej wykorzystywanym, dostępne są następujące warianty:

- prosty, sterowany ręcznie z zatapianą w basenie skrzyniopaletą;
- zautomatyzowany, zatapiający skrzyniopaletę i ją odstawiający.

Jabłka wypływają na powierzchnię i strumieniem wody kierowane są do kanału wodnego (do gruszek, które toną, montuje się specjalne pompy ciśnieniowe). Dalej montowany jest zespół mycia i suszenia (woda jest filtrowana i napowietrzana, co pozwala użytkować ją do 6 tygodni). Następnie owoce trafiają na stół inspekcyjny, a dalej na rolki z gąbki, gdzie odsączana jest woda, a owoce osuszane wentylatorami (Werner 2004a).

W dalszym procesie surowiec trafia na rozdzielacz i pojedynczo jest poddawany kalibrowaniu i sortowaniu (na kalibrownicach wagowych mechanicznych posiadających uchylne tace lub wagowych elektronicznych, gdzie systemy mechaniczne zastąpiono elektronicznymi, współpracującymi z komputerem, co pozwala dodatkowo zamontować urządzenia optyczne). Za pomocą kamer monochromatycznych (1 kamera na 2 ścieżki) określa się kształt obracających się pojedynczo na rolkach owoców, a w przypadku kolorowych (1 kamera na ścieżkę) sortuje się je pod względem wybarwienia skórki. Linie elektroniczne mogą być wyposażone w tzw. most wagowy pozwalający na rejestrację każdej partii owoców przez komputer centralny, który może być podglądany z zewnątrz (praca w sieci). Maszyny mechaniczno-wagowe mają 6–9 wyjść, a elektroniczne od kilkunastu do kilkudziesięciu (jednościeżkowa linia elektroniczna może dzielić owoce na 12–13 klas, a nawet do 18). Owoce są przekazywane na pasy odbierające za pomocą szczotek lub pasków i dalej trafiają do sekcji odbierającej w postaci płytkich lub akumulacyjnych stołów obsługiwanych przez kilka osób. Stoły mogą być wyposażone w dodatkowe urządzenia, np. wagi, urządzenia mechaniczne lub elektroniczne do napełniania pudeł kartonowych, skrzynek lub skrzyniopalet (napełnianie suche lub mokre) (Werner 2004a).

Istotne obecnie elementy sortowania owoców to głównie: wielkość rumieńca, masa, wodny rozładunek w sortownicy. Natomiast stosowane systemy sortowania to: MSE (2–5 produktów·s⁻¹), GeoSort (7–8 produktów·s⁻¹) oraz wykorzystujący kamery monochromatyczne CCD SmartSort.

System elektronicznego sortowania MSE, dzięki kamerom pomiarowym rejestrującym barwę i kształt (kamera monochromatyczna), pozwala na precyzyjne sortowanie owoców. Ponadto każdy owoc jest ważony na elektronicznym moście wagowym (Groborz i Kielbasa 2005). System GeoSort o modułowej konstrukcji charakteryzuje zwiększona wydajność sortowania oraz dokładność ważenia. Jego precyzja może wynosić nawet 1 g, a analiza kształtu owoców za pomocą czarno-białych kamer CCD pozwala na kalibrowanie z dokładnością nawet do 1 mm. W najnowszych liniach technologicznych typu SmartSort wprowadza się jeszcze dokładniejsze systemy sterujące, np. iQS (intelligent Quality Sorter — inteligentny system sortowania), gdzie kamery wykonują 70 zdjęć powierzchni produktu obracającego się na singulatorze, a każde zdjęcie jest osobno analizowane.

W ostatnich latach pojawiło się wprowadzanie systemu wewnętrznej kontroli jakości iFD (jędrności owoców w skali 1–120), a także wprowadzanie systemu pomiaru jakości iFA (jakość miąższu pozwalająca określić poziom cukru i kwasów oraz wyeliminować owoce ze szklistością miąższu, przygnieźdnym zbrunatnieniem, czy gorzką plamistością podskórną). Są to jednak drogie rozwiązania, opłacalne w największych sortowniach (Werner 2004b).

8. OPAKOWANIA DLA OWOCÓW I WARZYZ

Przy opakowaniach należy brać pod uwagę przewidywany sposób ich użytkowania, np. piętrzenie, dostosowanie do wymiaru palet ładunkowych, odporność na nacisk oraz działanie wilgoci. Opakowania możemy podzielić na: transportowe (ułatwienie przewozu, składowania i ochrony) oraz jednostkowe (Jakowski 2005).

Do opakowań transportowych możemy zaliczyć: skrzynki drewniane (obróć handlowy, bazy, małe sklepy; 2,5 roku użytkowania), skrzynki bezprzegrodowe z tworzywa (duże sklepy supermarketów; 8 lat użytkowania), pudła tekturowe (duże sklepy supermarketów; jednorazowe; zastąpiły skrzynki drewniane), worki tkane i dziane z tasiemek polipropylenowych (do cebuli, kapusty, ziemniaków, warzyw korzeniowych), czasem drewniane skrzyniopalety (używane do transportu z miejsca uprawy do przechowalni lub chłodni) (Jakowski 2005).

Zaledwie 10% owoców i warzyw pakowane jest w opakowania jednostkowe, jak: łubianki, pudełka, tacki, torebki, woreczki z siatki typu „netlon”, torby papierowe, siatki (HDPE), worki foliowe (LDPE) (często perforowane lub z mikroperforacją), tacki owijane folią (styropianowe (PS) lub HDPE lub PVC dawniej papierowe) i wytłaczanki (do owoców miękkich), pudełka kartonowe lub z PVC – mogą mieć wieczko i okienko z folii, owijane w folię rozciągliwą (Gajewski 2005b, Jakowski 2008).

Jednak coraz częstsze stosowanie opakowań z tworzyw sztucznych przyczyniło się do dużej ilości odpadów, a tym samym niewydolność systemu ich zbiórki, recyklingu i utylizacji. Z kolei wzrost świadomości ekologicznej konsumentów w zakresie wiedzy o zagrożeniach środowiskowych związanych z zagospodarowaniem tych odpadów przyspieszył rozwój alternatywnych materiałów opakowaniowych, nazywanych ekologicznymi.

Obecnie na rynku dominują tworzywa będące efektem przeróbki ropy naftowej. Natomiast ich produkcja z surowców odnawialnych, przy wykorzystaniu innowacyjnych metod, pozwala na uzyskanie biotworzyw przyjaznych środowisku. Według definicji stowarzyszenia European Bioplastics grupa biotworzyw obejmuje biopochodne lub biodegradowalne tworzywa albo materiały wykazujące jednocześnie obie z tych właściwości (Assman 2015).

Według Assman (2015) w zależności od surowców użytych do produkcji i podatności na biodegradację możemy wyróżnić 4 grupy tworzyw:

- I – niebiodegradowalne ze źródeł petrochemicznych (tzw. klasyczne);
- II – biodegradowalne pochodzące ze źródeł odnawialnych;
- III – biodegradowalne ze źródeł kopalnych;
- IV – niebiodegradowalne ze źródeł odnawialnych.

Według statystyk European Bioplastics (2020) udział biotworzyw IV grupy w światowych zdolnościach produkcyjnych w 2020 r. wynosił 42% i według prognoz w 2025 r. szacowany jest na 37% biotworzyw (szacuje się wzrost udziału biotwo-

rzyw biodegradowalnych do 63%). Należy tu wymienić przede wszystkim biopolietylen, biopolipropylen, biopoliamid i biopoli(chlorek winylu), a ich zaletą jest fakt, że nie różnią się one właściwościami od ich petrochemicznych odpowiedników.

W produkcji opakowań coraz częściej wykorzystuje się biodegradowalne polimery, pochodzące z surowców odnawialnych, które po okresie użytkowania, w odpowiednich warunkach temperatury, wilgotności czy obecności mikroorganizmów ulegają rozkładowi.

Jednym z najczęściej wykorzystywanych jest polilaktyd (PLA), alifatyczny poliester termoplastyczny charakteryzujący się całkowitą biodegradowalnością oraz dobrymi właściwościami mechanicznymi. Może więc być dobrą alternatywą dla obecnie stosowanych opakowań z tworzyw sztucznych (polietylenu, polipropylenu czy polistyrenu). PLA stanowi ok. 40% wszystkich tworzyw biodegradowalnych wytwarzanych z surowców odnawialnych (Niedzielska i Masek 2015).

Chitozan jako pochodna chityny (najbardziej rozpowszechniony po celulozie biopolimer naturalny) to jeden z atrakcyjniejszych polimerów pochodzących ze źródeł odnawialnych, nie tylko ze względu na swoją powszechność, ale także nietoksyczność i bioaktywność. Jest on odporny na ogrzewanie, wykazuje także dobre właściwości mechaniczne, zdolny do tworzenia błon (bez stosowania dodatków), które stosuje się do powlekania świeżych owoców. Wykazuje znaczną przepuszczalność O_2 i CO_2 , jednak mniejszą niż folie polietylenowe, a dodatek polilaktydu (do 30%) zwiększa jego odporność na działanie wody (Niedzielska i Masek 2015).

Rosnące zainteresowanie tworzywami ekologicznymi wpływa na spadek ich cen będących jedną z przeszkód w stosowaniu polimerów biodegradowalnych. Dlatego też przemysł i przetwórstwo coraz chętniej decydują się na opakowania ulegające biodegradacji.

9. PAKOWANIE W MODYFIKOWANEJ ATMOSFERZE

Problematykę tę przedstawia Gajewski (2005a), który przybliży stosowane metody. Według niego jest to zamykanie żywności w opakowania wypełnione atmosferą o zmodyfikowanym składzie (MAP, ang. *Modified Atmosphere Packaging*) – w stosunku do składu naturalnego powietrza – dostosowanym do rodzaju produktu, albo usunięcie powietrza z opakowania i hermetyczne jego zamknięcie (pakowanie próżniowe). Chodzi tu o wytworzenie odpowiednio zrównoważonego składu gazowego pozwalającego na przedłużenie trwałości produktu.

W procesie pakowania MAP rozróżniamy dwa rodzaje modyfikacji atmosfery, tj.:

- pasywną (owoce i warzywa mało przetworzone) – skład atmosfery w opakowaniu zmienia się pod wpływem procesów oddychania);
- aktywną – zastąpienie powietrza odpowiednią mieszaniną gazów w opakowaniu o określonej przepuszczalności lub umieszczenie w opakowaniu substancji pochłaniających lub wydzielających CO_2 , O_2 i etylen.

VP (ang. *Vacuum Packaging*) – pakowanie próżniowe, jako wariant pakowania w modyfikowanej atmosferze, polega na obniżeniu ciśnienia w opakowaniu przez częściowe usunięcie powietrza poprzez: wdmuchiwanie do opakowania silnego strumienia pary wodnej, obkurczanie termokurczliwej folii pod wpływem ogrzewania czy wyciąganie powietrza z opakowania za pomocą dysz ssących z komory próżniowej.

EMA (ang. *Equilibrium Modified Atmosphere*) – zastosowanie opakowania o określonych właściwościach polegających na selektywnej przepuszczalności dla gazów.

MIP (ang. *Modified Interactive Packaging*) – zastosowanie folii z poliuretanu o zwiększonej przepuszczalności dla pary wodnej. MIP mają postać worków dostosowanych do pojemności skrzynki z surowcem.

CAP (ang. *Controlled Atmosphere Packaging*) – skład atmosfery jest utrzymywany dzięki różnym dodatkom do opakowania.

APS (ang. *Active Packaging System*) – opakowania aktywne, oddziałujące na atmosferę wewnątrz poprzez:

- dodatek substancji chemicznych pochłaniających tlen (związki żelazawe z katalizatorem) – Freshmax;
- substancje wytwarzające lub pochłaniające CO₂, np. Fresh Lock;
- substancje absorbujące etylen, np. Ethysorb;
- regulatory wilgotności, np. silikażel;
- absorbenty zapachów;
- inhibitory rozwoju mikroorganizmów patogenicznych, np. fungicyd imazalil lub wyciąg z pestek grejpfruta.

IPA (ang. *Intelligent Packaging Application*) – opakowanie inteligentne zawierające wskaźnik przydatności produktu do spożycia (może reagować na opary etanolu powstające przy psuciu się produktu lub obecność mikroorganizmów chorobotwórczych).

System Marcellina (worki Marcellina) – dostosowany do ładunków paletowych, z okienkiem z elastomeru silikonowego o odpowiedniej przepuszczalności dla gazów.

Gazy stosowane w technologii MAP to: tlen, azot, dwutlenek węgla (tradycyjne) i argon, ksenon, podtlenek azotu, hel (niekonwencjonalne). O wyborze mieszanki gazów decyduje podatność produktu na rozwój mikroflory, wrażliwość na tlen i dwutlenek węgla oraz stabilność barwy produktu.

10. PODSUMOWANIE

Na bieżąco zmagamy się z licznymi problemami rolnictwa i ze związanym z nim przetwórstwem rolno-spożywczym. Do podstawowych z nich możemy zaliczyć marnowanie produktów żywnościowych, niedostateczne zagospodarowanie

odpadów roślinnych w przetwórstwie rolno-spożywczym oraz rosnącą w szybkim tempie liczbę zużytych opakowań jednorazowych z tworzyw sztucznych.

Znacząca część odpadów roślinnych powstałych w przemyśle rolno-spożywczym poddawana jest odzyskowi. Odpady w postaci biomasy jako produkt uboczny obróbki po zbiorach, magazynowania, przygotowania do sprzedaży czy przetwórstwa surowców żywnościowych mogą być wykorzystane do skarmiania zwierząt hodowlanych, wytwarzania bioenergii czy ostatecznie kompostowania. Innowacyjnym zagospodarowaniem tego typu odpadów może być odzyskiwanie obecnych w nich substancji bioaktywnych. Natomiast istotną sprawą jest także konieczność zagospodarowania licznie występujących odpadów opakowaniowych.

Wymagania dla opakowań, związane z ochroną środowiska, wprowadzono w Unii Europejskiej w 1994 r. dyrektywą 94/62/EC. Według niej opakowania wprowadzane do obrotu powinny być przydatne przynajmniej do jednej z form odzysku:

- recyklingu materiałowego;
- recyklingu organicznego;
- odzysku energii.

Z kolei masa opakowań w całym systemie pakowania towarów powinna być ograniczona do niezbędnego minimum (redukcja u źródła).

Zastosowanie tych zasad w praktyce wymaga od przedsiębiorców posiadania dostatecznej wiedzy i umiejętności oraz poszukiwania rozwiązań uzasadnionych ekonomicznie. Pociąga to także konieczność zbudowania w kraju drogich instalacji do spalania z odzyskiem energii oraz poprawy w zakresie dostępności opakowań nadających się do kompostowania i ich zbiórki razem z odpadami organicznymi.

Opakowania powinny nie tylko zapewniać bezpieczeństwo żywności, ale także być neutralne dla środowiska i wypełniać założenia gospodarki o obiegu zamkniętym – powinny być tak zaprojektowane i wykonane, aby były łatwe do poddania ich pełnemu recyklingowi.

Natomiast opakowania złożone z elementów wykonanych z różnych materiałów nie zawsze można poddać recyklingowi w 100%. W przypadku opakowań rozwiązaniem optymalnym, sprzyjającym recyklingowi, zapewniającym łatwość oddzielenia w przemysłowych procesach sortowania, jest układ, gdy wszystkie elementy opakowania są wykonane z tych samych materiałów.

Stały wzrost odpadów opakowaniowych, pojawiające się problemy z ich sprawnym recyklingiem oraz zainteresowanie ochroną środowiska sprzyja powstawaniu opakowań biodegradowalnych, które są jednym z kierunków rozwoju innowacyjnych opakowań wpisującego się w realizację założeń gospodarki o obiegu zamkniętym.

Opakowania biodegradowalne, wykonane z odpadowego, corocznie odnawialnego surowca naturalnego, są przydane do kompostowania. Mogą być one zamiennikiem dotychczasowych, wytwarzanych z surowców ropopochodnych, tworzyw sztucznych. Tym bardziej, że mamy do czynienia z ograniczonymi zasobami ropy

naftowej, co skłaniać powinno do poszukiwań alternatywnych rozwiązań bazujących na tanich surowcach odnawialnych.

11. LITERATURA

1. A d a m i c k i F.: Sposoby przechowywania warzyw: cebulowych, korzeniowych, kapustnych. Hortpress Sp. z o.o., Warszawa 2006.
2. A d a m i c k i F., Czerko Z.: Przechowalnictwo warzyw i ziemniaka. PWRiL, Poznań 2002.
3. A d a m o w i c z M.: Biogospodarka – koncepcja, zastosowanie i perspektywy. Zagadnienia Ekonomiki Rolnej, IERiGŻ, Warszawa, 2017, **1(350)**: 29-49.
4. A s s m a n K.: Opakowania z natury. W: Ekoinnowacje w opakowaniach. ABRYŚ Wydawnictwa Komunalne, Poznań, 2015, ss. 20-22.
5. B a k u ł a T.: Wykrywanie i zwalczanie szkodników. 2012, ss. 5; www.pl.wet.uwm.edu.pl. (dostęp: 17.10.2019).
6. B i s k u p s k i K., Łysiak J., Strutyńska K., Tkaczyk R.: Suszarnie zbożowe i urządzenia do aktywnego wietrzenia. WNT, Warszawa 1972.
7. B ł a ż e w i c z J., Zembołd-Guła A.: Metody oceny stopnia porażenia surowców przez szkodniki. Materiały dydaktyczne SGGW, Warszawa 2019a 16.10.2019 [online].
8. B ł a ż e w i c z J., Zembołd-Guła A.: Zwalczanie szkodników przechowalniczych. Materiały dydaktyczne SGGW, Warszawa 2019b, 16.10.2019, [online].
9. C h ą d z y Ń s k i A., Piróg M.: Technologia procesu przechowywania owoców, warzyw i ziemniaków a układy funkcjonalno-przestrzenne obiektów. Budownictwo i Architektura, Politechnika Lubelska, Lublin, 2013, **12(4)**: 21-28.
10. C h y ł e k E.K., Rzepecka M.: Biogospodarka – konkurencyjność i zrównoważone wykorzystanie zasobów. PJA, IUNG-PIB, Puławy, 2011, **7**: 3-13.
11. European Bioplastics. 2020; https://www.european-bioplastics.org/wp-content/uploads/2020/11/Global_Production_Capacity_Total_2019-2025.jpg
12. G a j e w s k i M.: Opakowania ze zmodyfikowaną atmosferą. Hasło Ogrodnicze, 2005a, 5.
13. G a j e w s k i M.: Opakowania jednostkowe dla warzyw i owoców. Hasło ogrodnicze, 2005b, 5.
14. G a j e w s k i M.: Przechowalnictwo warzyw. SGGW, Warszawa 2001a.
15. G a j e w s k i M.: Zbiór, przechowywanie i klasy jakości pomidorów. Hasło Ogrodnicze, 2001b, 8.
16. G r o b o r z A., Kielbasa P.: Wybrane właściwości fizyczne jabłek istotne w procesie sortowania i selekcji. Inż. Roln., Warszawa, 2005, **10**: 117-126.
17. I g n a t o w i c z S.: Zamienniki bromku metylu do zastosowań w zakładach zbożowo-młynarskich: metody niechemiczne. 2019; www.insekt2.pl (dostęp 16.10.2019).
18. IERiGŻ-PIB 2019. Rynek zbóż. Stan i perspektywy. Nr 56, Instytut Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2019, ss. 48.
19. J a k o w s k i S.: Opakowania dla owoców i warzyw. Hasło Ogrodnicze, 2005, 6.
20. J a k o w s k i S.: Opakowania do pakowania owoców i warzyw, Opakowanie, 2008, **9**: 40-41.
21. L i s o w s k i A.: Suszenie ziarna po zbiorach. Dobra Uprawa, 2006, **29**: 8-10.
22. N i e d z i e l s k a E., Masek A.: Biodegradowalne polimery w materiałach opakowaniowych. Eliksir, 2015, **1**: 20-22.
23. O l e j a r s k i P.: Zagrożenia dla zmagazynowanych zbóż. AgroSerwis, 2005, **2**: 87-90.

24. Olejarski P.: Rozwój i doskonalenie fizycznych metod wykrywania owadów – szkodników przechowywanych zbóż. Postępy Nauk Rolniczych, Warszawa 2010, **1**: 123-136.
25. Olejarski P., Ignatowicz S.: Integrowana metoda zwalczania szkodników magazynowych. Progress in Plant Protection/Postęp w Ochronie Roślin, IOR Poznań, 2011, **51(4)**: 1879-1885.
26. Rudziński R.: Zasady przechowywania i magazynowania towarów pochodzenia rolniczego. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego, Siedlce, 2011, **88**: 113-126.
27. Rutkowski K.: Przygotować się do sezonu przechowywania. Hasło Ogrodnicze, 2005, 9.
28. Schulz H., Böttcher H.: Składowanie produktów roślinnych. AR, Lublin 1999.
29. Sadura K., Skwierz M.: Zalety i korzyści płynące z okrywania przyzmi włókniną oraz najczęściej popełniane błędy na podstawie obserwacji i doświadczeń roku ubiegłego. Burak Cukrowy, 2009, 4: 14-17.
30. Szyszło J.: Techniki i technologie w przechowywaniu zbóż. IBMER, Warszawa 2002.
31. Ustawa z dnia 11 maja 2001 r. o warunkach zdrowotnych żywności i żywienia. (Dz.U. z 2001 r. nr 63 poz. 634).
32. Werner T.: Linie technologiczne do sortowania. Hasło Ogrodnicze, 2004a, 3.
33. Werner T.: Spojrzenie w przyszłość. Hasło Ogrodnicze, 2004b, 3.
34. www.piorin.gov.pl



Andrzej Madej

VII. PRZEMYSŁ SPOŻYWCZY BIOMASA ODPADOWA I UBOCZNA

Zakład Agroekologii i Ekonomiki
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa
Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. (0-81) 4786809
e-mail: Andrzej.Madej@iung.pulawy.pl

1. WSTĘP

Z przechowywaniem produktów rolnych oraz ich przetwarzaniem w przemyśle rolno-spożywczym wiąże się powstawanie strat przechowalniczych oraz wielu rodzajów pozostałości poprodukcyjnych. Niepełne wykorzystanie przetwarzanych surowców przyczynia się do powstania pozostałości w postaci resztek surowcowych i materiałowych, stanowiących produkty uboczne oraz odpady technologiczne. Ponadto powstają odpady z użytkowania maszyn, urządzeń i infrastruktury budowlanej. Ilość powstających odpadów w znacznym stopniu zależy od stosowanych technologii i intensywności podejmowanych działań ograniczających ich oddziaływanie na środowisko.

Celem opracowania jest oszacowanie ilości powstających strat przechowalniczych oraz żywnościowych pozostałości poprodukcyjnych z przemysłu rolno-spożywczego (stanowiących biomasę odpadową i uboczną), dla określonej według danych GUS krajowej produkcji rolniczej.

2. WALORYZACJA STRAT ŻYWNOŚCI I ODPADÓW ŻYWNOŚCIOWYCH

2.1. ODPADY ŻYWNOŚCIOWE

Straty żywności oraz odpady żywnościowe, które według Bednarczuka i Śleszyńskiego (2019) składają się na zmarnowaną żywność, definiowane są w następujący sposób:

- strata żywności (ang. *food loss*) odnosi się do zmniejszenia masy (suchej masy) lub wartości odżywczej (jakości) żywności, która pierwotnie była przeznaczona do spożycia przez ludzi. Straty te wynikają głównie z nieskuteczności łańcuchów dostaw żywności, słabej infrastruktury i złej logistyki, braku technologii, niewystarczającej wiedzy, umiejętności i zdolności zarządzania podmiotami łańcucha dostaw oraz z braku dostępu do rynków zbytu. Na powstawanie strat żywności mają też wpływ klęski żywiołowe;
- odpady żywnościowe (ang. *food waste*) odnoszą się do żywności przeznaczonej do spożycia przez ludzi, która jednak została wyrzucona. Powodem tego mogło być zarówno zepsucie się jedzenia, przekroczenie terminu przydatności do spożycia, jak też nadmierna podaż lub indywidualne nawyki konsumpcyjne i żywieniowe;
- zmarnowana żywność (ang. *food wastage*) to każda żywność utracona w wyniku powstania strat żywności lub odpadów żywnościowych.

Ponadto wymienieni powyżej autorzy przywołują definicje FAO (ang. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*), zawarte w raportach Food wastage footprint... z 2013 i 2014 r. (Blecharczuk i Śleszyński 2019), które w dokładniejszy sposób ujmują główne pojęcia dotyczące tematu marnowania żywności.

Według Benarczuka i Śleszyńskiego (2019) FAO dokonuje podziału roślin i zwierząt na części jadalne i niejadalne, zwracając uwagę na fakt, że choć żywnością nazywamy tylko części jadalne, to na degradację środowiska oraz generowanie kosztów ekonomicznych, społecznych i środowiskowych wpływ ma cały zmarnowany produkt. Stąd w większości raportów poświęconych zjawisku marnowania żywności znajdują się informacje i analizy przeprowadzone na podstawie danych odnoszących się do całego produktu.

Bednarczuk i Śleszyński (2019) wskazują na fakt, że liczby dotyczące marnowania żywności przedstawiane w dotychczasowych raportach są alarmujące. FAO szacuje, że w 2007 r. zmarnowano ok. 1,6 mld t produktów żywnościowych, w tym ok. 1,3 mld t stanowiły jadalne części tych produktów. Raport FUSIONS (Stenmack i in. 2016) donosi, że w Unii Europejskiej w 2012 r. zmarnowaniu uległo ponad 87 mln t jadalnych i niejadalnych części produktów żywnościowych, co w przeliczeniu na jedną osobę dawało ok. 173 kg. Z kolei badania zainicjowane przez Eurostat pokazały, że w 2012 r. w Unii Europejskiej zmarnowaniu uległo średnio 127 kg żywności na osobę. Dość istotne jest spostrzeżenie, że w krajach europejskich gospodarstwa domowe, w różnych oszacowaniach, odpowiadają za niemal połowę (42% w badaniach Eurostatu) lub ponad połowę (53% w badaniach FUSIONS) odpadów żywnościowych.

Istotną informacją zawartą w opracowaniu jest sposób szacowania odpadów żywnościowych dla krajów, które nie zdołały dostarczyć danych odnośnie odsetka odpadów żywnościowych w zmieszanych odpadach komunalnych ogółem. Przyjęto wobec nich założenie, że średni odsetek odpadów żywnościowych w zmieszanych odpadach komunalnych wynosi 25% (Bednarczuk i Śleszyński 2019).

Według danych GUS (2019a) w 2017 r. w Polsce wytworzono i odebrano 11,969 mln t odpadów komunalnych (zmieszanych – 8,729 mln t i zebranych selektywnie – 3,239 mln t), z tego 9,971 mln t (83%) z gospodarstw domowych (260 kg na mieszkańca; 7,020 mln t odpadów zmieszanych i 2,951 mln t odpadów zebranych selektywnie). Ilość wytworzonych odpadów komunalnych na jednego mieszkańca wyniosła 312 kg i był to jeden z najniższych wskaźników w Europie (średnia wartość w UE w 2016 r. to 483 kg·osobę⁻¹).

Wobec powyższych danych, ilość odpadów żywnościowych wytworzonych w zmieszanych odpadach komunalnych można szacować na ok. 2,182 mln t.

Jak podają Bednarczuk i Śleszyński (2019), zainicjowane w 2015 r. badania Eurostatu dotyczyły możliwości uzyskania informacji o odpadach żywnościowych z danych zgromadzonych w bazach własnych Eurostatu dotyczących statystyki odpadów („Waste Statistics Regulation” – WstatR). Badania te dotyczyły wyróżnienia 51 kategorii odpadów (kategorie EWC-Stat) oraz 19 źródeł ich powstawania (kategorie NACE) (Dz.U. L 253, 28.09.2010). Do zebrania danych o wytwarzaniu odpadów wykorzystano metodykę AStatR, a w wyodrębnieniu informacji o odpadach żywnościowych zwrócono uwagę na 3 kategorie odpadów EWC-Stat: 09.1. Odpady zwierzęce i zmieszane odpady żywnościowe; 09.2. Odpady roślinne; 10.1. Odpady

z gospodarstw domowych i podobne (tab. 1). Uwzględniono natomiast 4 źródła powstawania odpadów z grupy NACE: A01-A03 Rolnictwo, leśnictwo i rybołówstwo; C10-C12 Produkcja żywności, napojów i wyrobów tytoniowych; G-U (bez G46.77) Działalność usługowa oraz Gospodarstwa domowe. Zastosowanie rozbicja kategorii EWC-Stat na podkategorie pozwoliło na wydzielenie kategorii odpadów, które składały się „głównie” lub „częściowo” z odpadów żywnościowych (tab. 1). Dane te nie były idealne, gdyż przedstawiały jedynie informacje o odpadach zawierających odpady żywnościowe, a nie przedstawiały bezpośrednio danych o odpadach żywnościowych. Autorzy projektu sugerowali, że przyjęcie nowych wskaźników do szacowania marnowanej żywności stwarza konieczność dodania do dotychczasowych kategorii z listy odpadów („List of Waste” – LoW) dokładnych informacji, które kategorie składają się „głównie” z odpadów żywnościowych, które „częściowo”, a które wcale nie powinny zawierać tego rodzaju odpadów.

Tabela 1

Klasyfikacja kategorii odpadów z listy odpadów („List of Waste” – LoW)
z punktu widzenia zawartości odpadów żywnościowych („głównie” lub „częściowo”)
(Pairot i Roberti de Winghe 2015)

Opis pozostałości	Kod	Ilość w Mg
09.1 Odpady zwierzęce i zmieszane odpady żywnościowe		
Odpady z tkanek zwierzęcych	020202	głównie
Materiały, które nie nadają się do spożycia lub przetwarzania	020203	głównie
Materiały, które nie nadają się do spożycia lub przetwarzania	020501	głównie
Mieszanina tłuszczu i oleju z separacji olej/woda zawierająca wyłącznie jadalny olej i tłuszcz	190809	głównie
Biodegradowalne odpady kuchenne i stołówkowe	200108	głównie
Jadalny olej i tłuszcz	200125	głównie
09.2 Odpady roślinne		
Odpady z tkanek roślinnych	020103	częściowo
Osady z mycia, czyszczenia, obierania, odwirowywania i separacji	020301	częściowo
Materiały, które nie nadają się do spożycia lub przetwarzania	020304	głównie
Materiały, które nie nadają się do spożycia lub przetwarzania	020601	głównie
Odpady z mycia, czyszczenia i mechanicznej redukcji surowców	020701	częściowo
Odpady z destylacji spirytusów	020702	głównie
Materiały nie nadające się do spożycia lub przetworzenia	020704	głównie
10.1 Odpady gospodarstw domowych i podobne		
Zmieszane odpady komunalne	200301	częściowo
Odpady z rynków	200302	częściowo

Rolnictwo, szczególnie chów zwierząt oraz przemysł rolno-spożywczy (PRS), generuje ogromne ilości odpadów organicznych w formie płynnej i półstałej. Ich zagospodarowanie stanowi wyzwanie dla nauki, przemysłu i władz lokalnych. Odpady organiczne zawierają cenne składniki mineralne, istotne dla podniesienia żyzności gleby, a ich aplikacja na użytki rolne, po odpowiednim przetworzeniu (np. kompostowaniu), może stanowić opcję recyklingu. Jednak standardowe metody zagospodarowania tych odpadów, ze względu na zdrowie i komfort życia mieszkańców, wywołują częsty sprzeciw opinii publicznej (Daniel i in. 2012).

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Klimatu z dnia 2 stycznia 2020 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. z 2020 r. poz. 10), odpady które generowane są w rolnictwie i zakładach przemysłu rolno-spożywczego zakwalifikowane są do następujących grup:

5. Odpady z rolnictwa, ogrodnictwa, upraw hydroponicznych, rybołówstwa, leśnictwa, łowiectwa oraz przetwórstwa żywności – 02 (oznaczenie cyfrowe grup odpadów);
6. Odpady z przetwórstwa drewna oraz z produkcji płyt i mebli, masy celulozowej, papieru i tektury – 03;
7. Odpady z przemysłu skórzanego, futrzarskiego i tekstylnego – 04;
8. Odpady z produkcji, przygotowania, obrotu i stosowania produktów przemysłu chemii organicznej – 07;
9. Odpady opakowaniowe; sorbenty, tkaniny do wycierania, materiały filtracyjne i ubrania ochronne nieujęte w innych grupach – 15;
10. Odpady nieujęte w innych grupach – 16;
11. Odpady medyczne i weterynaryjne – 18;
12. Odpady komunalne łącznie z frakcjami gromadzonymi selektywnie – 20.

3. STRATY ŻYWNOŚCI W PROCESIE PRZECHOWYWANIA ROŚLINNYCH PRODUKTÓW ROLNICZYCH ORAZ POZOSTAŁOŚCI Z PRZEMYSŁU ROLNO-SPOŻYWCZEGO PRODUKTÓW ROŚLINNYCH

Podstawowym zadaniem przechowywania rolniczych produktów roślinnych w gospodarstwach rolnych jest przede wszystkim zapobieganie lub znaczne ograniczenie ilościowych strat, odpowiednie przygotowanie surowca do przechowania i zbytu oraz utrzymanie wysokich właściwości użytkowych poszczególnych gatunków od zbioru do konsumpcji lub przerobu. W procesie przechowywania mamy do czynienia z następującymi rodzajami strat i ich przyczynami:

- straty masy (w wyniku oddychania i transpiracji) – zależą od gatunku i odmiany, stadium fizjologicznego, metod składowania, temperatury, wilgotności i prędkości powietrza, stopnia wykorzystania pomieszczeń przechowalniczych, okresów pracy agregatów chłodniczych, izolacji cieplnej ścian, zabezpieczenia komór przed parą wodną. Stosunek strat waha się od 1:3 do 15.

Podczas przechowywania w atmosferze regulowanej można obniżyć straty o 50%, a nawet do $\frac{1}{3}$. Straty masy na poziomie 5–7% powodują, że owoce zaczynają się marszczyć i znacznie tracą na jakości;

- straty wywoływane przez choroby w okresie przechowywania: pasożytnicze – są następstwem infekcji podczas wzrostu, zbioru, transportu oraz w przechowaniu; fizjologiczne zewnętrzne; fizjologiczne wewnętrzne – wywołane przez zakłócenie procesu przemiany materii (oddziaływanie niższych temperatur, zbyt wysokie stężenie CO_2 , zbyt niskie stężenie O_2 , lub nadmierna ilość szkodliwych produktów przemiany materii);
- straty powodowane przez szkodniki zwierzęce (myszy i szczury);
- straty jakości – zmniejszenie wielkości, pomarszczenie, rozpad substancji składowych, obniżenie wartości smakowej i odżywczej, ujawnienie się wad ukrytych, pogorszenie się konsystencji.

Definicje produktów ubocznych i odpadów oparte na prawie unijnym i krajowym, które mogą ułatwić klasyfikację pozostałości w procesach produkcyjnych możemy znaleźć w publikacji Czeżyka i in. (2010) dotyczącej wytycznych odnośnie wykorzystania produktów ubocznych, a także zalecanego postępowania z odpadami pochodzącymi z rolnictwa i przemysłu rolno-spożywczego, tj.:

- produkty uboczne to pozostałości poprodukcyjne nadające się do bezpośredniego wykorzystania bez uprzedniego przetwarzania lub stanowiące surowiec do produkcji innych wyrobów;
- odpady to pozostałości poprodukcyjne wymagające poddawania procesom przerobu w celu odzysku lub unieszkodliwienia oraz pozostałości poprodukcyjne nienadające się do odzysku i przedmioty lub ich części nienadające się do użytku.

Według powyższej definicji produkty uboczne powinny być wykorzystane przez producenta lub sprzedane, a odpady poddane procesowi recyklingu lub unieszkodliwiane.

Wyniki analiz prowadzonych w latach 2001–2004 (tab. 2), dotyczące poziomów niewykorzystanych surowców roślinnych w różnych procesach produkcji PRS, wskazały, że największy ich udział dotyczył przerobu buraków cukrowych, produkcji skrobi ziemniaczanej i olejów roślinnych (Daniel i in. 2012).

Przedstawiona wyżej metodyka badań pozwoliła na obliczenie ilości odpadów żywnościowych powstających w zakładach przemysłu rolno-spożywczego, wykorzystując do tego dane zawierające informacje o produkcji pozostałości w tych zakładach. W tym celu wykorzystano opracowanie Czyżyka i in. (2010) zawierające między innymi współczynniki do obliczania pozostałości w przemyśle rolno-spożywczym, kwalifikując je na podstawie kodów (kod 02 dotyczący odpadów z przemysłu rolno-spożywczego) zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Klimatu z dnia 2 stycznia 2020 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. z 2020 r. poz. 10).

Tabela 2

Procent niewykorzystanych surowców roślinnych z produkcji żywności
(stanowiących odpady) (Daniel i in. 2012)

Proces produkcyjny	% masy surowca niewykorzystanego w produktach końcowych
Wytwarzanie soków owocowych i warzywnych	30–50
Wytwarzanie konserw owocowych i warzywnych	5–30
Wytwarzanie olejów roślinnych	40–70
Wytwarzanie skrobi z kukurydzy	41–43
Wytwarzanie skrobi z ziemniaków	80
Wytwarzanie skrobi z pszenicy	50
Wytwarzanie cukru z buraków cukrowych	86

W tabeli 3 zestawiono zbiorcze informacje na temat produkcji pozostałości w zakładach przemysłu rolno-spożywczego, które mogły zawierać odpady żywnościowe (ogółem lub częściowo) i w których surowcem były produkty rolnicze pochodzenia roślinnego. Natomiast poniżej przeanalizowano poszczególne gałęzie PRS pod kątem produkcji pozostałości, które zawierały lub powinny zawierać odpady żywnościowe ogółem lub częściowo. Podobnej analizy dokonano dla gałęzi PRS, w których surowcem były zwierzęta lub produkty pochodzenia zwierzęcego.

Uwzględnienie danych Głównego Urzędu Statystycznego (GUS 2018a i 2018b) odnośnie wykorzystanych surowców roślinnych, będących produktami rolniczymi, pozwoliło na oszacowanie pozostałości z przemysłu rolno-spożywczego. Jeśli chodzi o pozostałości zawierające głównie odpady żywnościowe, to zaliczyć możemy do nich odpady nienadające się do spożycia (020304) w ilości 5,4–276,5 tys. t oraz odpady rektyfikacji (fuzle) (020702) w ilości 4,1 tys. t. Natomiast do pozostałości częściowo zawierających odpady żywnościowe należały odpadowa masa roślinna (020103) w ilości 46,4–345,2 tys. t z przeznaczeniem na kompostowanie, szlamy z mycia i czyszczenia produktów (020301) w ilości 285,3–753,8 tys. t, granulaty słodowy, spławki, odpady jęczmienne, pyły jęczmienne (020701) w ilości 64 tys. t, które mogą być wykorzystane w gospodarstwach rolnych lub przez koła łowieckie oraz odpady komunalne (200301) w ilości 28,3–34,7 tys. t.

Według obliczeń wykonanych z uwzględnieniem danych GUS łączna ilość pozostałości z PRS, gdzie surowcem były płody rolne (produkcja roślinna), w których główną część powinny stanowić odpady żywnościowe według metodyki Eurostatu (Czyżyk i in. 2010), wynosiła ok. 9,5–280,6 tys. t (tab. 3), natomiast pozostałości, które częściowo zawierały odpady żywnościowe obliczone według tej metodyki wynosiły 424,0–1197,7 tys. t.

Ponadto najwięcej pozostałości z przemysłu rolno-spożywczego dostarczonych było w postaci ścieków – 106,9–237,7 mln m³. Żużle i popioły, które mogą słu-

żyć do stabilizacji gruntu, m.in. w drogownictwie, stanowiły 158,1–2870,4 tys. t. Ziemia okrzemkowa oraz osady z zakładowych oczyszczalni ścieków przeznaczone do kompostowania wynosiły 60,0–146,4 tys. t. Od 471,9 do 2202,2 tys. t stanowiły osady z hydrottransportu oraz czyszczenia i mycia surowców (buraki, ziemniaki), które mogą być bezpośrednio wywożone na pole lub do niwelacji terenu. Otrzymano również 05–0,9 tys. t wapna do zastosowania bezpośrednio na pole. Produkcja PRS dostarczyła także odpadów, które mogą być cennymi paszami lub w przypadku zbyt dużej podaży, mogą być przeznaczone na produkcję biogazu, bioetanolu lub innych cennych produktów. Zaliczyć tu możemy makuchy i śruty w ilości 1453,5–4590,0 tys. t, wytloki i osady w ilości 574,4–1314,0 tys. t, wysłodki w ilości 5190,9–9438,0 tys. t, melasę w ilości 157,3–629,2 tys. t oraz 2813,6–3262,2 tys. t wywaru pofermentacyjnego. Ponadto w procesach produkcji powstało 21,9 tys. t innych pozostałości roślinnych, które mogą być spalone lub poddane kompostowaniu.

W procesie przetwarzania surowców roślinnych powstały także opakowania z różnych materiałów, które powinny być poddane zbiórce selektywnej i recyklingowi.

Tabela 3

Zestawienie pozostałości z przemysłu rolno-spożywczego, gdzie surowcem były produkty roślinne (obliczenia własne na podstawie Czyżyk i in. 2010)

Opis pozostałości	Kod	Ilość pozostałości (tys. Mg)	
		min.	maks.
Ścieki	-	106918,5	237710,4
Inne	-	20,2	21,1
Żużle i popioły	150102	158,1	2870,4
Odpadowa masa roślinna	020103	46,4	345,2
Odpady metalowe	020110	0,4	8,5
Szlamy z mycia i czyszczenia	020301	285,3	753,8
Makuchy, śruta	020302	1453,5	4590,0
Odpady nienadające się do spożycia	020304	5,4	276,5
Osady z zakładowych oczyszczalni ścieków	020305	39,8	
Wytloki, osady i inne	020380	574,4	1314,0
Inne roślinne	020399	21,9	
Osad z oczyszczania i mycia buraków	020401	471,9	2202,2
Wapno	020402	0,5	0,9
Wysłodki	020480	5190,9	9438,0
Melasa	020499	157,3	629,2

cd. tab. 3

Opis pozostałości	Kod	Ilość pozostałości (tys. Mg)	
		min.	maks.
Granulat słodowy, splawki, odpady jęczmienne, pyły jęczmienne	020701	64,0	
Odpady rektyfikacji (fuzle)	020702	4,1	
Osady z zakładowych oczyszczalni ścieków	020705	12,9	92,9
Wywar pofermentacyjny	020780	2813,6	3262,2
Ziemia okrzemkowa	020799	7,3	13,7
Opakowania z papieru i tektury	150101	17,7	50,7
Opakowania z tworzyw sztucznych	150102	24,1	41,2
Opakowania z drewna	150103	5,7	14,3
Opakowania z metali	150104	2,7	3,0
Opakowania wielomateriałowe	150105	0,1	
Opakowania zmieszane	150106	4,4	
Opakowania ze szkła	150107	10,3	40,1
Opakowania z pozostałościami substancji niebezpiecznych	150110	0,0	0,2
Odpady z produkcji pasz roślinnych	160306, 160380	0,2	13,4
Katalizatory	160803	0,6	
Złom	170405	0,2	4,1
Skratki	190801	0,9	
Ustabilizowane komunalne osady ściekowe	190805	0,1	
Odsady z dekarbonizacji wody	190903	3,2	
Odpady drewniane	191207	0,2	9,7
Odpady komunalne	200301	28,3	34,7

□ – pozostałości częściowo zawierające odpady żywnościowe (wg Eurostat)

□ – pozostałości głównie zawierające odpady żywnościowe (wg Eurostat)

3.1. RYNEK ZBÓŻ

Największe zużycie zbóż w kraju występuje w dwóch podstawowych kierunkach: spożycie (średnio 4,8 mln t) oraz spasanie (średnio 17,1 mln t) (tab. 4). W przypadku spasania należy zaznaczyć, że w sezonie 2018/2019 zużycie zbóż na spasanie w formie pasz gospodarskich było szacowane na 11,1 mln t (63% zboża spasanego ogółem), a w przemyśle paszowym na 6,6 mln t.

Tabela 4

Bilans zbóż ogółem¹ w tys. ton (obliczenia własne na podstawie IERiGŻ-PIB 2019d)

Wyszczególnienie	Lata			Średnia
	2016/2017	2017/2018	2018/2019*	
Zapasy początkowe	6356	4903	6495	5918
Produkcja	29687	31778	26657	29374
Import	2816	2242	1710	2256
Zasoby ogółem	38860	38992	34862	37571
Zużycie krajowe	26563	27573	28103	27413
Spożycie	4852	4834	4794	4827
przemiał zbóż	3720	3850	3850	3807
Wysiew	1261	1316	1376	1318
zużycie przemysłowe	2597	2828	2948	2791
produkcja etanolu	1181	1190	1279	1217
przemysł skrobiowy	695	900	920	901
produkcja słodu	720	728	743	730
Spasanie	16448	17186	17720	17118
zużycie w prod. mieszanek pasz.	6025	6336	6640	6334
straty i ubytki	1406	1410	1266	1361
Eksport ²	7394	4850	4600	5615
Zapasy końcowe ³	4903	6495	2159	4519

* szacunek

¹łącznie z kukurydzą, ale z wyłączeniem gryki i prosa²łącznie z produktami zbożowymi w ekwiwalencie ziarna³łącznie z zapasami interwencyjnymi

Z przedstawionego w tabeli 4 bilansu zbóż wynika, że średni udział strat i ubytków zbóż w latach 2017–2019 wyniósł 1,36 mln t, co stanowiło 3,6% w zasobach zbóż ogółem.

Przetwórstwo zbóż podczas procesu czyszczenia ziarna dostarcza następujących pozostałości poprodukcyjnych (tab. 5):

- zanieczyszczenia mineralne (pył, piasek, żwir, czasem kawałki szkła lub metalu);
- zanieczyszczenia organiczne (słoma, plewy, nasiona chwastów, sporysz, kał gryzoni) (Czyżyk i in. 2010).

W dalszym procesie przetwarzania surowca mogą to być także odpady opakowaniowe w postaci papieru, tektury i tworzywa sztucznego.

Zanieczyszczenia mineralne mogą być poddane składowaniu na składowisku odpadów, natomiast organiczne należy kompostować lub utylizować poprzez współspalanie np. w kotłowni. Odpady opakowaniowe powinny podlegać selektywnej zbiórce i być przekazywane w ramach procesu odzysku wyspecjalizowanym zakładom (Czyżyk i in. 2010).

Dla przemiału zbóż w skali kraju, który w 2017 r. wynosił 3 720 tys. t surowca (tab. 5), oszacowano pozostałości z przemysłu zbożowego. Z szacunków tych wynika, że proces przemiału zbóż w skali kraju nie dostarczył żadnych odpadów zawierających w całości lub częściowo odpady żywnościowe według klasyfikacji Eurostatu. Dostarczył natomiast ok. 8,4 tys. t pozostałości w postaci pyłów i odpadów roślinnych, które powinny być przeznaczone do kompostowania lub współspalania z innymi paliwami. Powstało również 18,3 tys. t pozostałości innych w postaci zanieczyszczeń mineralnych, które powinny być składowane. Ponadto powstało ok. 18,7 tys. t pozostałości po opakowaniach z papieru i tektury oraz tworzyw sztucznych, które powinny być poddane selektywnej zbiórce odpadów organizowanej przez wyspecjalizowane podmioty.

Tabela 5

Ilość pozostałości w przeliczeniu na jednostkę przerobionego surowca w przemyśle zbożowym (obliczenia własne na podstawie Czyżyk i in. 2010)

Rodzaj	Kod	Jednostka	Ilość pozostałości	
			min.	maks.
Ścieki	-	m ³	0	0
Pyły	020380	Mg	1116	
Odpady roślinne	020380	Mg	7328	
Inne	-	Mg	18265	
Opakowania z papieru i tektury	150101	Mg	446	
Opakowania z tworzyw sztucznych	150102	Mg	18265	

□; □ – oznaczenia jak w tab. 3

Ilość pozostałości w przemyśle paszowym jest relatywnie niewielka do przerabianego materiału (tab. 6). Obejmują one przede wszystkim:

- części surowca nienadające się do przetwórstwa (zapeśniałe);
- pyły ze sprzątania pomieszczeń i urządzeń produkcyjnych;
- produkty przeterminowane (Czyżyk i in. 2010).

Wszystkie pozostałości stanowią materiał roślinny, który należy przeznaczać do celów nawozowych przez bezpośrednie rozprowadzenie na polu i przyoranie

lub przez uprzednie poddanie kompostowaniu. W przypadku pozostałości z wytwarzania pasz leczniczych powstałych przez zmieszanie premiksów leczniczych z paszami postępowanie powinno być zgodne z odpowiednimi przepisami zawartymi w rozporządzeniu Ministra Klimatu i Środowiska z 26 listopada 2021 r. (Dz.U. z 2021 r. poz. 2245). Odpady opakowaniowe powinny podlegać selektywnej zbiórce i być przekazywane w ramach procesu odzysku wyspecjalizowanym zakładom (Czyżyk i in. 2010).

Tabela 6

Ilość pozostałości w przeliczeniu na jednostkę przerobionego surowca w przemyśle paszowym (obliczenia własne na podstawie Czyżyk i in. 2010)

Rodzaj	Kod	Jednostka	Ilość pozostałości	
			min.	maks.
Ścieki	-	m ³	60250	602500
Odpady z produkcji pasz roślinnych	160380,160306	Mg	181	13376
Odpady nienadające się do spożycia	020304	Mg	24	
Inne	-	Mg	964	
Opakowania z pozostałościami substancji niebezpiecznych	150110	Mg	12	
Opakowania z papieru i tektury	150101	Mg	121	9941
Opakowania z tworzyw sztucznych	150102	Mg	2169	
Opakowania z drewna	150103	Mg	362	

□; □ – oznaczenia jak w tab. 3

W 2017 r., w skali kraju, do produkcji przemysłowych mieszanek paszowych dla zwierząt wykorzystanych zostało w postaci surowca 6 025 tys. t zbóż różnych gatunków (tab. 4). W procesie wytwarzania zostały wyprodukowane 24 t pozostałości zawierających, według Eurostatu, odpady żywnościowe w postaci odpadów nienadających się do spożycia (020304). Ponadto powstało od 60,2 do 602,5 tys. m³ ścieków. Odpady z produkcji pasz wynosiły 0,2–13,4 tys. t i powinny być przeznaczone np. do kompostowania, a następnie przyorania na polu. Powstały również inne pozostałości w ilości 1 tys. t. Ponadto powstało 12 t pozostałości w postaci opakowań z resztkami substancji niebezpiecznych (150110) oraz pozostałości opakowań z papieru i tektury, tworzyw sztucznych i drewna.

Według danych zawartych w tabeli 4 zboża w ilości 1181 tys. t stanowiły również surowiec do przerobu na etanol. Ponadto na etanol przerobionych zostało 51 tys. t ziemniaków.

Produkcja etanolu w przemyśle gorzelnianym dostarczyła pozostałości (tab. 7) z mycia i czyszczenia surowców (osady, suche pozostałości roślinne) oraz w formie wywaru gorzelnianego (Czyżyk i in. 2010).

Tabela 7

Pozostałości w przemyśle gorzelnianym na jednostkę przerobionego surowca
(obliczenia własne na podstawie Czyżyk i in. 2010)

Rodzaj	Kod	Jednostka	Ilość pozostałości	
			min.	maks.
Ścieki	-	m ³	4521440	
Odpady roślinne	020380	Mg	2681	
Szlamy z mycia i czyszczenia	020301	Mg	1530	10710
Odpady rektyfikacji (fuzle)	020702	Mg	4066	
Wywar pofermentacyjny	020780	Mg	2107706	
Osady z zakładowych oczyszczalni ścieków	020705	Mg	3203	
Opakowania z papieru i tektury	150101	Mg	5914	
Opakowania z tworzyw sztucznych	150102	Mg	49	
Opakowania ze szkła	150107	Mg	6776	

■; ■ – oznaczenia jak w tab. 3

Pozostałości w postaci osadów są glebą wymytą w procesie hydrotransportu oraz mycia ziemniaków, która może być wywieziona na pole lub zużyta np. do wyrównywania zagłębień terenowych. Szlamy z mycia i czyszczenia (020301), klasyfikowane według Eurostatu jako częściowo zawierające odpady żywnościowe, występowały w ilości 1,5–10,7 tys. t. Natomiast ilość odpadów rektyfikacji (zawierających odpady żywnościowe – 020702) wynosiła 4,1 tys. t. W gorzelniach pracujących na surowcach zbożowych mieliśmy do czynienia z niewielką ilością pozostałości – jak w przypadku przemysłu zbożowego – w postaci odpadów roślinnych, wynoszącą 2,7 tys. t.

Wywary gorzelniane jako produkt uboczny ze względu na swe wartości mogą być wykorzystane na paszę do bezpośredniego skarmiania (zbożowe i ziemniaczane) lub jako dodatek do pasz lub kiszzonek (melasowy). W przypadku nadmiernej podaży wywarów powinny być one przeznaczone do granulowania lub do produkcji biogazu (Czyżyk i in. 2010). W skali kraju pozostałości w postaci wywaru gorzelnianego ze zboża i ziemniaków stanowiły ok. 2,1 mln t.

Innymi pozostałościami były osady z wewnątrzzakładowych oczyszczalni ścieków w ilości ok. 3,2 tys. t, a także same ścieki w ilości 4,5 mln m³.

Kolejnym kierunkiem w przetwórstwie płodów rolnych, w którym wykorzystuje się zboże, jest browarnictwo, a w pierwszej kolejności produkcja słodów jęczmieniowych do warzenia piwa. Podczas tego procesu produkcji mamy do czynienia z następującymi pozostałościami (tab. 8):

- zanieczyszczenia mineralne z czyszczenia zboża (pył, piasek, żwir, kawałki szkła);
- zanieczyszczenia organiczne (słoma, plewy, nasiona chwastów, kał gryzoni);

- poślad i ziarna odpadowe (ziarna chude i uszkodzone);
- spławki z procesu mycia jęczmienia;
- kielki słodowe;
- pyły słodowe z końcowego „polerowania” słodu (Czyżyk i in. 2010).

Zanieczyszczenia mineralne należy zużyć do wypełnienia wyrobisk lub wywieźć na zorganizowane składowisko odpadów. Natomiast zanieczyszczenia organiczne i pyły słodowe można przeznaczyć do kompostowania lub współspalania w kotłowni. Z kolei poślad, ziarna odpadowe i spławki można przekazać rolnikom jako paszę lub kołom łowieckim jako pokarm dla ptaków. Kielki, będące bardzo wartościowym odpadem, mogą być wykorzystane w przemyśle farmaceutycznym lub na przykład do wytwarzania preparatów enzymatycznych (Czyżyk i in. 2010).

Tabela 8

Pozostałości w przemyśle słodowym na jednostkę przerobionego surowca
(obliczenia własne na podstawie Czyżyk i in. 2010)

Rodzaj	Kod	Jednostka	Ilość pozostałości	
			min.	maks.
Ścieki	-	m ³	1872000	4082400
Granulat słodowy	020701	Mg	25740	
Spławki	020701	Mg	562	
Odpady jęczmienne	020701	Mg	22226	
Pyły jęczmienne	020701	Mg	5198	
Inne	160117	Mg	3	
Opakowania z papieru i tektury	150101	Mg	brak danych	
Opakowania z tworzyw sztucznych	150102	Mg		
Opakowania z drewna	150103	Mg		
Opakowania z metali	150104	Mg		

□; □ – oznaczenia jak w tab. 3

Według danych IERiGŻ-PIB oraz danych statystycznych (GUS 2018b) w 2017 r. do produkcji słodu jęczmiennego zużyto 720 tys. t surowca jęczmiennego. Do produkcji piwa zużywa się także sód z innych zbóż, ale jego ilość jest zdecydowanie mniejsza. W wyniku produkcji w przemyśle słodowym powstał szereg pozostałości (020701), które według Eurostatu zawierały częściowo odpady żywnościowe. Należały do nich przede wszystkim granulat słodowy w ilości 25,7 tys. t, spławki – 0,6 tys. t, odpady jęczmienne – 22,2 tys. t oraz pyły jęczmienne – 5,2 tys. t. Podstawowymi pozostałościami były ścieki w ilości od 1,9 do 4,1 mln m³.

Z kolei w przemyśle browarniczym otrzymujemy pozostałości w postaci (tab. 9):

- pyły słodowe (z urządzeń odpylających podczas śrutowania słodu);
- wysłodziny (młóto) z filtracji brzezki;
- osad brzezkowy;
- drożdże odpadowe (jako osad pofermentacyjny);
- ziemia okrzemkowa (osad z filtracji piwa) (Czyżyk i in. 2010).

Pyły słodowe mogą być bezpośrednio rozprowadzone na polu lub poddane kompostowaniu. Wysłodziny o wysokiej zawartości wody (75–82%) mogą być wykorzystane do produkcji kiszonek lub, po wysuszeniu, jako wartościowa pasza (o zawartości 25% białka) bądź ewentualnie do produkcji biogazu. Osady brzezkowe w większości są splukiwane do instalacji komunalnej, ale najlepiej przeznaczać je do kompostowania, po uprzednim usunięciu z nich nadmiaru wody w osadnikach. Podobne postępowanie dotyczy drożdży odpadowych, jednak wskazany byłby ich odzysk i przeznaczenie na cele paszowe lub spożywcze. Ziemia okrzemkowa powinna być poddana procesowi specjalistycznego kompostowania lub regeneracji termicznej w wysokiej temperaturze (750°C) (Czyżyk i in. 2010).

Tabela 9

Pozostałości w przemyśle browarniczym na jednostkę produkcji
(obliczenia własne na podstawie Czyżyk i in. 2010)

Rodzaj	Kod	Jednostka	Ilość pozostałości	
			min.	maks.
Ścieki	-	m ³	84802200	149413400
Wysłodziny browarnicze	020780	Mg	642074	916671
Drożdże pofermentacyjne	020780	Mg	41593	132453
Pył słodowy	020701	Mg	6461	
Odpady z mycia, czyszczenia i mechanicznego rozdrabniania surowców	020701	Mg	3796	
Ziemia okrzemkowa	020799	Mg	7269	13730
Osady filtracyjne	020780	Mg	22210	105397
Osady ściekowe	020705	Mg	5653	85610
Osady z zakładowych oczyszczalni ścieków	020705	Mg	4038	
Osady z dekarbonizacji wody	190903	Mg	3231	
Tworzywa sztuczne	160119	Mg	40	
Odpady drewniane	1901207	Mg	202	9692
Odpady metalowe	020110	Mg	404	8480
Odpady komunalne	200301	Mg	1211	7673

cd. tab. 9

Rodzaj	Kod	Jednostka	Ilość pozostałości	
			min.	maks.
Inne	-	Mg	81	565
Opakowania z papieru i tektury	150101	Mg	404	4846
Opakowania z tworzyw sztucznych	150102	Mg	404	2827
Opakowania z drewna	150103	Mg	2423	9692
Opakowania z metali	150104	Mg	162	444
Opakowania wielomateriałowe	150105	Mg	97	105
Opakowania ze szkła	150107	Mg	2827	11307
Opakowania z substancjami niebezpiecznymi	150110	Mg	4	218
Opakowania zmieszane	150106	Mg	4442	

□; □ – oznaczenia jak w tab. 3

Według danych IERiGŻ-PIB (2019d) produkcja piwa ze słodów w 2017 r. zmalała w porównaniu z rokiem poprzednim i wynosiła 40382 tys. hektolitrów. W wyniku procesu produkcji piwa wytworzone zostały pozostałości zawierające częściowo odpady żywnościowe w postaci pyłu słodowego (020701) w ilości 6,5 tys. t, odpady z mycia, czyszczenia i mechanicznego rozdrabniania surowców (020701) w ilości 3,8 tys. t, które mogą być przeznaczone do kompostowania lub bezpośredniego nawożenia pól, a także odpady komunalne (200301) w ilości 1,2–7,7 tys. t.

Najwięcej pozostałości, bo aż 84,8–149,4 mln m³, stanowiły ścieki. Ponadto w procesie produkcyjnym powstało od 642,1 do 916,7 tys. t wysłodzin browarniczych, które mogą być przeznaczone na paszę lub biogaz, 41,6–132,5 tys. t drożdży pofermentacyjnych (do wykorzystania na paszę), 7,3–13,7 tys. t ziemi okrzemkowej do wykorzystania w procesie specjalnego kompostowania, 22,2–105,4 tys. t osadów filtracyjnych i 5,7–85,6 tys. t osadów ściekowych, które po usunięciu wody mogą być przeznaczone do kompostowania. Ponadto zostało wytworzonych 4 tys. t osadów z wewnątrzzakładowej oczyszczalni ścieków oraz 3,2 tys. t osadów z procesu dekarbonizacji wody. Powstają także odpady w postaci tworzyw sztucznych, drewna i metalu w łącznej ilości 0,6–18,2 tys. t. Są również pozostałości w postaci opakowań z różnych materiałów, jak również od 4 do 218 t pozostałości po opakowaniach zawierających substancje niebezpieczne.

3.2. RYNEK RZEPAKU

Średni udział strat nasion rzepaku, wynikający z bilansów z lat 2017–2019 (IERiGŻ-PIB 2019c), wyniósł 0,071 mln t (tab. 10), co stanowiło 2,4% zasobów ogółem.

W przypadku rzepaku całość zużycia krajowego, za wyjątkiem poniesionych strat, była przerabiana przez przemysł tłuszczowy. Według szacunków podawanych przez IERiGŻ-PIB w 2018 r. cały przemysł tłuszczowy (zakłady liczące 10 i więcej osób) wyprodukował 1 206 tys. t surowego oleju rzepakowego, z którego 766 tys. t poddano rafinacji, z czego 71,2% stanowił rafinowany olej jadalny, a pozostałą część olej techniczny (IERiGŻ 2019c).

Tabela 10

Bilans rzepaku w tys. ton (obliczenia własne na podstawie IERiGŻ-PIB 2019c)

Wyszczególnienie	2016/2017	2017/2018	2018/2019 szacunek	Średnio
Zapasy początkowe	15	24	27	22
Produkcja	2219	2697	2202	2373
Import	643	524	650	606
Zasoby ogółem	2877	3245	2879	3000
Zużycie krajowe	2617	2881	2625	2708
przerób	2550	2800	2560	2637
straty	67	81	65	71
Eksport	236	337	230	268
Zapasy końcowe	24	27	24	25

W Polsce głównym surowcem do uzyskiwania oleju jest rzepak, a w mniejszym stopniu słonecznik. Podczas pozyskiwania oleju powstają następujące pozostałości (tab. 11):

- zanieczyszczenia roślinne z czyszczenia oraz szlamy z mycia i odwirowania surowca;
- wytloki, śruta poekstrakcyjna;
- szlamy pohydratacyjne (z odwadniania olejów) powstające podczas przechowywania olejów;
- zaolejona ziemia bieląca (po rafinacji oleju) (Czyżyk i in. 2010).

Zanieczyszczenia roślinne i szlamy z czyszczenia surowca należy kompostować, a następnie wywozić na pole. Wytloki i śruta poekstrakcyjna mogą być przeznaczone na cele paszowe. Szlamy pohydratacyjne oraz z przechowywania oleju również mogą być przeznaczane na pasze lub do uzyskiwania lecytyny. Zaolejona ziemia bieląca powinna być wykorzystywana jako dodatek do pasz dla drobiu lub regenerowana dostępnymi metodami (głównie termicznymi) (Czyżyk i in. 2010).

Tabela 11

Ilość pozostałości w przeliczeniu na jednostkę przerobionego surowca w przemyśle tłuszczowym (obliczenia własne na podstawie Czyżyk i in. 2010)

Rodzaj	Kod	Jednostka	Ilość pozostałości	
			min.	maks.
Ścieki	-	m ³	1504500	
Makuchy, śruta	020302	Mg	1453500	4590000
Szlamy	020301	Mg	33660	
Osady z przyzakładowych oczyszczalni ścieków	020305	Mg	3315	
Wytłoki	020380	Mg	4590	
Inne roślinne	020399	Mg	21930	
Inne	-	Mg	102	
Chemikalia	-	Mg	459	
Katalizatory	160803	Mg	638	
Opakowania z papieru i tektury	150101	Mg	2295	
Opakowania z tworzyw sztucznych	150102	Mg	536	
Opakowania z drewna	150103	Mg	153	
Opakowania ze szkła	150107	Mg	8	

□; □ – oznaczenia jak w tab. 3

Przemysł tłuszczowy w Polsce, według danych statystycznych GUS (2018b), przerobił w 2017 r. 2,55 mln t surowca w postaci nasion rzepaku pochodzącego głównie z produkcji krajowej i częściowo z importu. W wyniku przerobu powstało 33,7 tys. t szlamów pohydratacyjnych (020301) – pozostałości, które według Eurostatu częściowo zawierają odpady żywnościowe. Ponadto powstało 1,5 mln m³ ścieków. Pozostałe odpady to 1,45–4,59 mln t makuchów i 4,6 tys. t wytłoków, które ze względu na swe właściwości powinny być przeznaczane na pasze. W procesie powstało także 21,9 tys. t pozostałości roślinnych oraz 3,3 tys. t osadów z zakładowych oczyszczalni ścieków, które mogą być kompostowane i wywiezione na pole.

3.3. RYNEK BURAKA CUKROWEGO

Analiza danych przedstawiona w tabeli 12 wskazuje, że w kampanii 2017/2018 przerób buraka cukrowego w polskich cukrowniach wyniósł 15,73 mln t surowca w postaci korzeni, natomiast wielkość strat i ubytków w odniesieniu do zasobów ogółem wyniosła 0,02% (3 tys. t), a rok wcześniej – 0,09% (12 tys. t). Dane te wska-

zują, że praktycznie całe zbiory buraka są przetwarzane w cukrowniach (w latach 2009–2018 funkcjonowało 18 takich podmiotów).

Tabela 12

Bilans buraka cukrowego i produkcja cukru w tys. ton
(obliczenia własne na podstawie IERiGŻ-PIB 2019a)

Wyszczególnienie	2016/2017	2017/2018	2018/2019
Produkcja	13524	15733	14303*
Zasoby ogółem	13524	15733	14303
Zużycie krajowe	13512	15730	14302
przerób	13512	15730	14302
straty	12	3	1
<i>Produkcja cukru</i>	<i>2084</i>	<i>2313</i>	<i>2192</i>

*zbiory wg GUS 2018a

W przemyśle cukrowniczym ilość powstających produktów ubocznych i odpadów jest relatywnie wysoka. W procesach przygotowania surowca i jego przetwarzania w większych ilościach powstają (tab. 13):

- błoto spławiakowe;
- wysłodki buraczane;
- osad defekosaturacyjny;
- melasa;
- odpadowa masa roślinna (Czyżyk i in. 2010).

Błoto spławiakowe jako odpad z mycia surowca i hydrotransportu powinno być wykorzystane w rolnictwie do celów rekultywacyjnych. Wysłodki mogą być wykorzystane w różnych celach, m.in. jako:

- wysokoenergetyczna pasza dla zwierząt (zarówno mokre, jak i suche);
- surowiec do dalszego przerobu (produkcji pektyny spożywczej, kleju pektynowego, błonnika, kwasu mlekowego).

W przypadku wystąpienia ograniczenia możliwości zbytu wysłodków, mogą one być traktowane jako odpad i poddane kompostowaniu z innymi materiałami organicznymi oraz wykorzystane na polach. Mogą być też wykorzystane do produkcji biometanu.

Osad defekosaturacyjny jest cennym nawozem wapniowym i może być stosowany bezpośrednio na pole.

Melasa buraczana jako produkt uboczny może być surowcem w przemyśle gorzelnianym (wyrób drożdży, produkcja etanolu), a w przypadku trudności z jej zbytem powinna być traktowana jako odpad i wykorzystana jako dodatek do pasz, w ograniczonym zakresie do nawożenia gleby, czy też w budownictwie jako dodatek do betonu. Odpadowa masa roślinna może być kompostowana lub wykorzystana do produkcji biogazu (Czyżyk i in. 2010).

Tabela 13

Ilość pozostałości w przeliczeniu na jednostkę przerobionego surowca w przemyśle cukrowniczym (obliczenia własne na podstawie Czyżyk i in. 2010)

Rodzaj	Kod	Jednostka	Ilość pozostałości	
			min.	maks.
Ścieki	-	m ³	943800	7550400
Osad z oczyszczania i mycia buraków	020401	Mg	471900	2202200
Wysłodki	020480	Mg	5190900	9438000
Odpadowa masa roślinna	020103	Mg	15730	314600
Melasa	020499	Mg	157300	629200
Wapno	020402	Mg	472	944
Popioły i żużle	100180	Mg	157300	2831400
Inne	-	Mg	629	
Opakowania z papieru i tektury	150101	Mg	1888	
Opakowania z tworzyw sztucznych	150102	Mg	315	
Opakowania z drewna	150103	Mg	629	

□; □ – oznaczenia jak w tab. 3

Podczas przerobu 15,73 mln t surowca korzeni buraczanych (według danych za 2017 r.) (IERiGŻ-PIB 2019a) produkcja pozostałości w postaci odpadowej masy roślinnej (020103), zawierającej częściowo odpady żywnościowe, wyniosła od 17,7 do 314,6 tys. t. W procesie przetwarzania powstało także 0,9–7,6 mln m³ ścieków. Ilość osadów spławiakowych wyniosła 0,5–2,2 mln t, wysłodków – 5,2–9,4 mln t, a osadów defekosaturacyjnych – 0,5–0,9 tys. t. Ilość melasy możliwej do wykorzystania w przemyśle gorzelniczym wyniosła 157,3–2831,4 tys. t.

Proces produkcji cukru z buraków cukrowych wymaga znacznych ilości energii cieplnej. Stąd w procesie tym powstają znaczne ilości popiołów i żużli (1,57–2,83 mln t), które mogą być wykorzystywane w budownictwie drogowym i do produkcji materiałów budowlanych.

3.4. RYNEK ZIEMNIAKA

Z bilansu ziemniaka przedstawionego w tabeli 14 wynika, że jego produkcja w latach 2016–2018 podlegała wahaniom, od 9,2 mln t w 2017 r. do 7,7 mln t w 2018 r. Z kolei w tabeli 16 podano wielkość strat w przechowywaniu ziemniaków i warzyw. Zamieszczone w tabeli 14 dane wskazują, że w latach 2011–2019 straty i ubytki w przechowywanych ziemniakach kształtowały się na stałym poziomie 11%. W sezonie 2017/2018 poziom strat ziemniaków wyniósł 11,1% (522 tys. t)

w stosunku do przechowywanego surowca, którego ilość wynosiła 4,7 mln t (51,3% zbiorów). Natomiast wielkość ubytków i start w sezonie 2017/2018 (tab. 14) kształtowała się na poziomie 10,6%, co wynosiło ok. 950 tys. t. W sezonie następnym wielkość ta szacowana była na 500 tys. t (6,5%).

Analiza ilości ziemniaków przeznaczanych na przerób przemysłowy w 2017 r. (tab. 14) wykazuje, że największe ich wykorzystanie wiązało się z produkcją przetworów spożywczych (1466 tys. t), skrobi (1,08 mln t), suszu (198 tys. t) i etanolu (51 tys. t).

Tabela 14

Bilans ziemniaków w tys. ton (obliczenia własne na podstawie IERiGŻ-PIB 2019e)

Wyszczególnienie	2016/2017	2017/2018	2018/2019 Szacunek
Produkcja	8872	9172	7650
Import	110	142	100
Zasoby ogółem	8982	9314	7750
sadzenie	825	790	750
zużycie na pasze	1906	2053	1380
samozaopatrzenie	1080	1050	980
konsumpcja	1900	1840	1750
przerób przemysłowy	2479	2603	2335
do produkcji skrobi	1050	1080	850
do produkcji etanolu	44	51	45
susze	185	198	190
przetwory spożywcze	1250	1466	1440
ubytki i straty	750	950	500
Eksport	42	28	55

Przetwórstwo ziemniaka dostarcza głównie pozostałości w postaci (tab. 15):

- osadów z hydrotransportu i mycia surowca;
- pozostałości organicznych;
- odrzuconych ziemniaków nienadających się do przerobu;
- obierek (łupin);
- pulpy ziemniaczanej (wycierki po oddzieleniu krochmalu);
- ziemi okrzemkowej (jako pozostałość z produkcji syropu);
- osadów z oczyszczania tzw. ścieków technologicznych (wód sokowych) (Czyżyk i in. 2010).

Tabela 15

Pozostałości w przemyśle ziemniaczanym na jednostkę przerobionego surowca
(obliczenia własne na podstawie Czyżyk i in. 2010)

Rodzaj	Kod	Jednostka	Ilość pozostałości	
			min.	maks.
Ścieki	-	m ³	7809120	39581520
Szlamy z mycia i czyszczenia	020301	Mg	76560	535920
Wytłoki, osady i inne	020380	Mg	255200	510400
Odpadowa masa roślinna	020103	Mg	30624	
Ziemia spławiakowa	020301	Mg	173536	
Ustabilizowane komunalne osady ściekowe	190805	Mg	71	
Skratki	190801	Mg	7	
Żużle i popioły	100101	Mg	842	38969
Złom	170405	Mg	204	4083
Inne	-	Mg	28	74
Opakowania z papieru i tektury	150101	Mg	1480	5385
Opakowania z tworzyw sztucznych	150102	Mg	357	9162
Opakowania z drewna	150103	Mg	1812	
Opakowania z metali	150104	Mg	561	

■; ■ – oznaczenia jak w tab. 3

Odpady organiczne powinny być sprzedane lub przekazane rolnikom jako pasza dla zwierząt. W przypadku zwiększonej podaży masy odpadowej, powinna być ona wykorzystana do produkcji biopaliwa lub biogazu. Odpady te mogą być też poddane kompostowaniu w specjalnie do tego przeznaczonych instalacjach, a następnie wykorzystane do nawożenia pól. Podobnemu procesowi specjalistycznego kompostowania powinna być poddana ziemia okrzemkowa. Powstałe w procesie produkcji osady z oczyszczania ścieków technologicznych, podobnie jak nadmiar odpadów organicznych, powinny być wykorzystane do produkcji biopaliwa lub biogazu (Czyżyk i in. 2010).

Uwzględniając zużycie surowca ziemniaczanego w ilości 2,552 mln t (produkcja skrobi, suszu, przetworów spożywczych; zużycie w gorzelnictwie uwzględniono oddzielnie), w procesie produkcji otrzymano pozostałości zawierające odpady żywnościowe w postaci szlamów z mycia i czyszczenia (020301) w ilości 76,6–535,9 tys. t, ziemię spławiakową (020301) – 173,5 tys. t oraz odpadową masę roślinną (020103) – 30,6 tys. t. Ponadto zostało wytworzonych ok. 7,8–39,6 mln m³ ścieków, a wytłoki

i osady stanowiły wielkość rzędu 255,2–510,4 tys. t. Komunalne, ustabilizowane osady ściekowe stanowiły 71 t. Znaczącą kategorią odpadów były żużle i popioły w ilości 0,8–39,0 tys. t – do wykorzystania w technologii utwardzania dróg.

3.5. RYNEK OWOCÓW I WARZYW

Według danych IERiGŻ-PIB (2019b) produkcja owoców w 2016 r. wyniosła 4,64 mln t (3,15 mln t w 2017 r.), z czego produkcja owoców z drzew – 4,06 mln t, a owoców jagodowych – 0,57 mln t.

Wielkość strat w odniesieniu do przechowywanych jabłek w 2014 r. była szacowana na 12% i taka wielkość, z większymi lub mniejszymi zmianami, utrzymywała się według GUS (2019b) w kolejnych latach. Większe straty występowały w małych gospodarstwach, a gospodarstwa dysponujące chłodniami odnotowywały dużo niższe straty. Natomiast według IERiGŻ ilość jabłek przeznaczanych do spożycia i na eksport wynosiła w latach 2014–2016 przeciętnie 44%, co przy produkcji jabłek w 2016 r. rzędu 3,6 mln t daje szacowane straty w przechowaniu surowca rzędu 190 tys. t.

W tabeli 16 zestawiono wielkość strat, jeśli chodzi o przechowywane ziemniaki i warzywa. W sezonie 2016/2017 wielkość strat warzyw podczas przechowywania w zależności od gatunku wahała się od 11 do 15% przechowywanego surowca. Wielkość produkcji warzyw gruntowych w 2017 r. wyniosła 4,6 mln t, w tym 1,01 mln t kapusty. Według danych GUS (2018b) wielkość skupu warzyw w 2017 r. wyniosła ok. 33% wielkości produkcji. Zakładając, że pozostała część była przechowywana, szacowana wielkość strat warzyw przechowywanych mogła wynieść ok. 400 tys. t.

Tabela 16

Straty w przechowywanych ziemniakach (GUS 2019b)

Lata	Ziemniak	Kapusta	Cebula	Marchew	Burak ćw.	Pietruszka	Seler	Por
	w % ogólnej ilości przechowywanych ziemniaków							
2011–2015*	11	17	14	14	12	15	15	12
2016	11	15	12	11	11	14	13	11
2017	11	14	14	13	12	14	15	13
2018	11	14	13	13	12	14	14	13
2019	11	11	11	12	10	12	12	11

*przeciętne roczne

Pozostałości z przetwarzania owoców (pod kątem produkcji soków) dotyczą głównie niewykorzystanych części surowca (10–30%) – wycłoczyn (tab. 17) (Czyżyk i in. 2010).

Pozostałości te, z uwagi na skład chemiczny, mają dużą wartość paszową i tak powinny być zagospodarowywane, jednak utrudnia to ich duża podaż w ciągu krótkiego czasu. Jedną z tańszych metod ich konserwacji jest zakiszanie, ewentualnie suszenie i spasanie. W celu wykorzystania właściwości energetycznych i nawozowych niewykorzystane materiały powinny być kompostowane lub przeznaczone do produkcji alkoholu lub biogazu (Czyżyk i in. 2010).

Tabela 17

Pozostałości w przemyśle produkcji soku zagęszczonego z jabłek na jednostkę wytworzonego produktu (obliczenia własne na podstawie Czyżyk i in. 2010)

Rodzaj	Kod	Jednostka	Ilość pozostałości	
			min.	maks.
Ścieki	-	m ³	815400	
Wytłoki	020380	Mg	280800	

■; □ – oznaczenia jak w tab. 3

Produkcja soków zagęszczonych z jabłek – z surowca krajowego, w sezonie 2016/2017 wyniosła 270 tys. t. W jej wyniku wytworzonych zostało w formie pozostałości 0,82 mln m³ ścieków. Ponadto powstało 0,28 mln t wytłoków, które mogą być wykorzystane na cele paszowe, lub energetyczne.

W przemyśle owocowo-warzywnym rodzaj pozostałości był zbliżony (tab. 18):

- wycłoczyny;
- młóto (z przecierów owocowych do produkcji powideł i marmolady);
- surowce nienadające się do spożycia i przetworzenia;
- osady z wewnątrzzakładowych oczyszczalni ścieków (Czyżyk i in. 2010).

Powstałe materiały, z uwagi na skład chemiczny, mają dużą wartość paszową i powinny być przeznaczone na pasze. W przypadku trudności z zagospodarowaniem mogą być zakiszane i spasane. W celu wykorzystania właściwości energetycznych i nawozowych niewykorzystane materiały powinny być kompostowane lub przeznaczone do produkcji alkoholu lub biogazu. Możliwe jest też wykorzystanie pozostałości do produkcji furfuralu – alkoholu o dość szerokim zastosowaniu (Czyżyk i in. 2010).

Tabela 18

Pozostałości w przemyśle owocowo-warzywnym na jednostkę wytworzonego produktu
(obliczenia własne na podstawie Czyżyk i in. 2010)

Rodzaj	Kod	Jednostka	Ilość pozostałości	
			min.	maks.
Ścieki	-	m ³	4589800	29638850
Wytłoki, osady i inne odpady z przetwórstwa	020380	Mg	22733	509013
Surowce i produkty nienadające się do spożycia i przetwarzania	020304	Mg	5413	276471
Skratki	190801	Mg	866	
Osady z zakładowych oczyszczalni ścieków	020305	Mg	39836	
Inne	-	Mg	87	541
Odpady komunalne	200301	Mg	27063	
Opakowania z papieru i tektury	150101	Mg	2490	17255
Opakowania z tworzyw sztucznych	150102	Mg	1970	7859
Opakowania z drewna	150103	Mg	368	1645
Opakowania z metalu	150104	Mg	1970	
Opakowania ze szkła	150107	Mg	650	21996
Opakowania zawierające substancje niebezpieczne	150110	Mg	19	

□; □ – oznaczenia jak w tab. 3

Produkcja przetworów owocowo-warzywnych (dżemy, marmolady, susze owocowe, kompoty, mrożonki owocowe, konserwy warzywne, marynaty, kwaszona kapusta, susze warzywne, koncentrat pomidorowy, sosy pomidorowe, mrożonki warzyw) w sezonie 2016/2017 wyniosła, według danych IERiGŻ-PIB (2019b), łącznie 2,165 mln t. W procesie produkcji wytworzone zostały pozostałości zawierające, według Eurostatu, odpady żywnościowe w postaci surowców i produktów nienadających się do spożycia i przetwarzania (020304) w ilości 5,4–276,5 tys. t. Otrzymano także pozostałości częściowo zawierające odpady żywnościowe w postaci odpadów komunalnych w ilości 27,1 tys. t. Produkcja przetworów owocowo-warzywnych przyczyniła się także do powstania 4,6–29,6 mln m³ ścieków. Wytłoki i inne odpady z przetwórstwa wyniosły 22,7–509,0 tys. t. Osady z wewnątrzzakładowych oczyszczalni ścieków stanowiły 39,8 tys. t, a skratki – 0,9 tys. t. Resztę pozostałości stanowiły odpady opakowaniowe z różnych surowców, które powinny zostać podane procesowi recyklingu.

4. POZOSTAŁOŚCI Z PRZEMYSŁU ROLNO-SPOŻYWCZEGO PRODUKTÓW ZWIERZĘCYCH

W ostatnich latach wartość towarowej produkcji zwierzęcej w wartości towarowej produkcji rolniczej ogółem przekraczała 50%, a w 2016 r. wynosiła dokładnie 59,2%. W produkcji dominowało przede wszystkim mleko krowie (16,8%), żywiec wieprzowy (12,9%), żywiec wołowy (7,1%) oraz jaja kurze (6%). W ujęciu regionalnym najwyższym udziałem wartości towarowej produkcji zwierzęcej wyróżniało się województwo podlaskie (93%, z tego 61,6% stanowiło mleko), a najniższym województwo dolnośląskie (29,6%) (GUS 2018b).

Inaczej przedstawiała się sytuacja, jeśli chodzi o strukturę produkcji globalnej w cenach bieżących. W latach 2015 i 2016 udział produkcji zwierzęcej kształtował się nieznacznie poniżej poziomu 50%, który został przekroczony w 2017 r., osiągając wartość 51,5%. Przytoczone dane wskazują na istotną rolę, jaką odgrywa produkcja zwierzęca w polskim rolnictwie oraz na jej znaczące regionalne zróżnicowanie.

Wyniki analiz prowadzonych w latach 2001–2004 (tab. 19) dotyczące poziomów niewykorzystanych surowców pochodzenia zwierzęcego w różnych procesach produkcji PRS wskazują, że największy ich odsetek dotyczył przetwarzania serów i przetwórstwa ryb (Daniel i in. 2012).

Tabela 19

Procent niewykorzystanych surowców pochodzenia zwierzęcego z produkcji żywności (stanowiących odpady) (Daniel i in. 2012)

Proces produkcyjny	% masy surowca niewykorzystanego w produktach końcowych
Wytwarzanie konserw rybnych	30–65
Wytwarzanie filetów rybnych, ryb solonych	50–75
Ubój bydła i przetwórstwo wołowiny	40–52
Ubój świń i przetwórstwo wieprzowiny	35
Ubój drobiu i przetwórstwo mięsa drobiowego	31–38
Wytwarzanie jogurtu	2–6
Wytwarzanie serów	85–90

Uwzględnienie danych statystycznych GUS za 2017 r. (2018b i 2018c) dotyczących fizycznego rozmiaru produkcji w poszczególnych gałęziach działu produkcji zwierzęcej pozwoliło na obliczenie i sumaryczne zestawienie pozostałości z przemysłu rolno-spożywczego (PRS), w którym surowcem były zwierzęta lub produkty pochodzenia zwierzęcego, przedstawione w tabeli 20.

Tabela 20

Zestawienie pozostałości z przemysłu rolno-spożywczego, gdzie surowcem były produkty pochodzenia zwierzęcego według danych dla 2016 r.
(obliczenia własne na podstawie Czyżyk i in. 2010)

Opis pozostałości	Kod	Ilość pozostałości (tys. Mg)	
		min.	maks.
Ścieki		28726,8	83065,0
Inne		0,3	1,5
Żużle i popioły	150102	0,5	
Odchody zwierzęce	020106	180,0	197,2
Zwierzęta padnięte i ubite z konieczności	020182	0,9	
Jaja czyste i skorupy	020199	24,1	
Odpady z mycia i przygotowania surowców	020201	879,9	
Odpadowa tkanka zwierzęca	020202	705,6	2136,0
Surowce i produkty nienadające się do spożycia	020203	18,0	264,5
Osady z zakładowych oczyszczalni ścieków	020204	7864,4	7904,4
Odpadowa tkanka zwierzęca kat. I	020281	137,3	956,7
Surowce i produkty nienadające się do spożycia i przetworzenia	020501	2,6	12,6
Osady z zakładowych oczyszczalni ścieków	020502	10,2	
Serwatka ¹	020580	8597,8	9729,1
Opakowania z papieru i tektury	150101	11,2	31,5
Opakowania z tworzyw sztucznych	150102	1,7	8,0
Opakowania z drewna	150103	0,2	3,2
Opakowania z metali	150104	0,4	7,5
Opakowania wielomateriałowe	150105	0,7	2,5
Opakowania ze szkła	150107	0,2	
Opakowania z pozostałościami substancji niebezpiecznych	150110	0,0	
Zużyte urządzenia zawierające niebezpieczne elementy (światłówki)	160213	3,1	
Złom	170405	0,6	37,0
Skratki	190801	21,3	24,8

cd. tab. 20

Opis pozostałości	Kod	Ilość pozostałości (tys. Mg)	
		min.	maks.
Ustabilizowane komunalne osady ściekowe	190805	1,0	
Szlamy	190814	1,7	
Odpady komunalne	200301	29,3	43,6

□; □ – oznaczenia jak w tab. 3

¹powstająca z mleka wykorzystanego jako surowiec do produkcji serów

Spośród pozostałości zawierających według klasyfikacji Eurostatu odpady żywnościowe należy zwrócić uwagę na odpadową tkankę zwierzęcą (020202) w ilości 0,7–2,1 mln t oraz surowce i produkty nienadające się do spożycia (020203 i 020501) w ilości 21–277 tys. t. Ponadto w przemyśle rolno-spożywczym przetwarzającym zwierzęta lub surowce pochodzenia zwierzęcego powstawały odpady komunalne (według klasyfikacji Eurostatu częściowo zawierające pozostałości żywnościowe) w ilości 29–44 tys. t mogące być surowcem dla biogazowni.

Według wykonanych obliczeń łączna ilość pozostałości z PRS, gdzie surowcem były zwierzęta i produkty pochodzenia zwierzęcego, w których główną część powinny stanowić odpady żywnościowe według metodyki Eurostatu (Czyżyk i in. 2010), wynosiła ok. 726,2–2413,1 tys. t (tab. 20), natomiast pozostałości, które częściowo zawierały odpady żywnościowe obliczone według tej metodyki wynosiły 29,3–43,6 tys. t.

Natomiast największy udział wśród pozostałości z PRS, gdzie surowcem były produkty pochodzenia zwierzęcego, stanowiły ścieki, których ilość wahała się od 28,7 do 83,1 mln m³ (średnio 56,5 mln m³). Poza ściekami najistotniejszą pozycją była serwatka w ilości 8,6–9,7 mln t, będąca bardzo dobrą paszą, ale także dobrym surowcem dla biogazowni. Odchody zwierzęce (180–197 tys. t), jaja czyste i skorupy (24,1 tys. t), osady z zakładowych oczyszczalni ścieków (020204) (7864–7904 tys. t), mogą być przeznaczone do kompostowania. Z kolei odpady z mycia i przygotowania surowców (880 tys. t) oraz skratki (21,3–24,8 tys. t) mogą być surowcem dla biogazowni. Ilość odpadowej tkanki zwierzęcej kat. I oraz zwierząt padłych i ubitych z konieczności, które powinny być poddane utylizacji, wynosiła odpowiednio: 137–957 tys. t i 0,9 tys. t. Żużle i popioły, które mogą służyć do stabilizacji gruntu m.in. w drogownictwie stanowiły jedynie 0,5 tys. t. Odpady w postaci opakowań z papieru i tektury, tworzyw sztucznych, drewna, metali, szkła oraz wielomateriałowe powinny być poddane selektywnej zbiórce przez wyspecjalizowane podmioty i przeznaczone do recyklingu.

4.1. RYNEK MLEKA

Jeśli chodzi o pozostałości przemysłu mleczarskiego, to w procesie przetwarzania mleka istotne znaczenie, pod względem powstających pozostałości, odgrywa asortyment wytwarzanych produktów. Na podstawie badań Czyżyka i in. (2010) serwatka jako główna pozostałość stanowi od 76 do 86% masy mleka przerabianego na sery i kazeinę. Nadaje się ona na paszę dla zwierząt, szczególnie w przypadku trzody chlewnej. Jednak zmiany w koncentracji produkcji trzody i bydła spowodowały, że popyt na serwatkę jako paszę jest coraz mniejszy. Dodatkowym czynnikiem są wysokie koszty transportu serwatki jako paszy o niskiej koncentracji składników pokarmowych. Czynniki te mogą sprzyjać zjawisku pozbywania się serwatki razem ze ściekami, co w znacznym stopniu utrudnia proces ich oczyszczania. Według Czyżyka i in. (2010) istnieje wiele sposobów przetwarzania serwatki (produkcja serów serwatkowych, odzysk tłuszczu, zagęszczanie, produkcja serwatki w proszku, odzysk laktozy, produkcja dodatków spożywczych, biomasy białkowej, drożdży, alkoholu). Zagęszczona i sproszkowana serwatka znajduje zastosowanie w przemyśle piekarniczym, cukierniczym, farmaceutycznym oraz spożywczym. Jeśli jest to możliwe, zalecane jest wprowadzanie kompleksowej technologii przetwarzania serwatki polegającej na odzyskiwaniu ważniejszych jej składników (tłuszcz i białko) oraz produkcji dobrej jakości alkoholu i biogazu. Łatwym, a przede wszystkim tanim sposobem jest beztlenowe oczyszczanie serwatki przez fermentację metanową, co może polepszać bilans energetyczny zakładu. Ponadto serwatka jest doskonałym surowcem dla biogazowni rolniczych.

Według danych GUS (2018b) ilość skupionego mleka w 2017 r. wyniosła 1 1 312,9 mln l. W przypadku mleka skupowane było ono przez podmioty, które zajmowały się jego przetwarzaniem, czyli zakłady przemysłu mleczarskiego. Jak już wyżej wspomniano, zakres pozostałości z przetwarzania mleka zależy głównie od wytwarzanego asortymentu produktów mleczarskich. W tabeli 21 zestawiono ilość powstających pozostałości w przemyśle mleczarskim. Do pozostałości zawierających odpady żywnościowe należy zaliczyć surowce i produkty nienadające się do spożycia i przetworzenia (020501) w ilości od 2,6 do 12,6 tys. t. W działalności tej powstały także pozostałości częściowo zawierające odpady żywnościowe – niesegregowane pozostałości komunalne w ilości ok. 13,9 tys. t. Natomiast główną pozycję stanowiły ścieki – od 13,2 do 53,1 mln m³. Drugą w kolejności pozycją pod względem ilościowym była serwatka (8,6–9,7 mln t), która może być cenną paszą lub – w przypadku braku popytu – dobrym surowcem do produkcji biogazu. Innym rodzajem pozostałości były osady z zakładowych oczyszczalni ścieków (ok. 10,2 tys. t), które także mogą być wykorzystane do produkcji biogazu.

Tabela 21

Ilość pozostałości w przeliczeniu na jednostkę przerobionego surowca w przemyśle mleczarskim (obliczenia własne na podstawie Czyżyk i in. 2010)

Rodzaj	Kod	Jednostka	Ilość pozostałości	
			min.	maks.
Ścieki	-	m ³	13236093	53057501
Serwatka*	020580	Mg	8597804	9729094
Surowce i produkty nienadające się do spożycia i przetworzenia	020501	Mg	2602	12557
Osady z zakładowych oczyszczalni ścieków	020502	Mg	10182	
Niebezpieczne	160213	Mg	3054	
Inne	-	Mg	226	
Niesegregowane komunalne	200301	Mg	13915	
Opakowania z papieru i tektury	150101	Mg	3507	9050
Opakowania z tworzyw sztucznych	150102	Mg	339	3054
Opakowania z drewna	150103	Mg	34	3054
Opakowania z aluminium	150104	Mg	brak danych	
Opakowania wielomateriałowe	150105	Mg	679	2489

□; □ – oznaczenia jak w tab. 3

*z produkcji sera

4.2. RYNEK MIĘSA

Analiza danych GUS (2018c) dostarcza informacji na temat liczby upadków zwierząt w gospodarstwach rolniczych z produkcją zwierzęcą o kierunku bydlęcym i trzoda chlewna. W 2017 r. liczba padniętych sztuk bydła wynosiła ogółem 193 114, w tym 123 391 cieląt w wieku poniżej jednego roku. Udział upadków bydła ogółem wynosił 3,1% jego pogłowia, a upadków cieląt 6,0% liczby ich urodzeń. Z przedstawionych danych wynika, że liczba sztuk padniętego bydła powyżej 1 roku wynosiła 69723. Przyjmując założenie, że średnia waga padłego cielęcia (do 1 roku) wynosiła ok. 100 kg, a pozostałego padłego bydła 350 kg, to łączna waga padłego bydła, które powinno być poddane utylizacji wynosiła ok. 36,7 tys. t.

Według GUS (2018c) liczba padniętych sztuk trzody chlewnej w 2017 r. wynosiła ogółem 1 710 724, w tym 1 081 189 prosiąt. Liczba upadków poszczególnych grup zwierząt w stosunku do ich pogłowia wynosiła 15,1% w odniesieniu do trzody chlewnej ogółem i 6,1% w odniesieniu do liczby urodzonych prosiąt. Z przedstawionych danych wynika, że liczba sztuk padniętej trzody chlewnej w grupach wie-

kowych innych niż prosięta wynosiła 629 535. Według definicji GUS (2025) waga prosięcia wynosi do 20 kg, stąd do szacunków wagi padłych w gospodarstwach prosiąt przyjęto wagę w granicach ok. 10 kg, natomiast w przypadku pozostałych padłych świń (warchlaki o wadze 20–50 kg; tuczniki, lochy, knury rozplodowe o wadze powyżej 50 kg) przyjęto przeciętną wagę wynoszącą 70 kg. Dla tak poczynionych założeń łączna waga padniętych świń, które powinny być poddane procesowi utylizacji, wyniosła 54,9 tys. t.

Prawidłowością dotyczącą zagospodarowania produktów ubocznych w przemyśle mięsnym powinno być ich większe wykorzystanie do produkcji żywności, m.in. żelatyny, kolagenu, hydrolizatów białkowych, a także w przemyśle paszowym, kosmetycznym, farmaceutycznym oraz do produkcji „zielonej energii” ze źródeł odnawialnych. Natomiast w ostateczności, po przetworzeniu, należy je składować jako odpady (Czyżyk i in. 2010).

Z kolei produkty uboczne pochodzenia zwierzęcego nieprzeznaczone do spożycia dla ludzi, ze względu na zagrożenie bakteriologiczne i odorowe, a także małą trwałość, stanowią potencjalne zagrożenie dla ludzi i zwierząt. Cechy te wymuszają szybkie kierowanie ich do utylizacji.

Wybór metody zagospodarowania odpadów z produkcji i przerobu mięsa zależy od ich rodzaju i właściwości, ale także od wymagań obowiązujących przepisów.

Zgodnie z Rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1069/2009 z 21 października 2009 r. w sprawie przepisów sanitarnych odnośnie produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego nieprzeznaczonych do spożycia przez ludzi (Dz.U. UE L 300, 14.11.2009, z późn. zm.), produkty te – w zależności od związanego z nimi ryzyka – dzieli się na trzy kategorie:

- materiał kategorii I (pozostałości szczególnego ryzyka);
- materiał kategorii II;
- materiał kategorii III (Czyżyk i in. 2010).

W przetwórstwie mięsnym mamy do czynienia zwykle z odpadami zaliczanymi do III kategorii. Jednak w ubojniach mogą powstawać odpady innych kategorii, np. padłe zwierzęta, które powinny być przekazywane do zakładów utylizacyjnych.

Pozostałościami poprodukcyjnymi w ubojniach mogą być: krew techniczna, kości, tkanki miękkie, tkanki twarde (rogi, racice, szczecina, włosie, pióra), skóry, treści żołądków i jelit, tłuszcze, odchody zwierzęce (najczęściej odprowadzane do kanalizacji i oczyszczalni).

Krew techniczna, kości i tkanki miękkie mogą być wykorzystane do produkcji mączek mięsno-kostnych. Kości mogą być też przeznaczone do produkcji klejów i żelatyny. Spopielone składniki mogą znaleźć zastosowanie w ceramice użytkowej oraz zastępować naturalne surowce fosforowe (produkcja kwasu fosforowego lub nawozów).

Tkanki twarde mogą mieć różnorodne zastosowanie – rogowizna, np. do wyrobu galanterii (guziki) lub mączki paszowej, której wykorzystanie w żywieniu zwierząt

jest ograniczone przepisami UE. Natomiast szczecina i włosie wykorzystywane są do wyrobu szczotek i pędzli, a także jako materiał tapicerski i filcowy.

Skóry wykorzystywane są jako surowiec garbarski, a nienadające się kawałki przeznaczone do utylizacji.

Treści żołądków i jelit dość często, podobnie jak odchody, są splukiwane do kanalizacji, obciążając oczyszczalnię. Jednak po odwodnieniu i higienizacji wapnem (CaO) powinny być pryzmowane, a następnie wykorzystane jako bezpieczny nawóz. Bezpośrednie ich wywożenie na pole jest niemożliwe. Odpady te można też przerobić w połączeniu z przefermentowanymi osadami z zakładowej oczyszczalni.

Pozostałości tłuszczowe mogą służyć jako dodatek do mączek paszowych bądź do produkcji tłuszczów technicznych lub też do produkcji mydła (zwłaszcza tłuszcze bydlęce).

Ilość drobiu ogółem przeznaczonego w 2017 r. do uboju w rzeźniach i ubojniach wyniosła według GUS (2018b) 3 312,2 tys. t w wadze żywej. Jego udziałem były produkty stanowiące odpady żywnościowe w postaci 430,6–761,8 tys. t odpadowej tkanki zwierzęcej (020202) oraz 17,9–21,5 tys. t w postaci surowców i produktów nienadających się do spożycia (020203) (tab. 22). Ponadto działalność ta dostarczyła od 4,1 do 6,0 mln m³ ścieków, a osady z zakładowych oczyszczalni ścieków stanowiły 1,1 tys. t.

Tabela 22

Ilość pozostałości w przeliczeniu na jednostkę przerobionego surowca w przemyśle uboju drobiu (obliczenia własne na podstawie Czyżyk i in. 2010)

Rodzaj	Kod	Jednostka	Ilość pozostałości	
			min.	maks.
Ścieki	-	m ³	4140250	5961960
Odpadowa tkanka zwierzęca	020202	Mg	430586	761806
Surowce i produkty nienadające się do spożycia	020203	Mg	17853	21529
Osady z zakładowej oczyszczalni ścieków	020204	Mg	1093	
Opakowania z papieru i tektury	150101	Mg	894	
Opakowania z tworzyw sztucznych	150102	Mg	364	

□; □ – oznaczenia jak w tab. 3

W 2017 r. do uboju przeznaczono 1 119,1 tys. t bydła w wadze żywej. Pośród powstałych pozostałości występowały produkty stanowiące odpady żywnościowe w postaci odpadowej tkanki zwierzęcej kategorii III (020202) wynoszące 100,7–302,2 tys. t oraz surowce i produkty nienadające się do spożycia (020203) w ilości jedynie 3 t (tab. 23).

W rzeźniach i ubojniach powstało ponadto 0,9–1,4 mln m³ ścieków, a ok. 100,7–190,2 tys. t stanowiła tkanka odpadowa kategorii I, która powinna być przeznaczona do utylizacji. Natomiast odchody zwierzęce w ilości 179,1 tys. t mogą być użyte, po odpowiednim kompostowaniu, do nawożenia lub bezpośredniego przerobu z przefermentowanymi osadami z przyzakładowej oczyszczalni. Szlamy w ilości 1,7 tys. t oraz skratki w ilości 21,3 tys. t mogą być poddane odpowiedniemu kompostowaniu.

Tabela 23

Ilość pozostałości w przeliczeniu na jednostkę przerobionego surowca w przemyśle uboju bydła (obliczenia własne na podstawie Czyżyk i in. 2010)

Rodzaj	Kod	Jednostka	Ilość pozostałości	
			min.	maks.
Ścieki	-	m ³	906471	1398875
Odpadowa tkanka zwierzęca kat. III	020202	Mg	100719	302157
Odpadowa tkanka zwierzęca kat. I	020281	Mg	100719	190247
Odchody zwierzęce	020106	Mg	179056	
Surowce i produkty nienadające się do spożycia	020203	Mg	3	
Szlamy	190814	Mg	1712	
Skratki	190801	Mg	21263	
Opakowania z papieru i tektury	150101	Mg	67	
Opakowania z tworzyw sztucznych	150102	Mg	11	
Opakowania z drewna	150103	Mg	190	

■; ■ – oznaczenia jak w tab. 3

W 2017 r. przeznaczono do uboju w wadze żywej 2 627,5 tys. t trzody chlewnej. W związku z powyższą działalnością, w rzeźniach i ubojniach otrzymano pozostałości poprodukcyjne zawierające według Eurostatu odpady żywnościowe w postaci odpadowej tkanki zwierzęcej kategorii II i III (020202) w ilości 34,2–499,2 tys. t, tłuszczów technicznych (020202) w ilości 28,4 tys. t (do zagospodarowania w celu otrzymywania tłuszczów technicznych), jak również krwi (020202) z przeznaczeniem do produkcji mączek mięsno-kostnych w ilości 56,0 tys. t (tab. 24). Ponadto otrzymano pozostałości częściowo zawierające odpady żywnościowe w postaci odpadów komunalnych (200301) w ilości 2,9 tys. t.

W działalności tej zostało wytworzonych 2,4–5,4 mln m³ ścieków. Odpadowa tkanka zwierzęca kategorii I wynosiła od 34,1 do 307,4 tys. t. Znaczną pozy-

cję pozostałości stanowiły treści żołądków i jelit – 7,4 mln t, a odpady z mycia i przygotowania surowców – 0,9 mln t. Otrzymano także osady z przyzakładowej oczyszczalni ścieków w ilości 0,5 mln t.

Tabela 24

Ilość pozostałości w przeliczeniu na jednostkę przerobionego surowca w przemyśle uboju trzody chlewnej (obliczenia własne na podstawie Czyżyk i in. 2010)

Rodzaj	Kod	Jednostka	Ilość pozostałości	
			min.	maks.
Ścieki	-	m ³	2443575	5386375
Odpadowa tkanka zwierzęca kat. II i III	020202	Mg	34158	499225
Odpadowa tkanka zwierzęca kat. I	020281	Mg	34158	307418
Treść żołądków, jelit	020204	Mg	7357000	
Tłuszcze techniczne	020202	Mg	28377	
Krew	020202	Mg	55966	
Odpady z mycia i przygotowania surowców	020201	Mg	859718	
Osady z oczyszczalni	020204	Mg	503429	
Odpady komunalne	200301	Mg	2890	
Opakowania z papieru i tektury	150101	Mg	342	
Opakowania z tworzyw sztucznych	150102	Mg	841	
Opakowania zawierające substancje niebezpieczne	150110	Mg	26	

■; □ – oznaczenia jak w tab. 3

Pozostałości poprodukcyjne w zakładach przerobu mięsa są podobne jak w przypadku ubojni, lecz powstają w mniejszych ilościach, dlatego sposób ich zagospodarowania powinien być identyczny. Powstają tu także pozostałości całkowicie nieprzydatne, charakterystyczne dla tej produkcji (resztki sztucznych jelit, formy z folii, plastikowe osłonki, drobne odpady metalowe z klipsownicy), które powinny być odprowadzane jako odpady niesegregowane na zorganizowane składowiska odpadów (Czyżyk i in. 2010).

Jak podaje Mroczek (2019), w 2017 r. w zakładach przetwórstwa mięsnego (za-trudniających więcej niż 9 osób załogi) wyprodukowano, podobnie jak w 2016 r., 1 160,0 tys. t przetworów mięsnych, na które składały się wędliny i konserwy. Natomiast według danych zamieszczonych w opracowaniu Dybowskiego i Pasińskiej (2019) w 2017 r. ilość wyprodukowanych przetworów drobiowych wyniosła 373 tys. t. Stąd do obliczenia pozostałości z przemysłu mięsnego przyjęto założenie, że produkcja przetworów mięsnych i drobiowych ogółem wyniosła w 2017 r. 1 530 tys. t.

W tej gałęzi produkcji pozostałościami zawierającymi, według Eurostatu, odpady żywnościowe były odpadowa tkanka zwierzęca (020202) w ilości 30,6–382,5 tys. t oraz surowce i produkty nienadające się do spożycia (020203) w ilości 0,1–242,9 tys. t (tab. 25). W procesie produkcyjnym powstawały także pozostałości częściowo zawierające odpady żywnościowe w postaci niezagospodarowanych odpadów komunalnych w ilości 11,5–25,8 tys. t.

Tabela 25

Ilość pozostałości w przeliczeniu na jednostkę przerobionego surowca w przemyśle przetwórstwa mięsnego (obliczenia własne na podstawie Czyżyk i in. 2010)

Rodzaj	Kod	Jednostka	Ilość pozostałości	
			min.	maks.
Ścieki	-	m ³	6930900	12285900
Odpadowa tkanka zwierzęca	020202	Mg	30600	382500
Odpadowa tkanka zwierzęca wysokiego ryzyka	020281	Mg	2448	459000
Zwierzęta padłe i ubite z konieczności	020182	Mg	398	
Surowce i produkty nienadające się do spożycia	020203	Mg	168	242933
Odpady z mycia i przygotowania surowców	020201	Mg	20196	
Osady z oczyszczalni	020204	Mg	2907	42840
Skratki	190801	Mg	15	3534
Odchody zwierzęce	020106	Mg	979	18131
Niezagospodarowane odpady komunalne	200301	Mg	11475	25796
Inne	-	Mg	46	1255
Opakowania z papieru i tektury	150101	Mg	428	11429
Opakowania z tworzyw sztucznych	150102	Mg	15	107
Opakowania z metalu	150104	Mg	444	7482
Opakowania szklane	150107	Mg	184	

■; □ – oznaczenia jak w tab. 3

Głównymi pozostałościami były jednak ścieki w ilości 6,9–12,3 mln m³. Ilość odpadowej tkanki zwierzęcej wysokiego ryzyka wynosiła od 2,4 do 459,0 tys. t, a masa zwierząt padłych i ubitych z konieczności – 0,4 tys. t. Znaczącą pozycję stanowiły pozostałości w postaci odpadów z mycia i przygotowania surowców (20,2 tys. t), osadów z oczyszczalni (2,9–42,8 tys. t), a także odchodów zwierzęcych (1,0–18,1 tys. t), które mogą być przeznaczone do produkcji biogazu.

4.3. RYNEK RYB

Pozostałości z przemysłu rybnego, podobnie jak z uboju i przetwórstwa mięsa, ze względu na dużą nietrwałość i odór są uciążliwe i mogą powodować zagrożenie dla środowiska, ludzi i zwierząt. Można je podzielić na dwie grupy: płynne (ścieki zawierające tłuszcz i białka) oraz stałe (miękkie – resztki z przerobu ryb morskich, skóry, łuski, płetwy, wnętrzności oraz twarde – głowy i kręgosłupy).

Produkty uboczne z kategorii II lub III mogą być surowcem w przemyśle (paszowym, farmaceutycznym, kosmetycznym itp.), ale mogą też być przeznaczane do bezpośredniego skarmiania, np. mięsożernymi zwierzętami futerkowymi w procesie odzysku (Czyżyk i in. 2010).

Części stałe mogą być wykorzystane do produkcji mączki rybnej, a wnętrzności i mięso do produkcji olejów technicznych lub klejów. Z uwagi na krótką trwałość, pozostałości używane do skarmiania należy chłodzić, zamrażać lub konserwować, zwiększając tym samym ich wykorzystanie.

Osady ściekowe można poddawać recyklingowi organicznemu (kompostowanie z masą roślinną, produkcja biogazu) lub osuszaniu i sterylizacji, co umożliwi ich wykorzystanie w nawożeniu gleb (Czyżyk i in. 2010).

Według Krupskiej (2019) w 2017 r. krajowa wielkość produkcji przetwórstwa rybnego wynosiła 504,5 tys. t wyrobów różnego asortymentu. Produkcja ta powodowała powstanie pozostałości, których ilość zestawiono w tabeli 26.

Tabela 26

Ilość pozostałości w przeliczeniu na jednostkę przerobionego surowca w przemyśle rybnym (obliczenia własne na podstawie Czyżyk i in. 2010)

Rodzaj	Kod	Jednostka	Ilość pozostałości	
			min.	maks.
Ścieki	-	m ³	1069540	4974370
Odpadowa tkanka zwierzęca	020202	Mg	25225	105945
Odpady komunalne	200301	Mg	1009	
Ustabilizowane komunalne osady ściekowe	190805	Mg	1009	
Żużle i popioły	100102	Mg	454	
Złom	170405	Mg	555	36980
Opakowania papierowe	150101	Mg	5650	9333
Opakowania z tworzyw sztucznych	150102	Mg	106	3602

□; □ – oznaczenia jak w tab. 3

Znaczącą pozycję wśród pozostałości z przemysłu przetwórstwa rybnego, zawierających według Eurostatu odpady żywnościowe, stanowiła odpadowa tkanka zwierzęca (020202) w ilości 25,2–105,9 tys. t, która może być przeznaczona do dalszego wykorzystania jako surowiec, np. w przemyśle paszowym. W działalności tej powstają również odpady komunalne (200301) zawierające częściowo odpady żywnościowe, których ilość szacowana jest na 1,0 tys. t i które mogą być poddane kompostowaniu lub użyte do produkcji biogazu.

Podobnie jak w innych działalnościach dominowały pozostałości w postaci ścieków, wynoszące od 1,1 do 5,0 mln m³ oraz ustabilizowane komunalne osady ściekowe (1,0 tys. t), które mogą być przetworzone jak wymienione wyżej odpady komunalne. Powstaje też ok. 0,5 tys. t żużli i popiołów możliwych do wykorzystania w drogownictwie.

4.4. RYNEK JAJ

Do działalności przemysłowo-rolniczej, gdzie wykorzystywane są surowce pochodzenia zwierzęcego (w tym przypadku jaja), możemy zaliczyć także zakłady wylęgowe. Według danych statystycznych GUS (2018b) w 2017 r. liczba nałożonych jaj wylęgowych (drób kurzy, kaczki, gęsi, indyki) wyniosła 1576728 tys. szt.

W wylęgarniach, według klasyfikacji Eurostatu, nie mamy do czynienia z pozostałościami zawierającymi odpady żywnościowe ogółem lub częściowo.

Natomiast w zakładach wylęgu drobiu mamy do czynienia z pozostałościami w postaci jaj czystych i skorup w ilości 24,1 tys. t oraz 0,5 tys. t kalekich piskląt (tab. 27). Oprócz tego mamy do czynienia z odpadami uznawanymi za niebezpieczne w postaci zużytych urządzeń zawierających elementy niebezpieczne (w tym wypadku głównie świetlówek) w ilości 32 t w ciągu roku.

Tabela 27

Ilość pozostałości w przeliczeniu na jednostkę przerobionego surowca w zakładach wylęgowych (obliczenia własne na podstawie Czyżyk i in. 2010)

Rodzaj	Kod	Jednostka	Ilość pozostałości	
			min.	maks.
Jaja czyste i skorupy	020199	Mg	24124	
Pisklęta kalekie	020182	Mg	473	
Zużyte urządzenia zawierające niebezpieczne elementy (świetlówek)	160213	Mg	32	
Opakowania z papieru i tektury	150101	Mg	347	

□; □ – oznaczenia jak w tab. 3

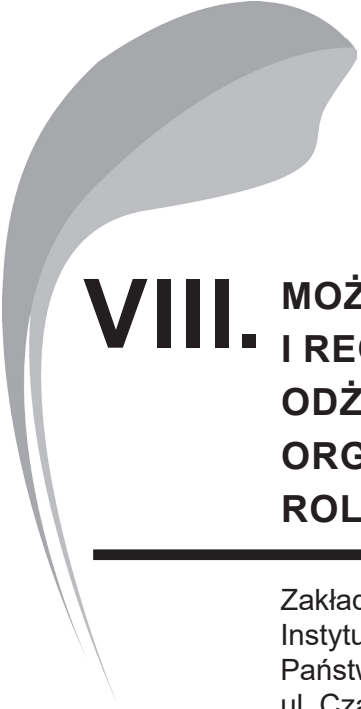
5. PODSUMOWANIE

Według szacunków wykonanych z uwzględnieniem danych GUS łączna ilość pozostałości z przemysłu rolno-spożywczego, gdzie surowcem były produkty roślinne, w których według metodyki Eurostatu główną część powinny stanowić odpady żywnościowe, wynosiła ok. 9,5–280,6 tys. t, a pozostałości, które częściowo zawierały odpady żywnościowe wynosiły 424,0–1197,7 tys. t. Natomiast w przypadku surowców w postaci zwierząt i produktów pochodzenia zwierzęcego ilość odpadów w których główną część powinny stanowić odpady żywnościowe wynosiła ok. 726,2–2413,1 tys. t, a pozostałości, które częściowo zawierały odpady żywnościowe wynosiły 29,3–43,6 tys. t.

6. LITERATURA

1. Bednarczuk A., Śleszyński J.: Marnotrawstwo żywności – problem pomiaru i dostępności danych. *Optimum. Economic Studies*, Warszawa, 2019, **3(97)**: 19-32.
2. Czyżyk F., Strzelczyk M., Steinhoff-Wrzeźniewska A., Godzwon J., Rajmund A., Kołdras J., Kaca E.: Wytyczne w zakresie wykorzystania produktów ubocznych oraz zalecanego postępowania z odpadami w rolnictwie i przemyśle rolno-spożywczym. ITP-PIB Falenty-Warszawa 2010.
3. Daniel Z., Juliszewski T., Kowalczyk Z., Malinowski M., Sobol Z., Wrona P.: Metoda szczegółowej klasyfikacji odpadów z sektora rolniczego i rolno-spożywczego. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, PAN, Kraków, 2012, **2/IV**: 141-152.
4. Dybowski G., Pasińska D.: Przetwórstwo. W: Rynek drobiu. Stan i perspektywy. Nr 55, IERiGŻ-PIB, Warszawa 2019.
5. GUS 2018a. Produkcja upraw rolnych i ogrodnich w 2017 r. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2018a.
6. GUS 2018b. Rocznik statystyczny rolnictwa 2018. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2018b.
7. GUS 2018c. Zwierzęta gospodarskie w 2017 roku. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2018c.
8. GUS 2019a. Ochrona środowiska. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2019a.
9. GUS 2019b. Wiosenna ocena stanu upraw rolniczych i ogrodnich w 2019 r. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2019b.
10. GUS 2025. Słownik pojęć: Pojęcia stosowane w statystyce publicznej – dziedzina: Podstawowe pojęcia statystyczne. Główny Urząd Statystyczny; <https://stat.gov.pl/metainformacje/sownik-pojec/pojecia-stosowane-w-statystyce-publicznej/dziedzina.html> (dostęp: 7 lutego 2025).
11. IERiGŻ-PIB 2019a. Rynek cukru. Stan i perspektywy. Nr 46, Instytut Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2019.
12. IERiGŻ-PIB 2019b. Rynek owoców i warzyw. Stan i perspektywy. Nr 53, Instytut Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2019.
13. IERiGŻ-PIB 2019c. Rynek rzepaku. Stan i perspektywy. Nr 55, Instytut Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2019.
14. IERiGŻ-PIB 2019d. Rynek zbóż. Stan i perspektywy. Nr 56, Instytut Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2019.
15. IERiGŻ-PIB 2019e. Rynek ziemniaka. Stan i perspektywy. Nr 45, Instytut Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2019.

16. K r u p s k a J.: Przetwórstwo. W: Rynek ryb. Stan i perspektywy, Nr 29, IERiGŻ-PIB, Warszawa 2019.
17. M r o c z e k R.: Przetwórstwo mięsa. W: Rynek mięsa. Stan i perspektywy, Nr 56, IERiGŻ-PIB, Warszawa 2019.
18. P a i r o n M., Roberti de Winghe M.: The “food waste plug-in” – reference year 2012. Project description and outputs. 2015, https://circabc.europa.eu/sd/a/ec3f307e-1107-4d5e8f7e-12d2ff43b464/20150702_FW_plugin.docx.
19. Rozporządzenie Komisji (UE) nr 849/2010 z dnia 27 września 2010 r. zmieniające rozporządzenie (WE) nr 2150/2002 Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie statystyk odpadów, s. 2-4 (Dz.U. UE L 253, 28.09.2010).
20. Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 26 listopada 2021 r. w sprawie unieszkodliwiania oraz magazynowania odpadów medycznych i odpadów weterynaryjnych (Dz.U. z 2021 r. poz. 2245).
21. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1069/2009 z 21 października 2009 r. w sprawie przepisów sanitarnych odnośnie produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego nieprzeznaczonych do spożycia przez ludzi (Dz.U. UE L 300, 14.11.2009, z późn. zm.).
22. Rozporządzenie Ministra Klimatu z dnia 2 stycznia 2020 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. z 2020 r., poz. 10).
23. S t e n m a c k A., Jensen C., Quested T., Moates G.: Estimates of European food waste levels. FUSIONS 2016; <https://www.eufusions.org/phocadownload/Publications/Estimates%20of%20European%20food%20waste%20levels.pdf>



Andrzej Górnik

**VIII. MOŻLIWOŚCI POZYSKIWANIA
I RECYKLINGU SKŁADNIKÓW
ODŻYWCZYCH ORAZ MATERII
ORGANICZNEJ Z SEKTORA
ROLNICZEGO**

Zakład Agroekologii i Ekonomiki
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa
Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. (0-81) 4786805
e-mail: Andrzej.Gornik@iung.pulawy.pl

1. WSTĘP

Dynamika zmian zawartości materii organicznej oraz składników odżywczych gleb to aktualny temat problemowy dotyczący terenów zagospodarowanych rolniczo (Siebielec i in. 2012). Z punktu widzenia zarówno produkcyjnego, jak i środowiskowego spadek zawartości materii organicznej oraz składników odżywczych stanowi realne zagrożenie dla jakości gleb (Smreczak i in. 2017). Średnia zawartość glebowej materii organicznej na terenach użytków rolnych w Polsce wynosi 2,2%. Według danych Klasyfikacji Zasobów Glebowych Świata (WRB, ang. *World Reference Base for Soil Resources*) 11% stanowią gleby o średniej zawartości materii organicznej, natomiast 89% to gleby o niskiej lub bardzo niskiej jej zawartości (Stuczyński i in. 2007, Kuś i Kopiński 2012). Pogarszanie jakości gleb rolnych wynika w głównej mierze ze spadku zawartości substancji próchnicznych, który z kolei wynika z przyspieszonego procesu mineralizacji glebowej materii organicznej. Wykazano, że intensywna produkcja roślinna oraz pogorszona gospodarka melioracji gleb powodująca nadmierne ich wysuszenie, to procesy które przyczyniają się do obniżenia zawartości próchnicy glebowej (Krasowicz i in. 2011). Dostępne obecnie środki nawozowe i poprawiające jakość gleby stwarzają perspektywę przywrócenia utraconej materii organicznej oraz składników odżywczych gleb rolnych.

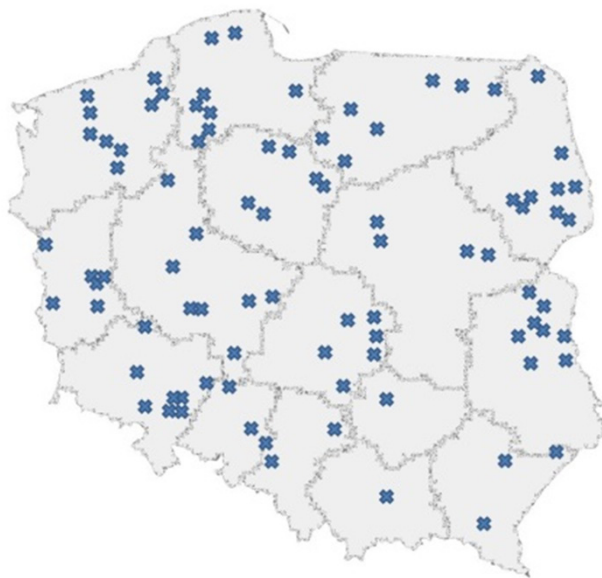
2. WYKORZYSTANIE POFERMENTU JAKO DODATKU DO GLEB

Rolnictwo to jeden z sektorów biogospodarki, który odznacza się dużym potencjałem wykorzystania surowców organicznych bogatych w składniki odżywcze. Surowce pochodzące z produkcji roślinnej, zwierzęcej i przemysłu rolno-spożywczego wykorzystywane są w zakładach produkcji biogazu. Odpowiednio wyselekcjonowane substraty stanowią wsad, który zasila cały proces przetwórczy (Kwaśny i in. 2012). Ze względu na rodzaj przyjmowanych surowców biogazownie dzielą się na rolnicze i odpadowe. W biogazowniach rolniczych surowce nadające się jako materiał wejściowy to: resztki warzyw i owoców, serwatka, wysłodki, wywar gorzelniany, pulpa ziemniaczana i inne produkty uboczne przemysłu rolno-spożywczego. Zakiszane mogą być także surowce produkcji roślinnej, tj.: kukurydza, buraki cukrowe, żyto, trawy, czy też surowce organiczne z produkcji zwierzęcej w postaci obornika, gnojówki, gnojowicy lub pomyłu ptasiego. Produktem końcowym otrzymanym w wyniku biologicznej przemiany (fermentacji metanowej) biomasy jest biogaz. Produkt ten może zasilać krajowe sieci gazownicze lub stanowić paliwo spalane w silnikach kogeneracyjnych produkujących energię elektryczną przesyłaną do sieci elektroenergetycznych. Produktem ubocznym otrzymanym w wyniku przemiany biologicznej substratów jest masa pofermentacyjna (tzw. poferment) będąca uwodnioną mieszaniną nieprzefermentowanej biomasy wsadu, zawierająca w swo-

im składzie mikroorganizmy fermentacyjne oraz bogate źródło substancji mineralnych (Kowalczyk-Juško i Szymańska 2015).

Zawartość substancji mineralnych w pofermencie jest zbliżona do ich zawartości w substratach stanowiących wsad w biogazowni, dlatego poferment może być z powodzeniem stosowany w rolnictwie, ogrodnictwie czy też w niewielkich uprawach zlokalizowanych w ogrodach przydomowych. Zmniejszenie poziomu zakwaszenia gleb oraz poprawa dostępności przyswajalnych form azotu, fosforu i potasu to korzyści wynikające ze stosowania pofermentu w rolnictwie (Piątek i Bartkowiak 2019). Odzyskane w wyniku produkcji pofermentu składniki odżywcze i materia organiczna potencjalnie mogą stanowić element racjonalnej gospodarki nawozowej. Ponowne ich wykorzystanie poprawia właściwości fizyczne gleb oraz pozytywnie wpływa na wzrost i plon końcowy upraw roślin rolniczych (Lipiec i in. 2015). W wyniku braku informacji na temat zagospodarowania masy pofermentacyjnej z biogazowni rolniczych nie można jednak określić przybliżonej jej ilości przeznaczonej na cele nawozowe.

Analizując rozmieszczenie biogazowni rolniczych przedstawionych na rysunku 1, można stwierdzić, że istnieje szeroko rozbudowana sieć instalacji na terenie całego kraju. Widoczne są regiony charakteryzujące się wysoką polaryzacją biogazowni, ale również regiony o mniejszej ich dominacji, takie jak np. Wyżyna Sandomierska czy pogranicze województw mazowieckiego i podlaskiego, które potencjalnie mogą stwarzać perspektywę do dalszej ich ekspansji na terenie Polski.

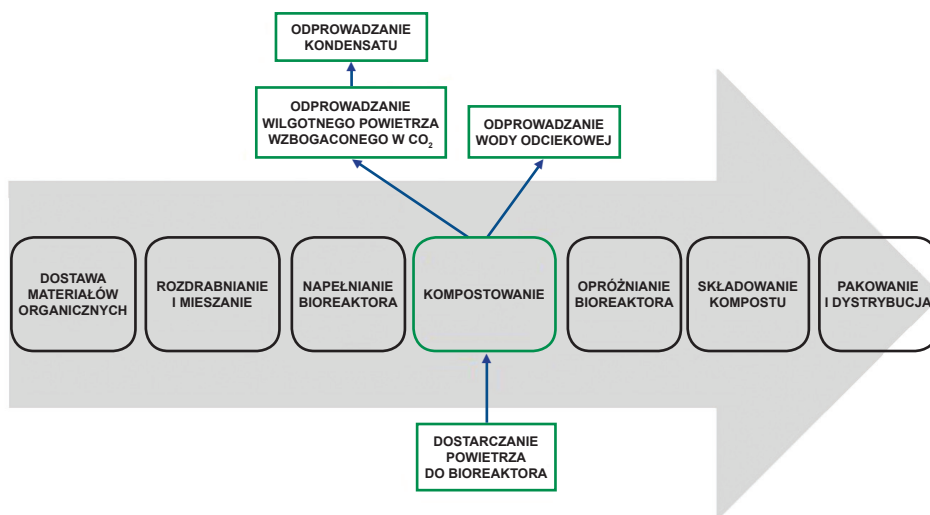


Rys. 1. Rozkład biogazowni rolniczych na terenie Polski w 2016 roku
(opracowanie własne na podstawie Wojdalski i Niżnikowski 2019)

Według danych liczbowych zaobserwowano, że w 2011 r. w Polsce istniało 8 biogazowni typu rolniczego. W latach 2011–2016 nastąpił gwałtowny rozwój sektora biogazu, a liczba biogazowni rolniczych zwiększyła się o 1175%. W kolejnych latach nastąpił spadek tempa rozwoju tego sektora w Polsce. Budowa wielu inwestycji została wstrzymana z uwagi na drastyczne obniżenie dochodowości zakładów biogazowych, które wynikało z obniżenia wyceny zielonych certyfikatów na towarowej giełdzie energii (Gostomczyk 2017). W 2016 r. w Polsce odnotowano 303 biogazownie, spośród których 94 stanowiły biogazownie rolnicze, natomiast według danych Urzędu Regulacji Energetyki liczba instalacji biogazowych w marcu 2019 r. wynosiła 305 (Woźniak 2017, KOWR 2019, URE 2019). W 2019 r. pod Poznaniem powstała pierwsza w Polsce biogazownia trzeciej generacji mająca możliwości przetwórstwa materii organicznej pochodzącej z produkcji rolniczej, ale również z przemysłu rolno-spożywczego (www.magazynbiomasa.pl).

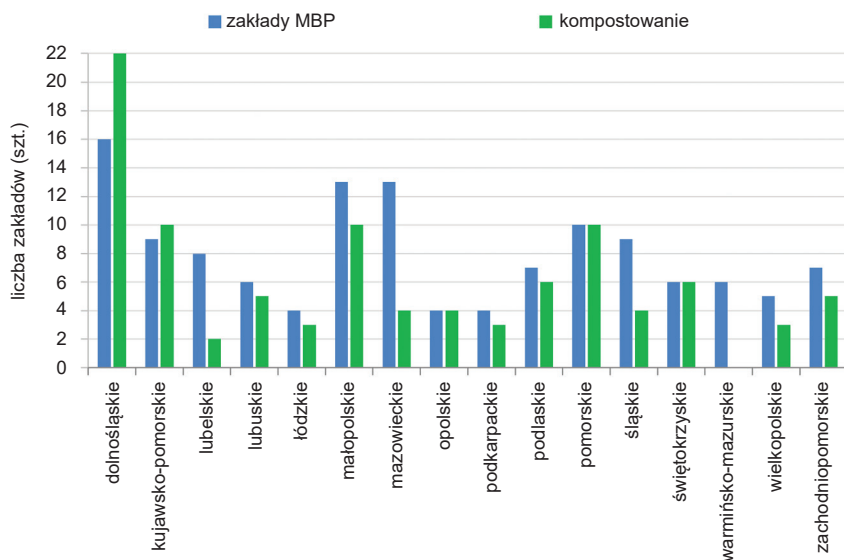
3. RECYKLING BIOMASY W PROCESIE KOMPOSTOWANIA

W gospodarce surowców pochodzenia rolniczego istotne znaczenie odgrywa również proces kompostowania. Polega on na degradacji materiału biologicznego w warunkach tlenowych przy obecności bakterii termofilnych. Istotnym źródłem pozyskania surowców na cele produkcji kompostu jest sektor rolniczy. Wykorzystywana jest tu odpowiednio rozdrobniona zielona masa roślinna, ale również surowce pochodzenia zwierzęcego poddane biologicznym procesom sanitzacji i stabilizacji w celu uniknięcia szkodliwych skutków środowiskowych zagrażających zdrowiu ludzi i zwierząt (Saveyn i Eder 2014). Na rysunku 2 przedstawiony został zakres czynności w procesie powstawania kompostu.



Rys. 2. Schemat blokowy procesu powstawania kompostu (opracowanie własne)

Na mocy rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) z dnia 21 października 2009 r. (Dz.U. L 300 z 14.11.2009) dystrybucja surowców pochodzenia zwierzęcego i ich pochodnych, przeznaczonych na spalanie lub trwałą depozycję, do krajów nienależących do Organizacji Współpracy Gospodarczej i Rozwoju OECD oraz wykorzystanie ich w biogazowniach i kompostowniach jest zabronione. Wynika to z możliwości wystąpienia potencjalnego zagrożenia dla zdrowia ludzi, zwierząt oraz środowiska naturalnego. Recykling pomiotów zwierzęcych z dodatkiem osadów ściekowych w warunkach wysokotemperaturowego spalania stwarza możliwości pozyskania nawozu bogatego w związki fosforu (Wzorek 2008). Zachowanie sanitarnych zasad recyklingu zwierzęcych odpadów organicznych to sposób produkcji kompostu bogatego w materię organiczną oraz cenne składniki odżywcze stosowane w uprawie roślinnej (Kopeć i in. 2014). Badania składu kompostu wyprodukowanego na bazie rozdrobnionych surowców roślinnych, takich jak trociny drzewne i zielonka traw wykazały, że może on stanowić element poprawiający strukturę żyzności gleby, a jego wartość nawozowa porównywalna jest z działaniem obornika (Winiarska 1991). W Polsce w 2014 r. funkcjonowało 97 kompostowni zajmujących się przetwarzaniem odpadów zielonych, selektywnie gromadzonych bioodpadów kuchennych i odpadów z targowisk. Odnotowano również 127 zakładów mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów zmieszanych – MBP (rys. 3).



Rys. 3. Zakłady przetwórstwa odpadów w 2014 roku w Polsce
(opracowanie własne na podstawie M.P z 2016 r. poz. 784)

Gospodarka surowcami odpadowymi stanowi ważny i zarazem bardzo trudny problem poruszany od wielu lat. Procesy takie jak: spalanie, składowanie czy

ponowne wykorzystywanie w przyrodzie (z uwzględnieniem zagospodarowania w rolnictwie) stanowią trzy kanały racjonalnego ich zagospodarowania (Winiarska i Lekan 1991). Z roku na rok coraz większe zagęszczenie produkowanych odpadów staje się przesłanką do wykorzystania ich w różnych procesach przetwarzania. W Polsce w 2014 r. został odnotowany przyrost składowanych odpadów o blisko 646 tys. Mg w stosunku do roku 2013. W tym okresie stwierdzono również wzrost ilości masy odpadów biodegradowalnych o 2,4% (M.P. z 2016 r. poz. 784). Na rysunku 4 przedstawiono udział pozyskanej masy odpadów biodegradowalnych spośród wszystkich odpadów komunalnych w latach 2013 i 2014. Odpady biodegradowalne to potencjalny surowiec, który mógłby stanowić źródło cennych składników mineralnych ponownie wykorzystanych w rolnictwie.



Rys. 4. Struktura pozyskania masy odpadów biodegradowalnych w Polsce (%) ^{2014 rok}/_{2013 rok}
(opracowanie własne na podstawie M.P. z 2016 r. poz. 784)

W latach 2013–2014 odnotowano wzrost masy odpadów biodegradowalnych przypadającej na jednego mieszkańca Polski o 7,4 kg (rys. 5). Na podstawie przyrostu masy odpadów ulegających biodegradacji można stwierdzić, że w społeczeństwie utrzymywana jest potrzeba selektywnego gromadzenia odpadów oraz możliwości biologicznego ich przerobu w zakresie przetwórstwa i ponownego ich wykorzysta-

nia. Gromadzenie odpadów posiadających możliwości biologicznego rozkładu w selektywnych punktach zbiorczych jest dobrą ścieżką w kierunku pozyskania surowców do wykorzystania w kompostowniach lub biogazowniach. Wzrost świadomości ludzi w zakresie selekcji odpadów świadczy nie tylko o zrównoważonym podejściu do ich ponownego wykorzystania, ale również o potrzebie ochrony środowiska naturalnego.



Rys. 5. Pozyskanie masy odpadów biodegradowalnych (kg·osobę⁻¹) ^{2014 rok}/_{2013 rok}
(opracowanie własne na podstawie M.P. z 2016 r. poz. 784; GUS 2013 i 2014)

4. BIEWĘGIEL JAKO PRODUKT PIROLIZY ORAZ MAGAZYN SKŁADNIKÓW ODŻYWCZYCH

Innym sposobem ponownego wykorzystania roślinnych surowców pochodzenia rolniczego jest ich termiczna konwersja. Biomasa poddawana niecałkowitemu spalaniu w kontrolowanych warunkach ograniczonego dostępu tlenu to ogólny opis procesu zwanego pirolizą. Produktami końcowymi powstałymi w wyniku pirolizy są: ciekły bioolej pirolityczny, gaz syntezowy oraz wysoko uwęglony karbonizat potocznie zwany biewęgłem. Udział otrzymanych produktów pirolizy jest zależny od utrzymywanych parametrów procesu uwęglania, takich jak czas i temperatura

spalania (Kołodziej i Matyka 2012). Na podstawie badań laboratoryjnych biowęgla pochodzącego z różnych materiałów roślinnych i wyprodukowanego różnymi technikami stwierdzono, że uwęglona masa roślinna posiadała zróżnicowaną budowę i była bogata w składniki mineralne (Brewer i in. 2009). Należy również zaznaczyć, że biowęgiel jest paliwem, które może wpłynąć na rozwój sektora bioenergetyki. Przy zachowaniu odpowiednich parametrów spalania istnieje możliwość odzysku i ponownego wykorzystania skumulowanej w nim energii. Sektor rolniczy charakteryzuje się dużym potencjałem wykorzystania biowęgla. Wykazano, że jego aplikacja doglebowa wpływa na zmianę struktury i właściwości gleby (Poluszyńska i in. 2019). Ponadto biowęgiel poddany sekwestracji w glebie może odgrywać ważną rolę w łagodzeniu skutków zmian klimatu (Malińska i Dach 2014). Właściwości fizykochemiczne biowęgla sprawiają, że może być on wykorzystywany jako komponent wsadu w produkcji kompostu, poprawiający jego strukturę. Wykazano, że dodatek biowęgla w kompoście może wpływać ujemnie na emisję amoniaku do atmosfery (Malińska 2012). Również wykorzystanie biowęgla w takich dziedzinach, jak: produkcja zwierzęca, produkcja paszowa, sektor budowlany, oczyszczanie wód, biogazownictwo i wielu innych może stanowić podstawę do zrównoważonego rozwoju biogospodarki oraz stwarzać dalsze możliwości jego wykorzystania (Gładki 2017).

Obecnie rynek produkcji biowęgla w Polsce jest słabo rozwinięty. Uwarunkowania prawne i wiele kwestii dyskusyjnych dotyczących braku możliwości otrzymania produktu o jednorodnych parametrach fizykochemicznych oraz stabilizacji poziomu zanieczyszczeń materiałów do produkcji biowęgla powodują zahamowanie jego tempa rozwoju. Stawiane wymogi determinują konieczność rejestracji produkowanego biowęgla na poziomie wspólnoty krajów Unii Europejskiej w rozporządzeniu REACH (Dz.U. UE L 396/1 z 30.12.2026), którego ideą jest ochrona środowiska i zdrowia człowieka. Ponadto w Polsce dopuszczenie biowęgla do obrotu jako nawozu lub środka polepszającego właściwości gleby wymaga uzyskania zezwolenia na podstawie Ustawy z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu oraz Rozporządzenia Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu (Dz.U. z 2008 r. nr 119, poz. 765, Dz.U. z 2007 r. nr 147 poz. 1033, Malińska i Mełgieś 2016).

5. PODSUMOWANIE

W sektorze rolniczym produkty organiczne często kończą swój obieg na skutek składowania. Wiąże się to z powstawaniem pewnych strat materii organicznej na skutek biodegradacji. Poddanie produktów przeznaczonych na składowanie procesom biologicznego przetwarzania lub obróbki termicznej stwarza możliwości utworzenia dodatkowego kanału pozyskiwania składników odżywczych i materii organicznej. Recykling to właściwy kierunek rozwoju biogospodarki na obszarach wiejskich w Polsce.

Należy również zwrócić uwagę na możliwość pojawienia się w rolnictwie braku dostępu surowców naturalnych do produkcji nawozów oraz środków poprawiających stan gleby. W wyniku zagrożenia taką sytuacją dywersyfikacja źródeł ich pozyskiwania będzie podstawową potrzebą rolnictwa, a wykorzystanie odpadów biodegradowalnych również z innych sektorów będzie miało coraz większe znaczenie.

Poprawa przejrzystości wymagań prawnych oraz prowadzenie prac badawczo-rozwojowych nad zagadnieniami technologii produkcji, aplikacji dogłębowej to aspekty, które mogą wpłynąć na poprawę rozwoju biogospodarki i należy uznać je za zasadne.

6. LITERATURA

1. Brew er C.E., Schmidt-Rohr K., Satrio J.A., Brown R.C.: Characterization of biochar from fast pyrolysis and gasification systems. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 2009, **28**(3): 386-396.
2. Gładk i J.: Biowęgiel szansą dla zrównoważonego rozwoju. Sędziszów 2017.
3. GUS 2013. Powierzchnia i ludność w przekroju terytorialnym w 2013 r., Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2013.
4. GUS 2014. Powierzchnia i ludność w przekroju terytorialnym w 2014 r., Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2014.
5. G o s t o m c z y k W.: Stan i perspektywy rozwoju rynku biogazu w UE i Polsce – ujęcie ekonomiczne. *Problemy Rolnictwa Światowego*, 2017, T.17(32), **2**: 48-64; DOI: 10.22630/PRS.2017.17.2.26.
6. K o ł o d z i e j B., Matyka M.: Odnawialne źródła energii. Rolnicze surowce energetyczne. Wydawnictwo PWRiL, Poznań 2012, ss. 612.
7. K o p e ć M., Gondek K., Orłowska K., Kulpa Z.: Wykorzystanie odpadów z ubojni drobiu do produkcji kompostu, *Inżynieria Ekologiczna*, 2014, **37**: 143-150; DOI: 10.12912/2081139X.25.
8. K o w a l c z y k-Juśko A., Szymańska M.: Poferment nawozem dla rolnictwa. Fundacja na rzecz Rozwoju Polskiego Rolnictwa, 2015, ss. 60; ISBN 978-83-937363-6-2.
9. Krajowy Ośrodek Wsparcia Rolnictwa (KOWR) 2019. Dane dotyczące działalności wytwórców biogazu rolniczego w latach 2011–2018; www.bip.kowr.gov.pl (dostęp 28.10.2019).
10. K r a s o w i c z S., Oleszek W., Horabik J., Dębicki R., Jankowiak J., Stuczyński T., Jadczyński J.: Racjonalne gospodarowanie środowiskiem glebowym Polski. *Polish Journal of Agronomy*, 2011, **7**: 43-58.
11. K u ś J., Kopiński J.: Gospodarowanie glebową materią organiczną we współczesnym rolnictwie. *Zagadnienia Doradztwa Rolniczego*, 2012, **2**(68): 5-27.
12. K w a ś n y J., Banach M., Kowalski Z.: Przegląd technologii produkcji biogazu różnego pochodzenia. *Czasopismo Techniczne. Chemia*, 2012, **109**(2-Ch): 83-102.
13. L i p i e c J., Turski M., Bieganski A., Usowicz B.: Wpływ dodatku materii organicznej gleby na właściwości fizyczne gleby. W: *Badania egzogennej materii organicznej w celu bezpiecznego stosowania do gleby*, S. Mały, G. Siebielec (red.). Central Institute for Supervising and Testing in Agriculture, Brno, Czech Republic 2015.
14. Magazyn Biomasa 2019. Biogazownia III generacji oficjalnie otwarta; www.magazynbiomasa.pl/ (dostęp 28.10.2019).

15. M a l i ń s k a K.: Biowęgiel odpowiedzią na aktualne problemy ochrony środowiska. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 2012, **15(4)**: 387-403.
16. M a l i ń s k a K., Dach J.: Możliwości wykorzystania biowęgla w procesie kompostowania. *Inżynieria Ekologiczna*, 2014, **34**: 28-39.
17. M a l i ń s k a K., Mełgieś K.: Aktualne wymagania jakościowe i prawne dla biowęgla jako nawozu i polepszacza gleby. *Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych*, Warszawa–Opole 2016, **26**: 82-95.
18. P i ą t e k M., Bartkowiak A.: Ocena wybranych właściwości fizykochemicznych gleby nawożonej masą pofermentacyjną. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 2019, T. 19. **1(65)**: 55-66.
19. P o l u s z y ń s k a J., Ślęzak E., Wieczorek P.P.: Biowęgiel jako środek polepszający właściwości gleby. *Przemysł Chemiczny*, 2019, T. 98, **1**: 98-105.
20. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu (Dz.U. z 2008 r. nr 119, poz. 765 z późn. zm).
21. Rozporządzenie (WE) Parlamentu Europejskiego i Rady nr 1907/2006 z dnia 18 grudnia 2006 r. w sprawie rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów (REACH), utworzenia Europejskiej Agencji Chemikaliów, zmieniające dyrektywę 1999/45/WE oraz uchylające rozporządzenie Rady (EWG) nr 793/93 i rozporządzenie Komisji (WE) nr 1488/94, jak również dyrektywę Rady 76/769/EWG i dyrektywy Komisji 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/WE i 2000/21/WE (Dz.U. UE L 396/1 z 30.12.2006).
22. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1069/2009 z dnia 21 października 2009 r. określające przepisy sanitarne dotyczące produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego, nieprzeznaczonych do spożycia przez ludzi, i uchylające rozporządzenie (WE) nr 1774/2002 (rozporządzenie o produktach ubocznych pochodzenia zwierzęcego) (Dz.U. L 300 z 14.11.2009).
23. S a v e y n H., Eder P.: Kryteria end-of-waste dla odpadów biodegradowalnych poddawanych obróbce biologicznej (kompost i fermentat): Propozycje techniczne. Joint Research Center Scientific and Policy Reports, 2014; DOI:10.2791/6295
24. S i e b i e l e c G., Smreczak B., Klimkowicz-Pawlas A., Maliszewska-Kordybach B., Terelak H., Koza P., Łysiak M., Gałązka R., Pecio M., Suszek B., Miturski T., Hryńczuk B.: Monitoring chemizmu gleb ornych w polsce w latach 2010–2012. Biblioteka monitoringu środowiska, Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa 2012.
25. Smreczak B., Ukańska-Jaruga A., Łysiak M., Strzelecka J., Niedźwiecki J., Sobich D.: Funkcje, jakość i usługi ekosystemowe gleb, *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2017, **54(8)**: 9-23.
26. S t u c z y ń s k i T., Kozyra J., Łopatka A., Siebielec G., Jadczyzyn J., Koza P., ... & Nowocień E.: Przyrodnicze uwarunkowania produkcji rolniczej w Polsce. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2007, **7**: 77-115.
27. Uchwała nr 88 Rady Ministrów z dnia 1 lipca 2016 r. w sprawie Krajowego planu gospodarki odpadami 2022, *Monitor Polski, Dziennik Urzędowy Rzeczypospolitej Polskiej (M.P. z 2016 r., poz. 784)*.
28. Urząd Regulacji Energetyki (URE) 2019. Instalacje odnawialnych źródeł energii wg stanu na dzień 31 marca 2019 r., Urząd Regulacji Energetyki; www.ure.gov.pl/ (dostęp 17.10.2019).
29. Ustawa z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu (Dz.U. z 2007 r. nr 147 poz. 1033).
30. W i n i a r s k a Z.: Wartość użyźniająca kompostu trocinowo-trawiaстого w świetle doświadczeń polowych. Możliwość rolniczego wykorzystania osadów ściekowych i kompostów z substancji odpadowych. *Wyd. IUNG, Puławy 1991, R(280)*: 29-47.

31. W i n i a r s k a Z., L e k a n S.: Wpływ kompostu z odpadków miejskich („Dano”) na plonowanie roślin i właściwości gleby w doświadczeniu polowym. Możliwość rolniczego wykorzystania osadów ściekowych i kompostów z substancji odpadowych. Wyd. IUNG, Puławy 1991, **R(280)**: 49-72.
32. W o j d a l s k i J., Niżnikowski R.: Biogospodarka, pasze, biogaz – wybrane zagadnienia w kontekście zrównoważonego rozwoju. Przegląd Hodowlany, 2019, **2**: 15-24.
33. W o ź n i a k E.: Stan biogazowni w Polsce. Czysta Energia, 2017, **1**: 54-55.
34. W z o r e k Z.: Odzysk związków fosforu z termicznie przetworzonych odpadów i ich zastosowanie jako substytutu naturalnych surowców fosforowych. Seria Inżynieria i Technologia Chemiczna, Monografia 356, Kraków 2008, ss. 159.

A stylized, grey leaf-like graphic with a curved shape, positioned on the left side of the page, partially overlapping the title and author information.

Paweł Radzikowski

**IX. MOŻLIWOŚCI PRODUKCJI
BIOWĘGLA W MAŁYCH
GOSPODARSTWACH ROLNYCH**

Zakład Agroekologii i Ekonomiki
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa
Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czarторыskich 8, 24-100 Puławy
tel. (0-81) 4786820
e-mail: Pawel.Radzikowski@iung.pulawy.pl

1. WSTĘP

Biowęgiel posiada duży potencjał sekwestracji dwutlenku węgla, poprawy jakości gleb oraz produkcji energii odnawialnej. Jest on jednak materiałem kosztownym i trudno dostępnym na rynku. Wynika to z niskiej popularności pirolizy jako procesu energetycznego w porównaniu z całkowitym spalaniem biomasy.

Problemem jest także kosztowna technologia oraz brak wiedzy na temat wytwarzania i zastosowań biowęgla. Tymczasem biowęgiel był tworzony i stosowany od tysięcy lat. Wykorzystanie zarówno tradycyjnych, jak i innowacyjnych metod produkcji węgla może otworzyć nowe możliwości dla małych gospodarstw rolnych, które posiadają nadwyżki biomasy pochodzącej z plonów ubocznych oraz z roślin przeznaczanych na cele energetyczne. W pracy przeanalizowano możliwości wytwarzania biowęgla z różnych substratów dostępnych w rolnictwie. Stwierdzono możliwość wyprodukowania od 0,5 do 6 t biowęgla z 1 ha upraw. Oszacowano, że wyprodukowanie 1 t biowęgla pochłania od 3 do 5 t biomasy oraz zajmuje od 10 do 24 osobogodzin. Koszty poniesione na stworzenie infrastruktury są minimalne i mogą ograniczyć się do materiałów z odzysku. Opracowanie skutecznej metody produkcji biowęgla pozwoliłoby osiągnąć liczne korzyści środowiskowe i produkcyjne, a także zdywersyfikować dochody rolników.

2. WPROWADZENIE

Wykorzystanie biowęgla w rolnictwie cieszy się rosnącym zainteresowaniem. Materiał ten wzbudził uwagę naukowców i rolników, w związku z przypisaniem mu ważnej roli w zwiększaniu potencjału produkcyjnego gleb (Chan i in. 2007, Novak i in. 2009, Gaskin i in. 2010). Od wielu lat badano tajemnice powstania tropikalnych czarnych ziem w południowej Ameryce, nazywanych lokalnie *terra preta do Indio* – czarna ziemia Indian. Są to gleby bardzo żyzne, przez co były uprawiane od tysiącleci przez mieszkańców dorzecza Amazonii. Fenomen istnienia tych gleb polega na tym, że nie powinny występować w dorzeczu Amazonii, ponieważ lokalne uwarunkowania klimatyczne i środowiskowe nie pozwalają na wytworzenie się gleb o wysokiej żyzności (Glaser i in. 2001 i 2002). Wysokie temperatury i codzienne opady powodują bardzo szybki rozkład materii organicznej, przez co gleby tropikalne są z natury bardzo ubogie (Steiner i in. 2007). Ciągłe przemrywanie gleby powoduje utratę makro- i mikroelementów, silne zakwaszenie oraz degradację materii organicznej. W takich warunkach wykształcają się raczej ubogie siedliska, takie jak gleby ferralitowe. Są one ubogie do tego stopnia, że większość drzew wykształca tam bardzo płytko położony system korzeniowy – w celu pobierania makroelementów ze ściółki, a nie z głębszych warstw profilu glebowego. Pozbawione okrywy leśnej, szybko ulegają erozji. Jednak w tych warunkach wykształciły się także gleby bardzo żyzne, które można uprawiać bez nawożenia. *Terra preta* charakteryzuje się wyższym odczynem pH, lepszą zasobnością i większą aktyw-

nością biologiczną niż pozostałe gleby tropikalne. Prowadzono różne spekulacje dotyczące pochodzenia *terra preta*. Rozpatrywano hipotezę pochodzenia wulkanicznego lub hydrologicznego, jednak ostatecznie udowodniono, że jest to gleba pochodzenia antropologicznego (Glaser i in. 2001 i 2002). *Terra preta* została wytworzona przez prekolumbijskich mieszkańców Amazonii za pomocą organicznego nawożenia, którego dodatkowym składnikiem był węgiel drzewny (Glaser i in. 2001 i 2002). To właśnie węgiel, dzięki swoim silnym właściwościom sorpcyjnym, pozwolił na powstrzymanie wypłukiwania składników w głąb profilu glebowego i degradacji materii organicznej. Prawdopodobnie początkowo był on stosowany w celu stłumienia fetoru rozkładających się odpadów organicznych, które ostatecznie trafiały na pola jako nawóz. Świadczą o tym pozostałości ceramiki oraz kości w profilu glebowym. Bez udziału węgla nie byłoby natomiast możliwe zwiększenie żyzności tych gleb jedynie za pomocą nawożenia organicznego, którego efekt w warunkach tropikalnych jest krótkotrwały (Glaser i in. 2001 i 2002). Zależność pomiędzy żyznością gleb a zastosowaniem węgla drzewnego została z czasem zauważona, w związku z czym najprawdopodobniej wkrótce zaczęto wprowadzać go celowo. Warstwy bogate w materię organiczną sięgają w niektórych miejscach do 2 m głębokości, co świadczy o tym, że praktyka świadomego stosowania biowęgla rozpoczęła się ok. 2 tys. lat temu. W niektórych glebach tropikalnych węgiel drzewny stanowi kilkanaście procent masy gleby, co świadczy o olbrzymiej skali jego stosowania. Nie jest do końca jasne, jakimi metodami węgiel był wytwarzany w czasach prekolumbijskich i jak uzyskiwano tak wielkie jego ilości. Wątpliwe jest także, by gospodarka żarowa – stosowana do dzisiaj przez niektóre prymitywne społeczności – zapewniała jego wystarczającą ilość (Rumpel i in. 2006). Pozostałości węgla uzyskanego przez wypalanie zostały zidentyfikowane także w innych glebach o wysokim potencjale produkcyjnym. Stwierdzono, że zarówno czarnoziemy eurazjatyckie, jak i czarnoziemny amerykańskie zawierają węgiel pochodzący z pożarów stepów, który stanowi połowę zawartego w nich węgla. Może to mieć kluczowy wpływ na teorię powstawania czarnoziemów, dla wytworzenia których obecność ognia byłaby kluczowa (Skjemstad i in. 2002). Gleby wzbogacone w biowęgiel występują na całym świecie. Naukowe zainteresowanie biowęgłem zaczęło przejawiać się już na początku XIX w. w związku z coraz większym zapotrzebowaniem na żywność (Wilson 2014). Wielkim entuzjastą wykorzystania węgla drzewnego w rolnictwie był Justus von Liebig, wynalazca, pionier nawożenia mineralnego upraw, znany głównie z niesłusznie przypisanego mu sformułowania „teorii minimum”, której był popularyzatorem. Już wtedy zauważono potencjał węgla drzewnego w zwiększaniu żyzności gleb oraz w tłumieniu przykrych zapachów towarzyszących opróżnianiu latryn, których zawartość była powszechnie wykorzystywana w nawożeniu upraw. Jednakże, w drugiej połowie XIX w. zanikło zainteresowanie węglem drzewnym, w związku z wysokimi kosztami jego produkcji oraz popularyzacją nawozów syntetycznych, które dawały szybszy efekt plonotwórczy. W XX w. postęp technologiczny i biologiczny pozwolił na uzyskiwanie wielokrotnie wyższych plonów, jednakże spowo-

dował znaczny spadek zawartości węgla organicznego w glebach (Chan i in. 2007). Zachowanie i zwiększenie jego zawartości w glebie jest działaniem bardzo trudnym, wymaga ograniczenia nawożenia azotem mineralnym, uproszczenia uprawy gruntu oraz wprowadzenia dużej ilości materii organicznej. Są to działania często sprzeczne z celami produkcyjnymi, pomimo iż żyzność gleb rolniczych jest liniowo zależna od zawartości w nich węgla organicznego. Wprowadzenie dużej ilości biowęgla może rozwiązać problem niskiej zasobności gleb, a dzięki temu również problemy produkcyjne i środowiskowe (Buringh 1984, Blackwell i in. 2007, Chan i in. 2007, Asai i in. 2009, Hua i in. 2009, Novak i in. 2009, Gaskin i in. 2010).

Produkcja biowęgla może okazać się istotną gałęzią bioekonomii w polskim rolnictwie, pozwalając na uzyskanie dodatkowego dochodu z biomasy rolniczej. Ważne jest zapewnienie jak najkrótszego łańcucha wartości umożliwiającego wytworzenie i wykorzystanie biowęgla w tym samym gospodarstwie, ewentualnie sprzedaż jego nadwyżek. W tym celu zostaną zaproponowane metody pozyskania substratu, wytworzenia biowęgla oraz jego zastosowania na poziomie przeciętnego gospodarstwa na terenie Polski.

3. RÓŻNE DEFINICJE BIOWĘGLA

Biowęgiel jest materiałem pochodzenia biologicznego, często kwalifikowanym jako odpad procesów energetycznych, podobnie jak popiół. Różnica polega na tym, że biowęgiel, jak sama nazwa wskazuje, zachowuje w swoim składzie większość węgla znajdującego się w materiale, z którego został uzyskany. Dzieje się tak w związku z zastąpieniem procesu spalania tlenowego procesem beztlenowym w formie pirolizy, hydrolizy lub zgazowania. Biowęgiel różni się od węgla drzewnego po pierwsze przeznaczeniem, to jest wykorzystaniem go w celach poprawy jakości gleb lub innych celach prośrodowiskowych (Ok i in. 2015). Innymi słowy, wytworzony biowęgiel nie może być przeznaczany na cele energetyczne. Drugą, istotniejszą różnicą pomiędzy węglem drzewnym a biowęgłem jest niska zawartość szkodliwych substancji pochodzących z substratu oraz powstałych w procesach termicznych. Biowęgiel powinien mieć możliwie jak najniższy poziom zanieczyszczeń, w związku z czym nie można go wytwarzać niektórymi metodami do produkcji węgla drzewnego (Schmidt i in. 2016). Istnieje wiele definicji biowęgla uwzględniających różnorodność jego rodzajów, różnych metod wytwarzania oraz różnego przeznaczenia, jednakże to, czym jest biowęgiel, najlepiej definiują szczegółowe wymagania dotyczące jego jakości. Jest on produktem termicznej, beztlenowej konwersji biomasy do materiału bogatego w węgiel, który jest następnie przeznaczony do wykorzystania rolniczego (Schmidt i in. 2016). Otrzymany materiał przypomina węgiel drzewny, natomiast może być on wytwarzany z szerszego spektrum materiałów pochodzenia naturalnego. W literaturze stosowane są różne opisy tego materiału, natomiast wszystkie akceptowane przez międzynarodowe środowisko naukowe definicje warunkują, że biowęgiel musi być wytworzony z materiałów pochodze-

nia wyłącznie naturalnego (Ok i in. 2015, Schmidt i in. 2016). Niektóre publikacje uwzględniają wyłączenie wykorzystanie rolnicze i środowiskowe węgla, który może być nazywany biowęgłem (tab. 1). W tym kontekście za biowęgiel można uznać węgiel drzewny, jeśli zostanie on użyty do celów rolniczych lub środowiskowych, w przeciwieństwie do przeznaczenia go celów energetycznych (Lehmann i Joseph 2009). Niektóre źródła rozszerzają pojęcie biowęgla do materiału uzyskanego nie tylko w procesie beztlenowego rozkładu biomasy (pirolizy), ale także w wyniku niepełnego jej spalania w warunkach tlenowych (Keiluweit i in. 2010, Shackley i in. 2012, Schmidt i Taylor 2014, Schmidt i in. 2015, 2016 i 2017). Otrzymany tą metodą materiał nie odbiega jakościowo od biowęgla uzyskanych w warunkach beztlenowych. W celu sklasyfikowania materiału jako biowęgla, należy spełnić szereg wymogów dotyczących jego wyprodukowania na wszystkich poziomach łańcucha wartości. Substrat do produkcji biowęgla powinien być materiałem biologicznym pozyskanym w sposób zrównoważony (Shackley i in. 2012, Schmidt i in. 2016). Produkcja powinna odbywać się w sposób bezpieczny dla środowiska oraz zdrowia ludzi. Węgiel ma służyć wyłącznie do wykorzystania rolniczego lub środowiskowego, w celu poprawy jakości gleby, wody i powietrza. Temperatura wytwarzania powinna zamykać się w przedziale 350–700°C, chociaż niektóre opracowania wskazują na wyższą jakość węgla wytworzonego w temperaturach 700–1000°C (Al-Wabel i in. 2013). Biowęgiel może zostać wytworzony tylko z surowców organicznych, substrat musi być pozyskany w sposób zrównoważony, nieeksploatujący nadmiernie środowiska (Ok i in. 2015, Schimdt i in. 2016).

Tabela 1

Wybrane definicje biowęgla stosowane w fachowej literaturze (Ok i in. 2015)

Definicja	Uwagi specjalne	Źródło
Stały materiał uzyskany z termochemicznej konwersji biomasy w środowisku o ograniczonej zawartości tlenu	może być stosowany do gleby zarówno dla korzyści rolniczych, jak i środowiskowych	https://biochar-international.org/
Produkt bogaty w węgiel, otrzymywany gdy biomasa taka jak drewno, obornik lub liście jest ogrzewana w zamkniętym pojemniku przy minimalnym dostępie powietrza lub jego braku	biowęgiel jest wytwarzany przez rozkład materiału organicznego przy braku lub ograniczonej dostępności tlenu, w stosunkowo niskiej temperaturze (<700°C)	Lehmann i Joseph 2009
Stały, bogaty w węgiel produkt, uzyskany w wyniku termicznego rozkładu biomasy pochodzenia roślinnego, przy częściowym lub całkowitym braku tlenu	jest celowo stosowany do gleby; nie można go łatwo przywrócić do atmosfery w postaci dwutlenku węgla, nawet w sprzyjających warunkach środowiskowych i biologicznych	Sohi i in. 2009

cd. tab. 1

Definicja	Uwagi specjalne	Źródło
Biomasa, która została poddana pirolizie w środowisku o braku lub niskiej zawartości tlenu, zastosowana do gleby w określonym miejscu, w którym oczekuje się, że będzie w zrównoważony sposób pochłaniać węgiel i jednocześnie poprawiać funkcje gleby w ramach obecnego i przyszłego jej użytkowania, jednocześnie unikając krótko- i długoterminowych szkodliwych skutków dla środowiska, a także zdrowia ludzi i zwierząt	brak	Verheijen i in. 2010
Stałe pozostałości niepełnego spalania biomasy pochodzącej z roślin	brak	Keiluweit i in. 2010
Materiał biologiczny spalany w warunkach niskiego stężenia tlenu, w wyniku czego powstaje porowaty materiał o niskiej gęstości i wysokiej zawartości węgla	duża powierzchnia sorpcyjna i duża pojemność wymiany kationów biowęgla mają zdolność zatrzymywania nieorganicznych oraz organicznych zanieczyszczeń z gleby	Beesley i in. 2011
Porowata, uwęglona materia stała wyprodukowana poprzez termochemiczną konwersję materiałów organicznych w pozbawionej tlenu atmosferze, która posiada fizykochemiczne właściwości zapewniające bezpieczne i długoterminowe zachowanie węgla w środowisku	brak	Shackley i in. 2012

4. WYMAGANIA DOTYCZĄCE JAKOŚCI BIOWĘGLA ORAZ PROCES CERTYFIKACJI

W celu komercyjnej produkcji biowęgla warto jest uzyskać jeden z certyfikatów, np. EBC (ang. *European Biochar Certificate*) (Schmidt i in. 2016). Podstawowe wymagania dotyczące produkcji biowęgla to między innymi zakres temperatury produkcji od 350°C do 1000°C oraz niski poziom tlenu przy produkcji uzyskany poprzez przeprowadzenie pirolizy lub zgazowanie. W tym przypadku hydroliza, skoksowanie i toryfikacja nie są dozwolone (Schmidt i in. 2016). W czasie przemian termicznych biomasy wahania temperatury pirolizy powinny się mieścić w maksymalnym zakresie 20%. Okres produkcji jednej serii nie powinien przekraczać jednego roku. W celu uzyskania certyfikatu EBC wymagane jest także prowadzenie kompletnie-

go rejestru produkcji. Do produkcji biowęgla można stosować wyłącznie niezanieczyszczone chemicznie substraty organiczne. Źródłem substratu mogą być:

- lokalne usługi zbiórki odpadów z separacją odpadów, w tym odpady biodegradowalne poddane wcześniejszej separacji, odpady biodegradowalne z resztkami kuchennymi, liście drzew, pomijając odpady z czyszczenia ulic. Dopuszczone są także odpady ogrodowe, kwiaty, warzywa; korzenie – przy czym dołączona gleba jest uważana za dodatek i nie może stanowić więcej niż 10% suchej masy; zrębki z drzew, winorośli i krzewów, biomasa uzyskana z czynnej ochrony siedlisk, siano, trawa – tylko jeżeli nie nadają się już do użytku jako pasza dla zwierząt;
- rolnictwo i leśnictwo, np. resztki poźniwne, czyli słoma, plewy, omłot i pył; ziarno, pasze, owoce – tylko jako odpady, nienadające się już do spożycia przez ludzi i zwierzęta; ziarno i biomasa pozyskane z roślin przemysłowych uprawianych w celach energetycznych, jako zasoby odnawialne, przy czym biomasa powinna być pozyskana w sposób zrównoważony; kora, odłamki drewna, trociny, wióry, wełna drzewna – tylko z surowego drewna;
- produkcja warzyw obejmująca materiały z procesów mycia, czyszczenia, obierania, wirowania i oddzielania: masa celulozowa, pestki, łupiny, wysłodki lub wytłoki;
- materiał roślinny i zwierzęcy pozyskany ze środowiska wodnego: szuwały, wodorosty, osady, odpady rybackie; produkty uboczne pochodzenia zwierzęcego, takie jak: skóry, szczecina, pióra, włosy, kości, obornik. Należy uwzględnić krajowe przepisy dotyczące higieny oraz przeprowadzić analizę uzyskanego materiału na zawartość chloru oraz dioksyn;
- materiały z produkcji żywności i wyrobów cukierniczych: przeterminowane jedzenie i słodczyce, resztki z produkcji konserw, pozostałości przyprawowe, z produkcji skrobi ziemniaczanej, kukurydzianej lub ryżowej, z przetwórstwa mleczarskiego, pozostałości owoców, zbóż i ziemniaków, pozostałości destylacji alkoholu, moszcz, osady winiarskie, osad z produkcji win, tytoń, pył tytoniowy, odpady z produkcji herbaty i kawy; pozostałości melasy, pozostałości nasion oleistych, podłoża grzybowe, pozostałości ryb oraz skorupy jaj;
- produkcja papieru: osad z włókien papierowych – tylko z włókien drzewnych niepoddanych obróbce chemicznej, materiał opakowaniowy pochodzenia roślinnego, włókna bawełniane i drewniane – niewzbogacone chemicznie, wyłącznie pochodzenia naturalnego, nieobrobione;
- biogazownie: pozostałości z fermentacji biomasy do biogazu. Rośliny muszą być produkowane w sposób zrównoważony. Należy zadbać, aby odpady nieorganiczne, takie jak plastik, guma lub złom elektroniczny, zostały usunięte z substratu. Surowce muszą być wolne od farb, rozpuszczalników i innych zanieczyszczeń organicznych lub nieorganicznych. Przy stosowaniu upraw energetycznych, np. miskanta lub zagajników o krótkiej rotacji, należy zagwarantować, że były one uprawiane w sposób zrównoważony;

- biomasa leśna – wyłącznie jeśli zostaną zachowane odpowiednie normy, prawa lub certyfikaty, a dostawcy mogą potwierdzić prowadzenie zrównoważonej gospodarki leśnej.

Tylko biomasa uprawiana w Europie jest dozwolona jako surowiec do produkcji biowęgla w ramach certyfikatu EBC. Należy przechowywać pełną dokumentację wykorzystanych surowców. Certyfikat określa także warunki przeprowadzenia pirolizy. Piroliza biomasy musi się odbywać w procesie niezależnym energetycznie, przy czym gazy pirolityczne muszą być wykorzystane, nie mogą być uwolnione do atmosfery. Spalanie gazów pirolitycznych musi być zgodne z państwowymi wytycznymi dotyczącymi emisji gazów. Ciepło produkowane przez reaktor musi być natomiast poddane recyklingowi. Kolejnym warunkiem uzyskania certyfikatu jest wymóg poboru próbek do analizy. W tym celu należy ograniczyć wielkość partii biowęgla do ilości z jednego dnia produkcji, następnie wymieszać jednorodnie całą partię produktu przed poborem próbek. Należy pobrać 15 losowych próbek o objętości 1,5 dm³ z ujednoliconej partii biowęgla. Próbki muszą być poddane dokładnemu zmieleniu i wymieszaniu. Należy także pobrać 15 mniejszych próbek o objętości po 150 ml z wymieszanego i zmielonego biowęgla, które należy połączyć w jedną próbę zbiorczą i mieszać. Kontrolą i nadawaniem certyfikatów Europejskiego Certyfikatu Biowęgla – EBC zajmuje się w całej Europie niezależna, akredytowana przez rząd agencja „Bio-Inspecta” z siedzibą w miejscowości Frick w Szwajcarii. W celu przebadania składu wyprodukowanego biowęgla można także wysłać próby do akredytowanych laboratoriów na terenie Polski, jednakże nie możemy wtedy liczyć na uzyskanie certyfikatu. Zaznaczyć trzeba, że posiadanie certyfikatu EBC lub IBI (ang. *International Biochar Initiative*) może otworzyć przed producentem rynki europejskie i światowe. Posiadanie certyfikatu nie ma jednak znaczenia na rynku lokalnym i krajowym, na których główną rolę prawdopodobnie będzie odgrywała cena produktu. Producent musi jednak zagwarantować, że wytworzony przez niego biowęgiel nie będzie przekraczał norm krajowych poziomu zanieczyszczeń w substancjach, które mogą być wprowadzane do gleby. Certyfikat EBC obejmuje trzy typy biowęgla: „basic” „premium” i „feed”, różniące się dopuszczalną zawartością zanieczyszczeń, porowatością i możliwym przeznaczeniem (Schmidt i in. 2016). Na podstawie przeanalizowanych przez akredytowane laboratorium prób można określić, czy wyprodukowany materiał spełnia wymagania dotyczące składu chemicznego biowęgla różnych klas jakości. Biowęgiel klasy „basic” musi spełniać tylko podstawowe wymagania dotyczące składu chemicznego. Uzyskany materiał musi zawierać powyżej 50% węgla pierwiastkowego, a wahania w zakresie składu surowca w obrębie jednej partii produktu muszą się mieścić w maksymalnym zakresie 15%. Stosunek wodoru do węgla powinien wynosić <0,7 w stosunku molowym, natomiast stosunek tlenu do węgla <0,4, także w stosunku molowym. Konieczne jest zbadanie i podanie zawartości lotnych związków organicznych w materiale, a także wartości podstawowych składników odżywczych: azotu, fosforu, potasu,

magnezu i wapnia. W przypadku certyfikowanego biowęgla musi zostać spełnione kryterium maksymalnej zawartości metali ciężkich. Dla biowęgla klasy „basic”: $Pb < 150 \text{ g} \cdot \text{Mg}^{-1}$ suchej masy (SM); $Cd < 1,5 \text{ g} \cdot \text{Mg}^{-1}$ SM; $Cu < 100 \text{ g} \cdot \text{Mg}^{-1}$ SM; $Ni < 50 \text{ g} \cdot \text{Mg}^{-1}$ SM; $Hg < 1 \text{ g} \cdot \text{Mg}^{-1}$ SM; $Zn < 400 \text{ g} \cdot \text{Mg}^{-1}$ SM; $Cr < 90 \text{ g} \cdot \text{Mg}^{-1}$ SM. Dla biowęgla klasy „premium”: $Pb < 120 \text{ g} \cdot \text{Mg}^{-1}$ SM; $Cd < 1 \text{ g} \cdot \text{Mg}^{-1}$ SM; $Cu < 100 \text{ g} \cdot \text{Mg}^{-1}$ SM; $Ni < 30 \text{ g} \cdot \text{Mg}^{-1}$ SM; $Hg < 1 \text{ g} \cdot \text{Mg}^{-1}$ SM; $Zn < 400 \text{ g} \cdot \text{Mg}^{-1}$ SM; $Cr < 80 \text{ g} \cdot \text{Mg}^{-1}$ SM. Jeżeli zostaną zachowane zasady zrównoważonego pozyskania substratu do produkcji, nie ma ryzyka przekroczenia wskazanych zawartości metali ciężkich. Inaczej natomiast może być z czynnikami niezależnymi od substratu, ale od warunków wykonania pirolizy. Wymagane jest także spełnienie wymogu zbadania i podania wartości pH, wartości usypowej, zawartości wody i popiołu oraz powierzchni właściwej biowęgla. Wymienione cechy materiału mogą uzyskać niekorzystne wartości, jeżeli piroliza zostanie przeprowadzona w zbyt niskiej temperaturze lub w zbyt krótkim czasie. Proces pirolizy mieć może także wpływ na kryterium maksymalnej zawartości WWA – nie może przekraczać $12 \text{ mmg} \cdot \text{kg}^{-1}$ dla klasy „basic” oraz $4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ dla klasy „premium”. Określona jest również maksymalna zawartość PCB, która powinna być niższa niż $0,2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Dopuszczana jest także zawartość dioksyn i furanów niższa niż $20 \text{ ng} \cdot \text{kg}^{-1}$. Podane zawartości wynikają głównie z przepisów dotyczących wprowadzania różnych substancji do gleby. Biowęgiel klasy „feed” jest obłożony największymi wymaganiami dotyczącymi jakości, w związku z jego stosowaniem jako dodatek do pasz dla zwierząt. Przepisy UE dotyczące pasz określają ściśle ograniczenia dla obecności polichlorowanych dioksyn, dibenzofuranów i bifenyli, które są znacznie poniżej limitów rozporządzenia w sprawie ochrony gleby. Dlatego też każda partia biowęgla paszowego musi zostać poddana analizie pod kątem tych substancji (Schmidt i in. 2016). Jednocześnie akredytowana metoda badawcza musi mieć niższą granicę wykrywalności niż w przypadku biowęgla niższych klas. W związku z tym obowiązują tutaj specjalne metody badań i inne wartości graniczne dla biowęgla paszowego. Zakładając, że otrzymamy wartość 88% SM na 1 kg biowęgla, w przypadku PCDD i PCDF wartość dopuszczalna wynosi $0,5 \text{ ng} \cdot \text{kg}^{-1}$, a graniczna $0,75 \text{ ng} \cdot \text{kg}^{-1}$. W przypadku dl-PCB wartość dopuszczalna wynosi $0,35 \text{ ng}^{-1} \text{ kg}$. Dla PCDD/ PCDF + dl-PCB próg wynosi $1,25 \text{ ng} \cdot \text{kg}^{-1}$. Dla sumy wyżej wymienionych substancji obowiązuje górna wartość graniczna $10 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$. Zawartość fluoru nie może przekraczać $150 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Sole fluoru są zwykle lotne w warunkach pirolizy i prawie nie występują w biowęglach, jednak zgodnie z rozporządzeniem dotyczącym pasz wymagana jest ich analiza. Wymagana jest także specyfikacja suchej masy, zawartości popiołu surowego i popiołu nierozpuszczalnego w HCl, które są określone standardowymi wartościami przepisów paszowych UE, przez co muszą być podane na etykiecie produktu. Zawartość procentową popiołów należy określić przez spalanie w temperaturze 550°C . Wymagane wskazanie zawartości białka surowego, włókna surowego i stałego tłuszczu jest określone standardowymi wartościami przepisów UE dotyczą-

cych pasz. Surowe białko, surowe włókno i stały tłuszcz są całkowicie rozkładane w trakcie prawidłowo przeprowadzonej pirolizy i dlatego nie powinny być już obecne w biowęgla. Biowęgiel uważa się za całkowicie spirolizowany, jeśli stosunek $H:C_{org}$ wynosi $<0,7$, a jeżeli jest mniejszy, analiza surowego białka, włókna i tłuszczu nie jest już wymagana. Wyżej wymienione informacje są obowiązkowe i muszą być podane na etykiecie produktu. Dodatki są stosowane w celu poprawy warunków pirolizy i jakości biowęgla. Biowęgiel jako produkt może być wzbogacany w dodatki pochodzenia naturalnego, nieprzekraczające łącznie 10% spiroлизованей biomasy. Do dozwolonych w ramach certyfikatu dodatków należą: wapno, węgiel brunatny, bentonit, mąka skalna, glina, ił oraz gleba.

5. ŹRÓDŁA SUBSTRATU W GOSPODARSTWIE ROLNYM

O ile wymagania w ramach certyfikowania produkcji biowęgla jasno wskazują, jakie substraty mogą być wykorzystane, to nie obrazują one w pełni różnorodności i ilości dostępnego materiału na poziomie gospodarstwa. W tym celu należy prześledzić strukturę najczęściej reprezentowanego modelu gospodarstwa. Według GUS-u (2019), blisko 75% gospodarstw w Polsce posiada mniej niż 10 ha gruntów, z czego najwięcej jest gospodarstw o powierzchni od 1 do 5 hektarów. Produkcja zbóż przeważa w strukturze użytkowania, stanowiąc 72% zasiewów. W 2018 r. ponad 60% gospodarstw prowadziło wyłącznie produkcję roślinną (GUS 2019). W związku z powyższym, przeważają gospodarstwa małe, prowadzące produkcję roślinną, uprawiające głównie zboża. W tych warunkach, najłatwiej dostępnym substratem będzie słoma zbóż, ewentualnie roślin bobowatych, kukurydzy lub rzepaku. Przeciętny plon pszenicy wynosi w Polsce $4 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$, jednakże gospodarstwa niskotwarowe najczęściej osiągają wartość $2,5 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Stosunek masy ziarna do masy słomy jest bliski 1:1 dla pszenicy, 1:1,2 dla pszenżyta i 1:1,8 dla żyta. W związku z tym, z każdego pola możemy uzyskać pomiędzy 2,5 a 6 Mg słomy zbóż o przeciętnej zawartości suchej masy 85%. Przy prawidłowo przeprowadzonej pirolizie uzyskany biowęgiel powinien stanowić 20–30% wykorzystanego substratu (Antal i Gronli 2003), w związku z czym uzyskamy od 0,5 do 2 t węgla z ha upraw. Procesowi pirolizy może być także poddane niższej jakości ziarno oraz odwiane nasiona chwastów, dające kolejne kilkaset kilogramów substratu. Doskonałym źródłem biomasy jest słoma kukurydzy uprawianej na ziarno. Przeciętnie, kukurydza osiąga plon biomasy $40\text{--}60 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$, z czego ok. 20% stanowi sucha masa. W związku z tym możemy uzyskać 8–12 Mg substratu z jednego ha upraw kukurydzy, z którego można wytworzyć 1,6–4 Mg biowęgla. Resztki z kukurydzy mogą być zbyt wilgotne do przeprowadzenia pirolizy niskonakładowymi metodami, w związku z czym sugerowane jest poddanie ich wstępnemu podsuszeniu. Podobnie w przypadku słomy rzepakowej, także może wystąpić problem z jej nadmierną wilgotnością. Piroliza stosowana na przemysłową skalę nie wymaga idealnie suchego sub-

stratu, jednakże metody proponowane w bieżącej pracy opierają się na materiale suchym, takim jak do procesu spalania, to jest na poziomie wilgotności 15–25%. W wielu przypadkach resztki poźniwne będą wymagały uprzedniego podsuszenia w celu uzyskania wilgotności poniżej 20%. Uprawy roślin bobowatych pozostawiają po sobie znacznie mniej resztek niż uprawy zbóż, przeciętnie na poziomie 2–4 Mg·ha⁻¹·rok⁻¹. W zasadzie resztki poźniwne z każdej możliwej uprawy mogą zostać wykorzystane do produkcji biowęgla, jeżeli nie zawierają nadmiaru wilgoci. Innym źródłem biomasy może być siano z późno koszonych łąk oraz z wieloletnich odłogów. Przeciętnie pozyskiwany zbiór suchej masy wynosi pomiędzy 2 a 10 Mg·ha⁻¹, w związku z czym możemy uzyskać z takich użytków od 0,4 do 3 Mg biowęgla. Zaobserwowano, że suche pędy nawłoci zbierane wczesną wiosną są bardzo wydajnym substratem do produkcji biowęgla. Poza resztkami poźniwnymi i biomasą z gruntów marginalnych warto uwzględnić celowe uprawy roślin przemysłowych, zwłaszcza przeznaczonych na wykorzystanie energetyczne. Można z nich uzyskać 10–20 Mg SM·ha⁻¹·rok⁻¹, w związku z czym są one najbardziej wydajnym źródłem substratu. Najczęściej na terenie kraju jest uprawiana wierzba wiciowa (*Salix viminalis*). Na podobnym lub wyższym poziomie plonuje topola (*Populus × maximowiczii*) (Matyka i in. 2020, Stolarski i in. 2020). Podaną wysokość plonu uzyskują także niektóre byliny: słonecznik bulwiasty (*Helianthus tuberosus*) i rożnik przerośnięty (*Silphium perfoliatum*), a także trawy: miskant olbrzymi (*Miscanthus × giganteus*) i spartina preriowa (*Spartina pectinata*). Plony suchej masy wybranych gatunków podano w tabeli 2. Doskonałym materiałem do pirolizy są odpady po przycinkach sadowniczych. Wiele gospodarstw rolnych posiada grunty zalesione, które dostarczają substrat w formie resztek po zabiegach pielęgnacyjnych oraz odpadów z pozyskiwania drewna. Ilość substratu jest trudna do oszacowania, jednakże jest to materiał do produkcji biowęgla najlepszej jakości. Innym istotnym źródłem substratu mogą być zepsute pasze dla zwierząt, na przykład kiszonka, siano, zboże. Materiały te muszą być jednak wcześniej poddane suszeniu, a ich piroliza jest trudna do wykonania z przyczyn technicznych. W takim przypadku niewielkie dawki słabego substratu mogą być dodawane w trakcie pirolizy większych ilości materiałów lepszych. Przykładowo, w czasie pirolizy suchego drewna, która wytwarza nadmiar energii, można dodać niedosuszony materiał, odpady spożywcze, a nawet kości zwierząt. Konieczne jest dopilnowanie, żeby proces spalania lub pirolizy był napędzany własną energią oraz żeby materiały do niego dodane nie spowodowały znaczącego spadku temperatury. W przypadku metod pirolizy polegających na stosowaniu otwartych palenisk materiał potencjalnie osłabiający reakcję można dodać dopiero pod koniec procesu. W systemach pirolizy zamkniętej materiał taki powinien być dodany w jak najmniejszych proporcjach do materiału lepszego i jednorodnie z nim zmieszany.

Tabela 2

Przeciętne plony suchej masy wybranych roślin uprawianych na cele energetyczne oraz potencjalna ilość biowęgla możliwego do wyprodukowania z ich biomasy (opracowanie własne)

Gatunek rośliny energetycznej	Biomasa (Mg·ha ⁻¹ ·rok ⁻¹)	Ilość biowęgla (Mg)
Wierzba wiciowa (<i>Salix viminalis</i>)	10–20	2–6
Topole (<i>Populus</i> × <i>maximowiczii</i>)	10–20	2–6
Robinia akacjowa (<i>Robinia pseudoacacia</i>)	3–11	0,6–3,3
Klon jesionolistny (<i>Acer negundo</i>)	3–7	0,6–2,1
Róża wielokwiatowa (<i>Rosa multiflora</i>)	10–19	2,0–5,7
Ślaziovec pensylwański (<i>Sida hermaphrodita</i>)	9,5–18	1,9–5,4
Rożnik przerośnięty (<i>Silphium perfoliatum</i>)	13–26	2,6–5,8
Słonecznik bulwiasty (<i>Helianthus tuberosus</i>)	10–20	2–6
Słonecznik wierzbolistny (<i>Helianthus salicifolius</i>)	7–15	1,4–4,5
Rdestowiec sachaliński (<i>Reynoutria sachalinensis</i>)	6–12	1,2–3,6
Rdestowiec japoński (<i>Polygonum eupspidatum</i>)	6–12	1,2–3,6
Szczaw tianszański (<i>Rumex tianschanicus</i>)	14–16	2,8–4,8
Miskant (<i>Miskanthus</i> sp.)	15–20	3–6
Spartina preriowa (<i>Spartina pectinata</i>)	7–18	1,4–5,4
Palczatka Gerarda (<i>Andropogon gerardi</i>)	5–11	1,0–3,4
Proso różgowate (<i>Panicum virgatum</i>)	13–20	2,6–6,0
Perz wydłużony (<i>Agropyron elongatum</i>)	12–18	2,4–5,4
Wydmuchrzyca piaszkowa (<i>Leymus arenarius</i>)	10–15	2,0–4,5

6. METODY WYTWARZANIA BIOWĘGLA W GOSPODARSTWACH ROLNYCH

Węgiel wytworzony w procesach termicznych był obecny na ziemi tak długo, jak obecna jest roślinność. Powstawał on w wyniku pożarów lasów, stepów i innych formacji roślinnych. Był produktem niepełnego spalania resztek roślinnych spowodowanego opadem deszczu, zwiększoną wilgotnością, odcięciem tlenu lub spadkiem temperatury spalania. Takie zjawiska następują, gdy płonie cienka warstwa biomasy, umieszczona blisko powierzchni gleby. Płonący materiał szybko stygnie,

przez co nie dochodzi do zupełnego spalania biomasy (Tryon 1948). Proces ten jest mało wydajny i pozostawia po sobie kilka procent węgla z biomasy, podczas gdy wydajność pirolizy powinna wynosić ok. 30% (Antal i Gronli 2003). Pozostałości węgla drzewnego wytworzonego przez człowieka współczesnego oraz jego przodków są datowane na dwa miliony lat. Pochodzą z niedopalonego drewna używanego do ogrzewania pomieszczeń i przyrządzania żywności (Bard 2001, Antal i Gronli 2003). Większe ilości węgla drzewnego zaczęły być produkowane wraz z upowszechnieniem się metalurgii, w której był on surowcem energetycznym, ok. 5 tys. lat temu (Antal i Gronli 2003). Węgiel był wytwarzany w kopcach lub zagłębieniach w glebie. Te metody pozwalały na uzyskanie wydajności ok. 25%, jednakże nie ma dowodów, że był on przeznaczany na cele rolnicze (Antal i Gronli 2003). Prymitywne metody wytwarzania węgla drzewnego mogą z powodzeniem być stosowane w małych gospodarstwach rolnych, nieposiadających środków na zakup infrastruktury. W celu umożliwienia produkcji biowęgla dla takich podmiotów opracowano niskonakładową metodę produkcji w 2014 r. w Ithaka Institute w Szwajcarii (Schmidt i Taylor 2014, Cornelissen i in. 2016, Schmidt i in. 2016). Metoda została nazwana „Kon-Tiki”, na część słynnej wyprawy żeglarskiej z 1947 r. Założeniem tej metody wytwarzania węgla jest kontrolowane spalanie biomasy. Jest ono przeprowadzane w zagłębieniu w glebie w kształcie leja lub w specjalnie do tego celu zbudowanym kontenerze ze stali. Przykładowe wymiary takiego obiektu to 1 m głębokości i 2 m szerokości, przez co uzyskujemy objętość ok. 1 m³ (rys. 1–7). Materiał do tego procesu musi być możliwie jak najlepiej podsuszony. Dopływ tlenu jest ograniczany z boku przez ściany leja, natomiast z góry przez kolejne dodawane warstwy biomasy (Schmidt i in. 2014). Proces rozpoczyna się poprzez wypełnienie leja w ¼ objętości luźnymi gałęziami lub innym łatwopalnym materiałem. Biomasa powinna być podpalana z góry, inaczej niż w przypadku podpalania ogniska i powinna palić się czystym, intensywnym płomieniem, możliwie bez udziału dymu. Dym pojawia się, gdy biomasa jest podgrzewana od dołu i oznacza on ulatnianie się gazów, które powinny być spalane. Materiał podpalony od góry spala się czysto i nie emituje zanieczyszczeń. Zanim ogień z podpalonej biomasy zaniknie, należy dodać kolejną partię materiału. Materiał jest dodawany w momencie, gdy zaczyna słabnąć spalanie poprzedniej warstwy, a drewno zamienia się w czerwony, kruszący się żar. Dopóki są obecne płomienie, dochodzi do spalania gazów i olejów zawartych w drewnie. W ostatnim etapie spalania nie ma obecnych płomieni, pozostaje już tylko gorący żar. W tym etapie zostały wyparte już gazy pizolityczne i zaczyna być tracony węgiel. Kolejna porcja materiału powinna być dodana w momencie, kiedy z poprzedniej pozostał już tylko żar i pojedyncze małe płomienie. Wielkość kolejnych porcji substratu jest zależna od grubości jego frakcji. Jeżeli substratem są gałęzie o grubości do 3 cm, pozostały materiał może zostać dodany w kilku rzutach, aż do wypełnienia całego leja. Jeżeli jednak jest wykorzystywany materiał o frakcji grubej, pomiędzy 3–15 cm, powinien on być dodawany stopniowo, po kilka polan co kilkanaście mi-

nut lub większe partie co pół godziny. W trakcie procesu należy zapewnić odpowiednie warunki, by spalały się głównie gazy zawarte w drewnie, a nie ciało stałe. Nie należy doprowadzić do nadmiernego skumulowania się materiału, ponieważ dojdzie do jego podgrzania bez spalania gazów pirolitycznych, co spowoduje stratę energii oraz emisję zanieczyszczeń. Drewno można dodać w momencie, gdy poprzednia partia prawie zupełnie zamieniła się w żar, ale jeszcze występują duże płomienie. W przypadku grubego drewna zabiera to około pół godziny. Nierozdrobnione drewno w postaci podsuszonych gałęzi przechodzi w żar w ciągu kilku minut. Po dodaniu ostatniej partii materiału, należy odczekać do momentu zaniknięcia płomieni, które oznaczają obecność gazów w materiale. W momencie, gdy cała biomasa zostanie przepalona, pozostaje tylko kruchy, emitujący ciepło żar, stopniowo pokrywający się cienką warstwą szarego popiołu. W tym etapie spalania nie ma już obecnych gazów i olejów, spalane jest natomiast ciało stałe składające się głównie z pierwiastkowego węgla. Jest to moment przerywania reakcji, ponieważ w tym momencie zaczyna dochodzić do starty cennego węgla. Reakcję należy przerwać poprzez zagaszenie ogniska wodą. Zagaszenie 1 m³ żaru może pochłonąć od 50 do 150 litrów wody. Jest to zdecydowanie najlepsza metoda zakończenia procesu, ponieważ taki węgiel jest natychmiast gotowy do użycia. Gęstość samego biowęgla wynosi 200–250 kg·m³, jednakże może on zwielokrotnić swoją masę poprzez nasączenie wodą (Schmidt i Taylor 2014).



Rys. 1. Piroliza zrębek drzewnych w zagłębieniu ziemnym; Etap I – początek procesu (fot. P. Radzikowski)



Rys. 2. Piroliza zrębek drzewnych w zagłębieniu ziemnym; Etap II – stopniowe dodawanie biomasy
(fot. P. Radzikowski)



Rys. 3. Piroliza zrębek drzewnych w zagłębieniu ziemnym; Etap III – węgiel gotowy do zagaszenia
(fot. P. Radzikowski)

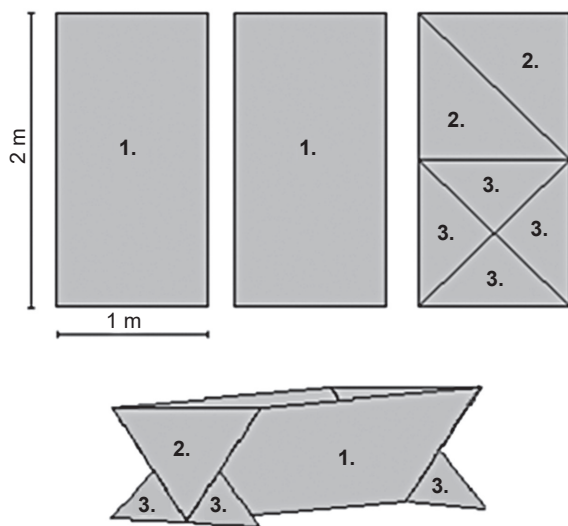
Reakcję można przerwać przez odcięcie dopływu powietrza warstwą gleby lub arkuszem blachy. Nie jest to rekomendowana metoda, ponieważ każda nieszczelność może spowodować stratę większości materiału, który dodatkowo utrzyma wysoką temperaturę. Ustanie reakcji i obniżenie temperatury do bezpiecznego poziomu może zająć ponad dobę. Węgiel zagaszany przez odcięcie powietrza ma także

gorsze właściwości od gaszonego wodą oraz silnie się pyli, przez co jest uciążliwy w użyciu. Materiał jest także bardziej zanieczyszczony glebą. Przeprowadzając proces w metalowym kontenerze (rys. 6), nie mamy problemu z obecnością gleby w materiale, natomiast reakcję można skutecznie zatrzymać, tylko dodając wodę. Niektóre stalowe kontenery pozwalają na zaaplikowanie wody od dołu, przez co proces gaszenia nie jest tak gwałtowny (Schmidt i Taylor 2014). Za pomocą tej metody można także przetwarzać inne frakcje drewna. Zrębki drzewne są jedną z najłatwiej dostępnych form biomasy. Przetworzenie ich na węgiel jest jednak dosyć trudne i wymaga większej wprawy niż w przypadku luźnego materiału. Poprzez tworzenie nieprzepuszczalnej dla powietrza warstwy, trudne jest dostarczenie tlenu do reakcji, w związku z czym występuje dużo większe ryzyko emisji zanieczyszczeń. Trudniejsze jest także uzyskanie czystego spalania. W opracowaniach dotyczących omawianej metody, materiały takie jak zrębki w ogóle nie są zalecane (Schmidt i Taylor 2014, Schmidt i in. 2016). Jednakże, przy zachowaniu szczególnej ostrożności, możliwe jest uzyskanie z nich węgla. Zrębki muszą być możliwie dobrze wysuszone. Reakcję należy zacząć od lepszego materiału, np. gałęzi, w celu osiągnięcia odpowiedniej temperatury. Zrębki należy dodawać bardzo małymi porcjami, zaczynając od objętości kilku dm³, stopniowo ją zwiększając. Zrębki muszą być dosypywane warstwami nieprzekraczającymi grubości 3 cm, w celu jak najszybszego ich podgrzania i objęcia płomieniami. Nie można zasypać całej powierzchni paleniska, zawsze jego część muszą stanowić płomienie. Płomień musi się przemieszczać od miejsca wolnego od zrębek do miejsca, gdzie zostały dodane, jednocześnie substrat należy uzupełniać w miejscach, gdzie ogień się wypalił. Ogień musi być obecny w trakcie trwania całego procesu, ponieważ zapewnia on usunięcie zanieczyszczeń wytworzonych w trakcie termicznych przemian materiału. Podobnie jak w przypadku innych substratów – należy unikać emisji dymu. W sytuacji, gdy dodane zostanie zbyt dużo substratu, płomień może zaniknąć i jednocześnie dojdzie do silnej emisji dymu spowodowanej pirolizą biomasy podgrzewanej od dołu. Jest to najgorszy możliwy scenariusz, ponieważ wytworzony w ten sposób biowęgiel może zawierać poziom zanieczyszczeń znacznie przekraczający normy materiałów dozwolonych do wprowadzenia do gleb. W takiej sytuacji można przemieszczać palenisko za pomocą wideł lub łopaty w celu wywołania płomieni. Jeżeli temperatura jest zbyt niska, należy podpalić biomasę od góry za pomocą łatwopalnego materiału. Emitowane z dymem gazy powinny także ulec zapaleniu. Jeżeli płomień osiągnął zadowalający rozmiar, można kontynuować dodawanie substratu małymi dawkami. Tą metodą możliwe jest także zwęglenie siana i słomy. Reakcję można rozpocząć od niewielkiej porcji słomy, ok. 1–2 kg. Słoma pali się bardzo intensywnie, w związku z czym konieczne jest szybkie dodawanie kolejnych warstw. Partie substratu mogą być stopniowo zwiększane, nie należy jednak przekraczać grubości 10 cm luźnej warstwy słomy, ponieważ może ona stłumić płomień i spowodować silne zadymienie. Należy upewnić

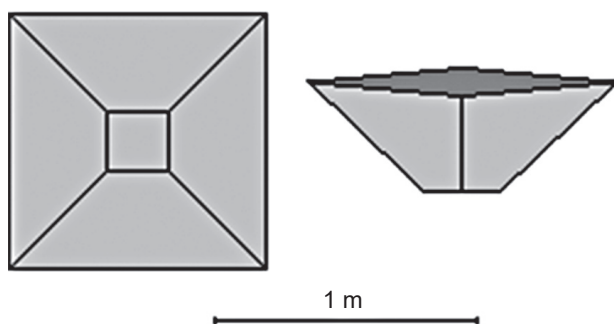
się, że słoma lub siano mają luźną strukturę. Próba zwęglenia w całości sprasowanych paczek oraz bel mija się z celem. Baloty i paczki muszą zostać rozebrane i podzielone na małe porcje o grubości do 10 cm. Słoma zbóż i innych upraw jest najłatwiej dostępnym substratem do produkcji biowęgla, jednak jej przetwarzanie sprawia dużo więcej trudności niż w przypadku drewna. Niemniej jednak opanowanie przynajmniej prymitywnych metod pirolizy pozwoli na znaczące zwiększenie się wartości tego materiału. Stosując powyższą metodę, rolnik ponosi jedynie koszt dodatkowej pracy poświęconej na produkcję biowęgla. Przy użyciu drobniejszej frakcji drewna, takiej jak gałęzie lub całe krzewy, wyprodukowanie 1 m³ biowęgla zajmuje ok. 2–3 osobogodzin, natomiast wyprodukowanie 1 t biowęgla wymaga prawdopodobnie 10–15 osobogodzin. Wykorzystanie grubszej frakcji drewna zajmuje 3–4 osobogodziny·m⁻³ i 16–24 osobogodzin·t⁻¹. Przetwarzanie innych rodzajów biomasy zajmuje od 2 do 3 osobogodzin·m⁻³ i do 15 osobogodzin·t⁻¹. Wydajność procesu wynosi 20–25%, w związku z czym trzeba użyć 1000 kg drewna lub innej biomasy na 1 m³ węgla i ok. 4–5 Mg substratu·t⁻¹ produktu. Zaznaczyć trzeba, że pomimo uzyskania biowęgla bardzo dobrej jakości, nie będzie można uzyskać certyfikatu z takiej produkcji, gdyż nie jest możliwe spełnienie kilku podstawowych wymogów organizacyjnych, m.in. wymogu odzyskania ciepła z reakcji. Węgiel taki może być przeznaczony do użytku własnego w obrębie gospodarstwa oraz do sprzedaży na rynku lokalnym (Schmidt i in. 2015 i 2016).



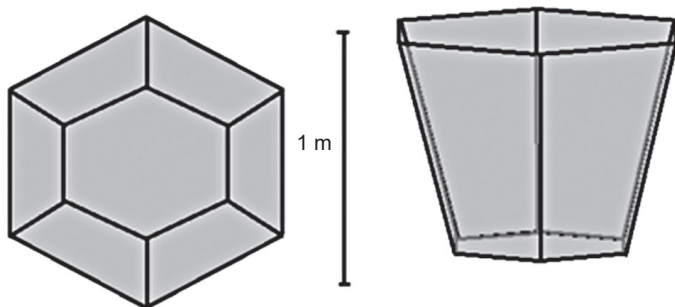
Rys. 4. Węgiel wyprodukowany w metalowych kotłach typu „Kon-Tiki”
(<https://www.thebiocharrevolution.com/>)



Rys. 5. Schemat trójkątnego kotła z podporami o pojemności 1 m^3 wykonanego z trzech arkuszy blachy 5 mm (opracowanie własne)



Rys. 6. Schemat czworokątnego kotła typu „Kon-Tiki” (opracowanie własne)



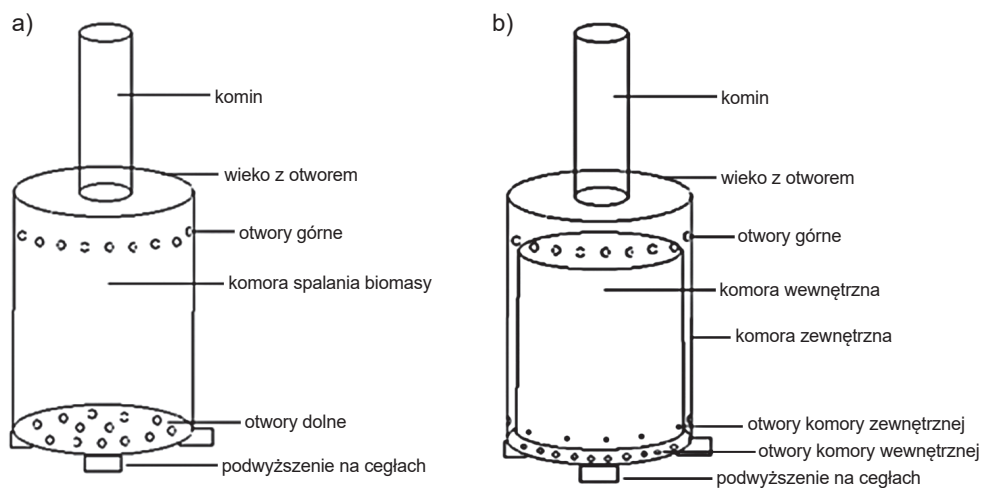
Rys. 7. Schemat sześciokątnego kotła typu „Kon-Tiki” (opracowanie własne)

Inną niskonakładową metodą produkcji węgla jest piroliza w metalowym cylindrze wykonanym z beczki (rys. 8–9). Do tego celu najlepiej nadaje się stalowa beczka, odzyskana po produktach spożywczych lub oleju silnikowym, którą uprzednio należy wyczyścić. Beczka musi być zmodyfikowana na cele produkcji węgla. W dnie beczki należy wybić lub wywiercić otwory pozwalające na swobodny przepływ powietrza. Liczba otworów zależy od ich wielkości. Przykładowo, można wywiercić 20 otworów o średnicy jednego centymetra lub mniejszą ich liczbę, ale o większej średnicy. Otwory należy także wywiercić w ścianach beczki, na wysokości $\frac{2}{3}$ lub $\frac{3}{4}$ jej górnej krawędzi. W tym miejscu liczba otworów może być mniejsza, od 4 do 10. Otwory w górnej części beczki mają za zadanie dostarczyć powietrze w celu uzyskania czystego spalania gazów pirolitycznych. W wieku beczki należy wyciąć otwór o średnicy standardowego przewodu kominowego w celu założenia krótkiego komina, o długości ok. 1 m. Komin można przyspawać do wieka beczki, ale nie jest to konieczne. Do beczki można przyspawać również uchwyty w celu łatwiejszej manipulacji. Zmodyfikowana beczka musi znajdować się na kilkunastu centymetrowym podwyższeniu, aby ułatwić dostęp powietrza do systemu. Beczkę można postawić na kilku ceglach, klockach drewnianych lub profilach stalowych. Następnie powstała instalacja jest wypełniana biomasą. Biomasa powinna być możliwie sucha, zawierająca 15–20% wilgotności. Ta metoda wymaga użycia niezbyt rozdrobionej biomasy, a powietrze musi zajmować ok. $\frac{1}{3}$ do $\frac{1}{2}$ objętości wsadu. W ten sposób można zwęgląć drewno do grubości 5 cm, w 20–30 cm kawałkach, połamane gałęzie, pędy i kolby kukurydzy, a także słomę, pod warunkiem, że nie jest ona ciasno sprasowana. Całkowite zwęglenie materiałów, takich jak: zrębki, sieczka, plewy czy ziarno, nie jest możliwe za pomocą tej metody, ponieważ nie ma możliwości dostarczenia wystarczającej ilości tlenu ani ciepła do pełnej konwersji biomasy. Materiał taki można jednak dodać w umiarkowanych ilościach do grubszej frakcji, upewniając się, że nie zatamuje on przepływu powietrza pomiędzy otworami w dnie a kominem. Wypełnioną substratem beczkę należy podpalić od góry, pozwalając na dobre rozpalenie się paleniska. Powinno dojść do względnie czystego spalania bez obecności dymu. W momencie, gdy płomień nie jest już zagrożony przygaśnięciem, należy nałożyć wieko z kominem. Wieko nie musi przylegać ciasno do beczki, w niektórych projektach jest ono umieszczone na nieznacznym podwyższeniu, w celu dostarczenia tlenu do reakcji. Komin może być przyspawany do wieka lub po prostu postawiony na jego górnym otworze. Zaznaczyć trzeba, że szczelne zamknięcie wieka oraz przyspawanie komina zwiększą sztywność konstrukcji, która mogłaby rozpaść się pod wpływem podmuchu wiatru. Po założeniu komina, powstaje silny ciąg powietrza, które dostaje się otworami w bokach beczki i w jej dnie. Reakcja powinna przebiegać szybko, bez obecności dymu. W wylocie komina może być widoczny płomień. Ciepło w instalacji przemieszcza się z góry na dół, przy czym stalowa blacha osiąga wysoką temperaturę. Może dochodzić do odstawania farby z beczki oraz do rozgrzania się stali do czerwoności. Postęp pirolizy można śledzić

za pomocą spryskiwania wodą boków beczki. Jeżeli reakcja dojdzie do dna beczki, należy odczekać jeszcze kilka minut, następnie zdjąć komin i wieko. Jeżeli wciąż obecne są płomienie, należy nałożyć wieko z powrotem lub odczekać, aż płomienie zanikną. Żarzący się węgiel, który jest pozbawiony płomieni, powinien wypełniać od ok. $\frac{1}{4}$ do $\frac{1}{2}$ objętości beczki. Zawartość beczki należy zagasić niewielką ilością wody lub przesypać do drugiej beczki i szczelnie zamknąć. Należy pamiętać o stosowaniu grubych, żaroodpornych rękawic, ponieważ komin, wieko i sama beczka osiągają bardzo wysoką temperaturę. Po opróżnieniu, cylinder jest gotowy o ponownego użycia. Uzyskiwana wydajność wynosi 25–40% w stosunku do zastosowanego substratu. W zależności od zastosowanego materiału reakcja trwa od 20 do 60 min. Modyfikacją wyżej opisanego pieca jest zastosowanie dwóch komór spalania. Różnica polega na tym, że do opisanej powyżej instalacji dodawana jest druga, wewnętrzna komora. Składa się ona z mniejszej beczki, w której jest zamknięta biomasa. Na dolnej stronie małej beczki należy wybić co najmniej 6 małych otworów pozwalających na ujście gazów. Należy także zwiększyć liczbę lub wielkość otworów w dużej beczce. Biomasa jest wprowadzana zarówno do małej, jak i dużej komory, tak by otaczała mniejszą beczkę z boków i z góry. Podobnie jak w przypadku poprzedniej metody biomasa jest podpalana od góry. Biomasa znajdująca się w dużej komorze ulega całkowitemu spalaniu. Służy ona jedynie podgrzaniu mniejszej komory, w której powstaje węgiel. Biomasa znajdująca się w mniejszej beczce zaczyna wydzielać pirolityczne gazy, które także ulegają spalaniu. Spalane gazy podtrzymują proces pirolizy jeszcze na długo po wypaleniu biomasy w dużej beczce. Cały proces może trwać od jednej do kilku godzin. Zaletą tej metody jest brak konieczności nadzoru procesu po etapie podpalenia i założenia komina. W niektórych przypadkach występuje jednak konieczność uzupełniania paliwa w dużej komorze. Dzieje się tak np. w przypadku, gdy wewnętrzna beczka jest zbyt duża, przez co nie było możliwości wyłożenia wokół niej wystarczającej ilości biomasy. Proces zatrzymuje się samoistnie po wyczerpaniu paliwa. Uzyskanego węgla nie trzeba gasić, ponieważ nie dojdzie do strat materiału z małej komory. Mniejszą beczkę można pozostawić na kilka godzin do ostygnięcia lub zagasić i napełnić ponownie. Proces może być także wznowiony poprzez usunięcie mniejszej beczki i zastąpienie jej następną.



Rys. 8. Przykładowe piece do pozyskiwania węgla z biomasy (<https://tinkersblessing.com>)



Rys. 9. Schemat pieca jednokomorowego (a) i dwukomorowego (b) (opracowanie własne)

7. WYKORZYSTANIE BIEWĘGLA W PRODUKCJI ROLNICZEJ

Biowęgiel posiada znaczny potencjał poprawy jakości fizycznych, chemicznych i biologicznych gleby (Lehmann i Joseph 2009). Duża porowatość tego materiału pozwala na zatrzymanie znacznej ilości wody, która wynosi 4–5-krotność jego masy. W związku z tym odpowiednio duża dawka biowęgla może wpłynąć na pojemność wodną gleby. Inną właściwością biowęgla jest duża możliwość adsorpcji chemicznej i fizycznej zanieczyszczeń, co znacząco wpływa na ochronę wód przez eutrofizacją (Laird 2008). Biowęgiel posiada liczne grupy funkcyjne, które łączą się z azotem, zwłaszcza w formie amonowej (Hua i in. 2009, Verheijen i in. 2010). Dzięki temu tłumiony jest fetor z nawozów naturalnych oraz możliwe jest zapobieganie stratom azotu i zwiększenie efektywności jego wykorzystania (Major i in. 2009, Van Zwieten i in. 2009, Major 2010). Biowęgiel ogranicza wymywanie składników pokarmowych w glebach oraz zwiększa pojemność wymiany kationowej (Blackwell i in. 2007 i 2009, Asai i in. 2009). Materiał ten ma zasadowy odczyn $\text{pH} = 5\text{--}12$, dzięki czemu może być stosowany w zastępstwie wapna nawozowego (Yamane i Green 1972, Karananidi i in. 2020). Wprowadzenie dużej ilości węgla do gleb powoduje przyrost materii organicznej i zwiększenie ich potencjału produkcyjnego (Smernik 2009). Węgiel uzyskany w wysokich temperaturach i wprowadzony do gleby posiada dużą trwałość, nawet do kilku tysięcy lat (Bard 2001, Skjemstad i in. 2002, Laird 2008). W przeciwieństwie do próchnicy glebowej nie ulega on degradacji w wyniku zakwaszenia, przesuszenia i zabiegów uprawnych. Porowata struktura biowęgla zapewnia siedlisko życia dla pożytecznych mikroorganizmów, w tym bakterii wiążących wolny azot z powietrza (Rondon i in. 2007). Bakterie wykorzystują biowęgiel także jako źródło elektronów potrzebnych w ich metabolizmie. Pomimo licznych korzyści wynikających z zastosowania biowęgla w glebach, jego użycie powinno uwzględniać pewne środki ostrożności. Biowęgiel stosowany na krótko po jego uzyskaniu jest materiałem jałowym, pozbawionym substancji organicznej. Uwzględniając ten fakt, należy unikać stosowania większych ilości biowęgla bezpośrednio do gleby, ponieważ może on unieruchomić azot potrzebny roślinom. Szacowane jest, że niewielkie ilości biowęgla ($1\text{--}2 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$) nie będą miały żadnych negatywnych skutków związanych z immobilizacją azotu. Z drugiej strony, korzyści związane z jego obecnością będą pojawiały się stopniowo w kolejnych latach, gdy zostanie osiągnięty poziom co najmniej $5\text{--}10 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Blackwell i in. 2007 i 2009, Schmidt i in. 2015). Metodą przynoszącą szybszy efekt jest zastosowanie 10 Mg biowęgla jako dodatku do 40 Mg obornika lub 40 m^3 naturalnych nawozów płynnych. Przy zastosowaniu biowęgla wraz z nawozami naturalnymi można uzyskać plon nawet kilkukrotnie większy niż przy zastosowaniu samych tylko nawozów (Schmidt i in. 2015). Biowęgiel może być także stosowany w towarzystwie mineralnych nawozów azotowych. W zależności od dawki biowę-

gła, można by stosować coraz większe dawki azotu, który będzie stopniowo uwalniany w kolejnych miesiącach i latach. Pomimo że biowęgiel stosowany w dużej ilości zapobiega stratom azotu z gleby, nie należy przekraczać dozwolonej dawki nawozowej $160 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Zapobieganie stratom azotu można wykorzystać już na etapie składowania nawozów naturalnych, takich jak obornika czy gnojowicy. W zależności od warunków składowania, tracone jest z nich ok. 20% azotu (1 kg na każdą tonę obornika), głównie w formie amonowej. Można temu zapobiec, stosując 1 t biowęgla na 4–10 Mg obornika. Biowęgiel można stosować także jako dodatek do ściółki zwierząt, co znacząco zmniejszy emisję amoniaku i poprawi warunki bytowe zwierząt gospodarskich (Dias i in. 2009). Biowęgiel klasy „feed” powinien być także dodawany do pasz w ilościach 0,5% dla bydła oraz 5% dla trzody i drobiu. Dodawany do pasz zapobiega zatruciom pokarmowym i biegunkom oraz zmniejsza emisję amoniaku z odchodów. Nie zaleca się jednak stosować jako dodatku do pasz biowęgla wyprodukowanego proponowanymi powyżej metodami, ponieważ występuje ryzyko nieuzyskania wystarczającej jakości produktu. W tym przypadku należy ograniczyć się do wykorzystania go w ściółkowaniu i składowaniu obornika. Duży potencjał przedstawia także możliwość wykorzystania węgla w procesie kompostowania, ze względu na ograniczenie fetoru i zachowanie większej ilości azotu w produkcie końcowym (Ogawa 2009). Zaznaczyć trzeba, że biowęgiel sam w sobie nie jest nawozem, natomiast może być taktowany jako nośnik składników pokarmowych. Zawiera on pewną ilość przyswajalnych form fosforu, potasu, wapnia i magnezu, pochodzących z biomasy. Bardzo niska jest natomiast zawartość azotu i siarki, które należy dostarczyć z zewnątrz. Najważniejszą cechą tego materiału jest duża zawartość węgla, która powinna stanowić 80–90% masy całkowitej. Suchy biowęgiel charakteryzuje się dużą pylistością, w związku z czym powinien być stosowany z niewielkim dodatkiem wody. Może być także aplikowany za pomocą doglebowego siewnika nawozowego – takiego jaki wykorzystywany jest w siewie pasowym. Najlepszym sposobem zastosowania jest wspomniane wcześniej wymieszanie biowęgla z nawozami naturalnymi (Major 2010).

8. PODSUMOWANIE

1. W gospodarstwie rolnym można uzyskać do 2 Mg biowęgla z każdego hektara, wykorzystując resztki poźniwne. Z upraw roślin przeznaczonych na cele energetyczne można uzyskać do 5 Mg biowęgla $\cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$.
2. Biowęgiel można wytworzyć niskonakładowymi metodami, wykorzystując piroлизę i kontrolowane spalanie biomasy.
3. Biowęgiel ma duży potencjał w ograniczaniu strat azotu oraz w poprawie jakości gleb.

9. LITERATURA

1. Al-Wabel M.I., Al-Omran A., El-Naggar A.H., Nadeem M., Usman A.R.: Pyrolysis temperature induced changes in characteristics and chemical composition of biochar produced from conocarpus wastes. *Bioresource technology*, 2013, **131**: 374-379.
2. Antal M.J., Gronli M.: The art, science, and technology of charcoal production. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2003, **42**: 1619-1640.
3. Asai H., Samson B.K., Stephan H.M., Songyikhangsuthor K., Homma K., Kiyono Y., Inoue Y., Shiraiwa T., Horie T.: Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Field Crops Research* 2009, **111**: 81-84.
4. Bard E.: Extending the calibrated radiocarbon record. *Science*, 2001, **292(5526)**: 2443-2444.
5. Beesley L., Moreno-Jiménez E., Gomez-Eyles J.L., Harris E., Robinson B., Sizmur T.: A review of biochars' potential role in the remediation, revegetation and restoration of contaminated soils. *Environmental Pollution*, 2011, **159(12)**: 3269-3282.
6. Blackwell P., Riethmuller G., Collins M.: Biochar application to soil (Chapter 12). In: *Biochar for environmental management: Science and technology*, J. Lehmann, S. Joseph (eds). Earthscan, London, UK, 2009, pp. 207.
7. Blackwell P., Shea S., Storer P., Kerkmans M., Stanley I.: Improving wheat production with deep banded oil mallee charcoal in Western Australia. Talk given at the International Agrichar Conference, April 27-May 2, 2007, Terrigal, NSW Australia.
8. Buringh P.: Organic carbon in soils of the world. In *The role of terrestrial vegetation in the global carbon cycle: Measurement by remote sensing* New York: Wiley, 1984, **23**: 91-109.
9. Chan K.Y., Van Zwieten L., Meszaros I., Downie A., Joseph S.: Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Australian Journal of Soil Research*, 2007, **45(8)**: 629-634.
10. Cornelissen G., Pandit N.R., Taylor P., Pandit B.H., Sparrevik M., Schmidt H.P.: Emissions and char quality of flame-curtain "Kon Tiki" Kilns for Farmer-Scale charcoal/biochar production. *PloS one*, 2016, **11(5)**, e0154617.
11. Dias B.O., Silva C.A., Higashikawa F.S., Roig A., Sanchez-Monedero M.A.: Use of biochar as bulking agent for the composting of poultry manure: Effect on organic matter degradation and humification. *Bioresource Technology*, 2009, **101**: 1239-1246.
12. Gaskin J.W., Speir R.A., Harris K., Das K.C., Lee R.D., Morris L.A., Fisher D.S.: Effect of Peanut Hull and Pine Chip Biochar on Soil Nutrients, Corn Nutrient Status, and Yield. *Agronomy Journal*, 2010, **102**: 623-633.
13. Glaser B., Haumaier L., Guggenberger G., Zech W.: The 'Terra Preta' phenomenon: A model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissenschaften*, 2001, **88**: 37-41.
14. Glaser B., Lehmann J., Zech W.: Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoals – a review. *Biology and Fertility of Soils*, 2002, **35**: 219-230.
15. GUS 2019. Rolnictwo w 2019 roku. Główny Urząd Statystyczny; www.stat.gov.pl (data dostępu 22.04.2021).
16. Hua L., Wu W.X., Liu Y.X., McBride M., Chen Y.X.: Reduction of nitrogen loss and Cu and Zn mobility during sludge composting with bamboo charcoal amendment. *Environmental Science and Pollution Research*, 2009, **16**: 1-9.

17. International Biochar Initiative; <https://biochar-international.org/> (data dostępu 15.12.2020).
18. K a r a n a n i d i P., Som A.M., Loh S.K., Bachmann R.T.: Flame curtain pyrolysis of oil palm fronds for potential acidic soil amelioration and climate change mitigation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2020, **8(4)**, 103982.
19. K e i l u w e i t M., Nico P.S., Johnson M.G., Kleber M.: Dynamic molecular structure of plant biomass-derived black carbon (biochar). *Environmental science & technology*, 2010, **44(4)**: 1247-1253.
20. L a i r d D.A.: The charcoal vision: a win-win-win scenario for simultaneously producing bioenergy, permanently sequestering carbon, while improving soil and water quality. *Agronomy Journal*, 2008, **100(1)**: 178-181.
21. L e h m a n n J., Joseph S.: Biochar systems. *Biochar for environmental management: science and technology*, 2009, p. 147-168.
22. M a j o r J.: Guidelines on practical aspects of biochar application to field soil in various soil management systems. International Biochar Initiative, 2010, **8**: 5-7.
23. M a j o r J., Steiner C., Downie A., Lehmann J.: Biochar effects on nutrient leaching (Chapter 15). In: *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*, J. Lehmann, S. Joseph (eds). Earthscan, London, UK, 2009, pp. 271.
24. M a t y k a M., Radzikowski P.: Productivity and biometric characteristics of 11 varieties of willow cultivated on marginal soil. *Agriculture*, 2020, **10(12)**, 616.
25. N o v a k J.M., Busscher W.J., Laird D.L., Ahmedna M., Watts D.W., Niandou M.A.S.: Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil. *Soil Science*, 2009s, **174**: 105-112.
26. O g a w a M.: Charcoal use in agriculture in Japan. Keynote address, 1st Asia Pacific Biochar Conference, 17–20 May 2009, Gold Coast, Australia.
27. O k Y.S., Uchimiya S.M., Chang S.X., Bolan N. (eds): *Biochar: Production, characterization, and applications*. CRC press, 2015, pp. 438.
28. R o n d o n M.A., Lehmann J., Ramirez J., Hurtado M.: Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions. *Biology and Fertility of Soils*, 2007, **43**: 699-708.
29. R u m p e l C., Chaplot V., Planchon O., Bernadou J., Valentin C., Mariotti A.: Preferential erosion of black carbon on steep slopes with slash and burn agriculture. *Catena*, 2006, **65**: 30-40.
30. S c h m i d t H.P., Bucheli T., Kammann C., Glaser B., Abiven S., Leifeld J.: European biochar certificate – guidelines for a sustainable production of biochar. European Biochar Foundation, 2016.
31. S c h m i d t H.P., Taylor P.: Kon-Tiki flame curtain pyrolysis for the democratization of biochar production. *Biochar Journal*, 2014, **1**: 14-24.
32. S c h m i d t H.P., Pandit B.H., Cornelissen G., Kammann C.I.: Biochar-based fertilization with liquid nutrient enrichment: 21 field trials covering 13 crop species in Nepal. *Land Degradation & Development*, 2017, **28(8)**: 2324-2342.
33. S c h m i d t H.P., Pandit B.H., Martinsen V., Cornelissen G., Conte P., Kammann C.I.: Fourfold increase in pumpkin yield in response to low-dosage root zone application of urine-enhanced biochar to a fertile tropical soil. *Agriculture*, 2015, **5(3)**: 723-741.
34. S h a c k l e y S., Carter S., Knowles T., Middelink E., Haefele S., Sohi S., ... & Haszeldine S.: Sustainable gasification–biochar systems? A case-study of rice-husk gasification in Cambodia, Part I: Context, chemical properties, environmental and health and safety issues. *Energy Policy*, 2012, **42**: 49-58.

35. S k j e m s t a d J.O., Reicosky D.C., Wilts A.R., McGowan J.A.: Charcoal carbon in US agricultural soils. *Soil Science Society of America Journal*, 2002, **66(4)**: 1249-1255.
36. S m e r n i k R.J.: Biochar and sorption of organic compounds (Chapter 16). In: *Biochar for environmental management: Science and technology*, J. Lehmann, S. Joseph (eds). Earthscan, London, UK, 2009, pp. 289.
37. S o h i S., Lopez-Capel E., Krull E., Bol R.: Biochar, climate change and soil: A review to guide future research. *CSIRO land and water science report*, 2009, **5(09)**: 17-31.
38. S t e i n e r C., Teixeira W.G., Lehmann J., Nehls T., de Macedo J.L.V., Blum W.E.H., Zech W.: Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. *Plant and Soil*, 2007, **291**: 275.
39. S t o l a r s k i M.J., Warmiński K., Krzyżaniak M.: Energy value of yield and biomass quality of poplar grown in two consecutive 4-year harvest rotations in the north-east of Poland. *Energies*, 2020, **13(6)**: 1495.
40. The Biochar Revolution; <https://www.thebiocharrevolution.com/> (data dostępu: 20.04.2021).
41. Tinker's Blessing; <https://tinkersblessing.com> (data dostępu: 20.04.2021).
42. T r y o n E.H.: Effect of charcoal on certain physical, chemical, and biological properties of forest soils. *Ecological Monographs*, 1948, **18**: 81-115.
43. V a n Z w i e t e n L., Downie A., Chan K.Y., Kimber S., Morris S., Rust J., Mitchell A.: Nitrogen use efficiency improves using greenwaste biochar. Paper presented at the 1st Asia Pacific Biochar Conference, 17–20 May 2009, Gold Coast, Australia.
44. V e r h e i j e n F., Jeffery S., Bastos A.C., Van der Velde M., Dias I.: Biochar application to soils. A critical scientific review of effects on soil properties, processes, and functions. *European Commission*, 2010, 24099, pp. 162.
45. W i l s o n K.: Justus von Liebig and the birth of modern biochar. *Biochar Journal*, 2014; <https://www.biochar-journal.org/en/ct/5>
46. Y a m a n e V.K., Green R.E.: Adsorption of ametryne and atrazine on an oxisol, montmorillonite, and charcoal in relation to pH and solubility effects. *Soil Science Society of America Proceedings*, 1972, **36**: 58-64.

A stylized, light gray leaf graphic with a curved shape, positioned on the left side of the page, partially overlapping the title and author information.

Jerzy Księżak

**X. PRODUKCJA NASION ROŚLIN
BOBOWATYCH I SUROWCÓW
PASZOWYCH W POLSCE**

Zakład Uprawy Roślin i Jakości Plonu
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa
Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czarторыskich 8, 24-100 Puławy
tel. (0-81) 4786791
e-mail: Jerzy.Ksiezak@iung.pulawy.pl

1. WSTĘP

Na świecie występuje ok. 670–700 rodzajów i 18–19 tys. gatunków roślin bobowatych, wliczając bobowate, drobnonasienne pastewne i rolniczo-leśne (Prusiński 2017). Zajmują one ok. 12–15% gruntów ornych i są uprawiane w ponad 170 krajach na świecie. Gatunki te odgrywają ważną rolę w rolnictwie, dostarczają bowiem białka dla ludzi oraz są jednym z ważniejszych źródeł wysokobiałkowej paszy dla zwierząt, a zdaniem Singh i in. (2013) oraz Preisel i in. (2015) pośrednio przyczyniają się do różnorodności biologicznej systemów i płodozmianu. Ponadto ze względu na wielostronne oddziaływanie na glebę są nieodzownym ogniwem w zmianowaniu, niezależnie od stosowanego systemu produkcji. Charakteryzuje je dodatni bilans substancji organicznej w glebie, a w prawidłowym systemie zmianowania umożliwiają zrównoważenie bilansu substancji organicznej (Karkanis i in. 2018). Uprawiane w poplonie i przyorane (zielona masa) wnoszą do gleby ok. 60 q suchej masy, co jest równe dawce obornika i $150 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Suwara i Gawrońska-Kulesza 1997). Poprzez zwiększanie zawartości próchnicy wzbogacają kompleks sorpcyjny gleby, który przeciwdziała wypłukiwaniu składników pokarmowych. Glebę w członach zmianowania z roślinami bobowatymi charakteryzuje lepszy stan agregatowy i gruzelkowy niż w członach bez tych roślin (Fabiański i in. 1989).

Nasiona roślin bobowatych są ważnym elementem diety człowieka, zwłaszcza vegetarian. Stanowią istotne źródło białka, w tym aminokwasów egzogennych, witamin, minerałów, błonnika pokarmowego, oligosacharydów, bioaktywnych związków fenolowych i minerałów (de Almeida Costa i in. 2006, Kalogeropoulos i in. 2010, Yorgancilar i Bilgiçli 2014, Lucas i in. 2015). Zawartość białka w nasionach roślin bobowatych wynosi od 17 do ponad 40%, a zawartość w mięsie od 18 do 25% (Pollard i in. 2002, de Almeida Costa i in. 2006). Na podkreślenie zasługuje większa strawność białka i oleju z łubinu niż soi. Ponadto nasiona łubinu charakteryzują się wysokim poziomem nienasyconych kwasów tłuszczowych (ponad 80%) (Boschin i in. 2008, Bähr i in. 2014). Zdaniem Lee i in. (2011) uprawiane w Europie gatunki łubinu w najbliższym czasie mogą stać się ważnym źródłem białka roślinnego w produkcji żywności. Częste spożywanie nasion roślin bobowatych zmniejsza ryzyko wystąpienia chorób cywilizacyjnych. Wykazano znaczący związek pomiędzy dietą bogatą w nasiona roślin bobowatych a mniejszym ryzykiem wystąpienia chorób serca (CHD) (Bazzano i in. 2001, Erbaş i in. 2005, Flight i Clifton 2006, Benetou i in. 2008, Kalogeropoulos i in. 2010), cukrzycy typu 2 (Jenkins i in. 2012) czy otyłości (Mollard i in. 2012). Ponadto spożycie nasion tych gatunków zmniejsza ryzyko wystąpienia osteoporozy (Mollard i in. 2012). Dieta bogata w błonnik z nasion łubinu powoduje obniżenie poziomu cholesterolu (Lee i in. 2011). Dzięki zawartości składników bioaktywnych pieczywo z dodatkiem bobowatych wzbogaca dietę wegetariańską, może być również objęte profilaktyką dietetyczną chorób cywilizacyjnych (Kalogeropoulos i in. 2010, Lucas i in. 2015). Próbowano także wykorzystać nasiona roślin bobowatych do pozyskiwania chleba bezglutenowego,

a także innych wyrobów piekarniczych (ciastka, krakersy). Najczęściej wykorzystywana jest mąka z łubinu, soi, soczewicy, ciecierzycy oraz koncentraty grochu lub soi przez zastąpienie części mąki pszennej (PN-A-74100 1992, Kohajdová i in. 2011, Jenkins i in. 2012, Rizzello i in 2014). Bähr i in. (2014) oraz Erbaş i in. (2005) stwierdzili, że dodatek kilku procent mąki nasion bobowatych do pieczywa ma korzystny wpływ na jego właściwości technologiczno-sensoryczne, między innymi na wilgotność i objętość. Natomiast Villarino i in. (2015) podaje, że dodanie ponad 20% mąki ze słodkiego łubinu australijskiego zapewnia dobrą jakość chleba, ale wilgotność i objętość nieco się pogarszają. Piasecka-Jóźwiak i in. (2018) informują, że dodatek do chleba mąki łubinów żółtego i wąskolistnego uprawianych w warunkach ekologicznych wpływa korzystnie na zawartość błonnika pokarmowego oraz białka, które składa się głównie z albumin i globulin. Autorzy ci stwierdzili także, że dodatek mąki z obu gatunków łubinu zwiększa wilgotność miękkiszu chleba, co związane jest z wysoką wodochłonnością i jest korzystnie odbierane w ocenie jakości organoleptycznej. Ponadto zaobserwowali, że wraz ze wzrostem udziału w pieczywie mąki z roślin bobowatych zmniejsza się objętość pieczywa i zwiększa twardość miękkiszu. Zdaniem Erbaş i in. (2005) w produkcji pieczywa korzystne jest wykorzystanie technologii opartej na kwasie ciasta, ponieważ fermentacja ciasta z dodatkiem bakterii mlekowych pozytywnie wpływa na wartość odżywczą i poprawia właściwości sensoryczne pieczywa.

Nasiona roślin bobowatych są podstawowym źródłem białka paszowego dla zwierząt przeżuwających, ale przede wszystkim monogastrycznych. Import śruty sojowej w ok. 80% pokrywa zapotrzebowanie na surowce paszowe w Polsce, które w ciągu roku sięga ok. 1 mln t białka. Śruta rzepakowa, słonecznikowa, makuchy rzepakowe i nasiona roślin bobowatych, które są produkowane w naszym kraju, uzupełniają ten bilans (Hanczakowska i Księżak 2012). Skład i wartość pokarmowa nasion gatunków uprawianych w naszym kraju charakteryzuje zróżnicowana zawartość tłuszczu, białka i różny skład węglowodanów oraz związków antyżywniowych. Nasiona roślin bobowatych zawierają małą ilość aminokwasów siarkowych – metioniny i cystyny, natomiast zawierają stosunkowo dużo lizyny, co powoduje, że są warościowym uzupełnieniem pasz z udziałem zbóż. Nasiona tych gatunków roślin, zwłaszcza łubinów, zawierają znaczną ilość włókna, które obniża ich wartość pokarmową, ale ma również (zwłaszcza frakcje nierozpuszczalne) korzystny wpływ na budowę i pracę przewodu pokarmowego. Wskazują na to wyniki badań Hedemann i in. (2006), którzy stwierdzili intensywniejszy wzrost kosmków w nabłonku jelita cienkiego prosiąt po zastosowaniu w ich żywieniu nierozpuszczalnych frakcji włókna. Salgado i in. (2002) informują, że takie zmiany w anatomii śluzówki jelita powoduje obecność grochu i łubinu w paszy.

W paszach dla świń najczęściej stosowane są nasiona grochu. W państwach Unii Europejskiej 90% grochu wykorzystywanego do produkcji pasz jest stosowane w paszach dla trzody chlewnej, a tylko 8% w paszach dla drobiu i 2% dla zwierząt przeżuwających. Nasiona grochu gromadzą mniej substancji antyżywniowych,

dlatego mogą być wykorzystywane w większej ilości niż nasiona pozostałych gatunków roślin bobowatych. Większą wrażliwością na związki antyodżywcze i dużą ilością włókna w dawce pokarmowej odznaczają się prosięta. Valencia i in. (2008), stosując w żywieniu prosiąt koncentrat białka grochu o zwiększonej zawartości białka i obniżonej koncentracji włókna, zanotowali tylko nieco mniejsze przyrosty masy ciała niż po zastosowaniu koncentratu białka soi. Korzystny wpływ na przyrosty odsadzonych prosiąt wykazali także Stein i in. (2004) przy udziale grochu 6% i 12% w dawce pokarmowej i nieznaczne zmniejszenie, gdy udział tego gatunku wynosił 18%. Zdaniem tych autorów, gdy stosowane są nasiona grochu ekstrudowanego, nie jest konieczne uzupełnienie dawki pokarmowej enzymami paszowymi. Korzystna wartość pokarmowa ekstrudowanego grochu jest efektem inaktywacji substancji antytrypsynowych zmniejszających strawność białka w nasionach pozbawionych tanin. Landblom i Poland (1997), badając wpływ ekstruzji nasion grochu na jego wykorzystanie przez prosięta, stwierdzili, że udział 40% grochu zapewnia zbliżone przyrosty do tych, jakie dała dawka kontrolna (soja) zarówno surowa, jak i ekstrudowana. Zastosowanie ekstruzji nasion grochu zapewniało podobne przyrosty jak na obiekcie kontrolnym, natomiast 40% grochu surowego znacząco ograniczało przyrosty masy ciała. Badania Chrenkovej i in. (2011) nie wykazały korzystnego wpływu ekstruzji nasion na przyrosty masy ciała, jak i jakość mięsa. Badania Stanek (1997) i Grela i in. (1992) wykazały korzystny wpływ nasion różnych odmian grochu na przyrosty trzody chlewnej. Natomiast Vieira i in. (2003) nie stwierdzili niekorzystnego wpływu na uzyskane wskaźniki tuczu, gdy do mieszanek kukurydzy z soją dla tuczników dodali groch w ilości 20 i 40%. Stein i in. (2004), wykorzystując w mieszankach dla tuczników kukurydzę, śrutę sojową i groch w ilości odpowiednio: 12, 24 i 36%, zanotowali korzystny wpływ, gdy udział grochu wynosił 12 lub 24% i niewielkie ograniczenie, gdy udział grochu wynosił 36%. Prace Steina i in. (2006) dotyczące zastąpienia śruty sojowej nasionami grochu nie wskazywały na negatywny wpływ tak dużego udziału grochu na przyrosty masy ciała oraz pobieranie paszy. Nie stwierdzono również różnic w czasie oceny poubojowej, ale jednocześnie zanotowano, że mięso zwierząt karmionych grochem odznaczało się lepszą barwą i było bardziej suche. Zeman i Šiške (1983) informują, że możliwe jest również wykorzystanie nasion grochu lub bobiku w żywieniu loch prośnych i karmiących. W dawkach dla tych zwierząt nasiona grochu lub bobiku zastępowały całe białko poekstrakcyjnej śruty sojowej. Zastąpienie 50% białka ze śruty sojowej w żywieniu loch karmiących i w czasie laktacji nasionami tych gatunków nie wpłynęło na masę ciała loch w czasie trzech cykli reprodukcyjnych, jak również na masę ciała urodzonych i odsadzonych prosiąt. Uzyskane wyniki wskazują, że lochy żywione mieszankami z dużym udziałem grochu urodziły więcej prosiąt w porównaniu z kontrolnymi i żywionymi mieszankami z bobikiem. Większość opublikowanych wyników badań pokazuje, iż dodatek 10–20% nasion grochu w żywieniu kurcząt nie powoduje pogorszenia przyrostów czy wykorzystania paszy (Li i in. 2006, Nalle in. 2010, Kaczmarek i in. 2014). W dostępnej literaturze znajdują się prace potwierdzające,

iż nawet 80% poziomu grochu w mieszance, która jest podawana od 7. do 28. dnia odchowu nie wpływa na wyniki produkcyjne kurcząt w porównaniu z grupą kontrolną (Brenes i in. 1989). Zaworska-Zakrzewska i in. (2020) podają, że wprowadzenie 25% udziału nasion grochu do mieszanek nie pogarsza wyników odchowu prosiąt, a ekstruzja nie poprawia wyników produkcyjnych. Ci sami autorzy informują także, iż zastąpienie poekstrakcyjnej śruty sojowej surowymi i ekstrudowanymi nasionami grochu z poekstrakcyjną śrutą rzepakową nie wpłynęło negatywnie na wyniki produkcyjne świń od 30 kg do końca tuczu.

Stosowanie nasion bobiku w żywieniu trzody chlewnej jest zmniejszone ze względu na taniny, ale dzięki hodowli ich zawartość w nowych kwitnących na biało odmianach jest znacznie ograniczona. Zdaniem Duc (1997) nasiona tych odmian są znacznie lepiej wykorzystane przez trzodę. Innymi substancjami antyodżywczymi występującymi w nasionach bobiku są glukozydy pirymidynowe: wicyna i konwicyna. Zdaniem Grosjeana i in. (2001) w żywieniu świń odgrywają niewielką rolę, gdyż powodują tylko nieznaczne obniżenie strawności białka i energii. Zdaniem Hagira i in. (2005) nasiona bobiku gromadzą również fityniany (kilka miligramów na gram). Zdaniem Partanena i in. (2006) stosowanie w żywieniu odstawionych prosiąt nasion bobiku w ilości $240 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ spowodowało ograniczanie przyrostów. W doświadczeniach Kasprowicza (2004) z udziałem warchlaków białko śruty sojowej w 25, 50 i 75% zastępowano bobikiem. Po ocenie strawności jelitowej aminokwasów i dokładnym ich zbilansowaniu i uzupełnieniu w formach krystalicznych zanotowano efekty wskazujące na celowość zastąpienia białka śruty sojowej bobikiem nawet w 75%. Van der Poel i in. (1992) porównywali w żywieniu prosiąt nasiona bobiku o niskiej i wysokiej zawartości tanin. Określona strawność jelitowa i kałowa były nieco większe w nasionach odmiany niskotaninowej, ale różnice nie były istotne statystycznie. Zijlstra i in. (2008) stosowali w żywieniu tuczników śrutę z nasion odmiany białokwitnącej bobiku o udziale 30% dawki. Zarejestrowane przyrosty nie różniły się od zanotowanych na dawce kontrolnej z wykorzystaniem śruty sojowej. Badając strawność i retencję azotu u świń karmionych paszą, w której zastąpiono w okresie grower 21,5 lub 33%, a w okresie finisher 22,5 lub 35% białka śruty sojowej nasionami bobiku, Stanek i in. (2005) zanotowali korzystny wpływ preparatu Ronozyme VP zawierającego beta-glukanazę, pentozanazę, hemicelulozę, pektynazę oraz Ronozyme WX zawierającego beta-ksylanazę na wartość odżywczą oraz znaczący wpływ na retencję i wykorzystanie białka. W doświadczeniu Gousa (2011) badano wpływ dodatku nasion bobiku niskotaninowego na wyniki odchowu kurcząt; nie stwierdzono pogorszenia badanych parametrów we wszystkich grupach doświadczalnych. Zakrzewska-Zaworska i in. (2020) podają, że zastosowanie obróbki hydrotermicznej nasion bobiku nie wpłynęło na poprawę wyników odchowu rosnących świń, jednakże przy dobrze zbilansowanej diecie nasiona grochu i bobiku mogą stanowić częściową alternatywę dla poekstrakcyjnej śruty sojowej.

Prandini i in. (2005) wykorzystywali nasiona łubinu białego w ilości 17% w żywieniu prosiąt od 28. dnia życia. Śruta łubinu wykorzystywana była nieprzetwo-

rzona lub ekstrudowana. Zanotowane efekty nie wskazały na różnice między śrutą sojową a śrutą z łubinu, a także pomiędzy śrutą z łubinu surowego i ekstrudowanego. McNiven i Casteli (1995) badali wykorzystanie śruty z łubinu białego w żywieniu warchlaków o masie ciała od 10 do 20 kg i stwierdzili, że jeśli udział łubinu w dawce nie przekracza 10%, to prosięta charakteryzują się dobrymi przyrostami i wykorzystaniem paszy. Zwiększenie udziału łubinu ograniczało przyrosty masy ciała spowodowane prawdopodobnie raczej mniejszym pobraniem paszy niż niższą przyswajalnością białka. Efekty wielu przeprowadzonych doświadczeń na trzodzie chlewnej potwierdzają, że dopuszczalny udział łubinu w dawce pokarmowej wynosi ok. 20%. Według Zraly'ego i in. (2007) taki udział łubinu nie zmniejszał pobierania paszy, a dodatek tłuszczu wpływał korzystnie (przyrosty wyższe o 2,3 do 10% od pozostałych grup). Śruta łubinowa nie wpływała na ocenę tuszy i jakość mięsa. Pisarikova i in. (2008) w swoich badaniach białko śruty sojowej zastępowali nasionami łubinu całymi lub obłuszczonymi w ilości 50 lub 100%. W paszy o niższej zawartości łubinu (obie grupy) strawność głównych składników pokarmowych – białka, tłuszczu i włókna była znacząco większa niż w grupie kontrolnej. Ponadto średnie dzienne przyrosty masy ciała u zwierząt tak żywionych były większe niż w grupie kontrolnej, ale obliczenia statystyczne nie wykazały istotnych różnic. Według Nalle i in. (2010) 20% poziom łubinu białego w mieszance może być wykorzystywany w żywieniu kurcząt bez pogorszenia wyników produkcyjnych. Natomiast Viveros i in. (2007) uważają, że taki udział łubinu znacząco pogarsza przyrosty masy ciała kurcząt, jak i współczynnik wykorzystania paszy. Zdaniem Allouiego i in. (1994) większy niż 15% poziom łubinu żółtego w mieszankach istotnie pogarsza współczynnik wykorzystania paszy, jak i przyrosty masy ciała. Hejdysz i in. (2020) pokazują, iż bezpieczny poziom nasion łubinu żółtego w mieszance niepowodujący pogorszenia wyników produkcyjnych kurcząt rzeźnych jest większy i wynosi 20%. Analizując prace naukowe oceniające możliwości stosowania nasion łubinu wąskolistnego w żywieniu kurcząt rzeźnych, można stwierdzić duże rozbieżności. Olver i Jonker (1997) informują, iż dodatek 40% nasion łubinu wąskolistnego w mieszance nie powoduje pogorszenia wyników produkcyjnych u kurcząt, natomiast Nalle i in. (2010) uważają, że większy niż 4% poziom nasion łubinu istotnie pogarsza przyrosty kurcząt. Hejdysz i in. (2020) uważają, iż optymalny poziom łubinu wąskolistnego w żywieniu kurcząt wynosi 10–15%. Według Hammershoj i Steenfeldt (2005) poziom łubinu wąskolistnego niepowodujący pogorszenia nieśności i masy jaja wynosi ok. 15%. Hejdysz i in. (2020) podają natomiast, że dodatek 25% nasion łubinu żółtego wpływał niekorzystnie na te cechy, a w przypadku łubinu białego udział 12% powodował ograniczenie nieśności i masy jaj. Mikulski i in. (2020) podają, że w żywieniu indyków rzeźnych bez negatywnych skutków biologicznych możliwe jest zastąpienie 50% poekstrakcyjnej śruty sojowej nasionami roślin bobowatych uprawianych w Polsce w pierwszych 4 tygodniach życia i całkowite jej wyeliminowanie od 5. tygodnia życia. Zaworska-Zakrzewska i in. (2020), podsumowując wyniki wieloletnich badań dotyczących wykorzystania nasion łubinów w żywieniu

trzody chlewnej, stwierdzili, iż nasiona tych gatunków mogą być wykorzystywane jako częściowe lub całkowite substytuty poekstrakcyjnej śruty sojowej w mieszankach dla warchlaków i tuczników, szczególnie w okresie grower i finisher.

2. ROŚLINY BOBOWATE W PŁODOZMIANIE

Jak wynika z raportu ONZ (ONZ 2014), na świecie zasiewy roślin bobowatych wiążą ok. 3–6 mln t N rocznie, co pozwala na zmniejszenie zapotrzebowania na nieodnawialne źródła energii do produkcji żywności. Wywierają one korzystny wpływ na biologiczne właściwości gleby. Według Strzelec (1997) azot wiązany biologicznie odgrywa istotną rolę w rolnictwie, między innymi dlatego, że jego wykorzystanie przez rośliny jest większe niż w przypadku azotu mineralnego. Pobieranie azotu zależy od gatunku rośliny bobowatej, jej budowy morfologicznej (Fujita i in. 1992), warunków glebowych (zawartość N, wilgotność gleby, odczyn) oraz od występowania chorób i szkodników (Ledgard i Steele 1992). Gatunki niebobowate uprawiane w mieszankach z roślinami bobowatymi wykorzystują azot związany przez bakterie brodawkowe. Wyka wysiana z owsem, zdaniem Triboi (1985), akumulowała ok. 53 kg N pochodzącego z symbiozy (w przeliczeniu na 1 ha), tj. 90% całego pobranego azotu. Ponadto zboże (owies) akumulowało ok. 28 kg N mineralnego, tj. ok. $\frac{1}{3}$ N łącznie zgromadzonego przez rośliny mieszanki. W swej przeglądowej pracy Fujita i in. (1992) stwierdzili w mieszance soi z sorgiem, że transfer N z rośliny bobowatej do zbożowej poprawił plon nasion mieszanki i efektywność wykorzystania azotu. Wydzieliny z aktywnych brodawek korzeniowych roślin bobowatych zawierających jony NO_3^- , zdaniem Wacquant i in. (1989), wpływają na zwiększenie plonu i zawartość azotu roślin niebobowatych mieszanek kukurydzy z soją i owsem z wyką siewną. Zdaniem Święcickiego (1993) pszenica i kukurydza wytwarzają znacznie mniejszą powierzchnię liściową niż rośliny bobowate. Pozwala to na silniejsze ocienianie gleby, zmniejszając jej nadmierne parowanie i ubijanie w czasie silnych deszczów, co korzystnie wpływa na strukturę gleby (Fabiański i in. 1989). Zdaniem Szmigiela (1986) korzystny wpływ roślin bobowatych wynika ze zdolności do wiązania N atmosferycznego oraz możliwości wzbogacania gleby w makroelementy pobierane z głębszych warstw, przez co poprawia się zarówno ogólna zasobność gleby w składniki pokarmowe, jak również wzrasta poziom kultury gleby. Ponadto korzystny stosunek C:N (15:1) występujący w resztkach poźniwnych w podatni sposób wpływa na procesy humifikacji i oddziałuje strukturotwórczo na glebę.

System korzeniowy roślin bobowatych jest silniej rozwinięty niż u zbóż, a jego rozwój trwa aż do końca kwitnienia (Święcicki 1993). Odnacza się on właściwościami strukturotwórczymi, bowiem kanałami pokorzeniowymi i przestrzeniami międzygruzelkowymi głębiej przenikają korzenie roślin następnych. Dzięki tak rozwiniętemu systemowi korzeniowemu, rośliny te pobierają z warstwy wymycia związki Ca, P, K i przemieszczają je do górnych warstw gleby, powodując, iż są one dostępne dla roślin następnych. Wydzieliny korzeniowe łubinu uaktywniają

uwstecznione związki fosforu, dzięki czemu może on być pobierany przez rośliny uprawiane w następstwie (Święcicki 1993). Zdaniem Lyncha i Pantinga (1980) w utrzymaniu żyzności gleby coraz większą rolę będą odgrywać resztki pozbiorowe, które są ważnym źródłem składników energetycznych dla całego zespołu organizmów glebowych, ponieważ dostarczają ok. $2,8 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ węgla do gleby w ciągu roku. Jak podaje Kotecki (2015), na podstawie wyników doświadczeń przeprowadzonych w rejonie Wrocławia, masa resztek pozbiorowych łubinu żółtego, bobiku, grochu i łubinu wąskolistnego wynosiła odpowiednio ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$): 4,9; 3,7; 3,2 i 5,3, ilość azotu zgromadzonego w resztkach ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$): 32; 35; 24 i 47, natomiast potasu odpowiednio ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$): 48; 79; 32 i 72. Kalembasa i in. (2020a) podają, że ilość biologicznie zredukowanego azotu zawartego w biomase bobiku wynosiła $79,9 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (w nasionach – $58,7 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, w resztkach poźniwnych – $21,2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), a całkowita ilość azotu pobranego przez ten gatunek – $194,1 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (nasiona – $140,0 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, resztki pozbiorowe – $54,10 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$). Według tych autorów pszenica ozima uprawiana w drugim roku płodozmianu pobierała z azotu zawartego w resztkach bobiku $20,42 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ (37,8%). Natomiast według Kalembasy i in. (2020b) łubin biały zgromadził $243,2 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ ($209,3 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ w nasionach i $33,9 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ w resztkach poźniwnych), a ilość biologicznie zredukowanego azotu przez ten gatunek wynosiła $111,2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (w nasionach – $93,7 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, w resztkach pozbiorowych – $17,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$). Zdaniem Karkanisa i in. (2018) bobik uprawiany w płodozmianie korzystnie wpływa na glebę, ponieważ może wiązać azot atmosferyczny w ilości ponad $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Według Ntatsi i in. (2018) łączna ilość biologicznie utrwalonego N w uprawie bobiku, w zależności od systemu uprawy i odmiany, wahała się od 118 do $193 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. W badaniach Tripolskaja i Asakaviciute (2019) bobik uprawiany na kwaśnej glebie asymilował od 147 do $230 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, natomiast Mayer i in. (2003), informuje, że 89% azotu zakumulowanego przez łubin biały pochodziło z wiązania atmosferycznego. Mayer i in. (2003), Wichern i in. (2008) oraz Fustec i in. (2010) podają, że w systemie korzeniowym roślin bobowatych może być zgromadzone od 35 do 45% całkowitego azotu zakumulowanego w resztkach pozbiorowych tych gatunków.

Rośliny bobowate stanowią dobry przedplon dla zbóż, roślin przemysłowych i okopowych. Plon ziarna zbóż uprawianych po bobowatych w porównaniu z plonem po zbożach może być większy – od 0,5 do $15,0 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Budzyński i Dubis 1997, Chrzanowska-Dróżdź 1997, Dubis i Budzyński 1998, Dzienia i in. 1989, Kuś i Płoszyńska 1989, Suwara i Gawrońska-Kulesza 1997, Książak i Bojarszczuk 2019), co jest spowodowane głównie większą obsadą kłosów na 1 m^{-2} , lepszym wypełnieniem ziarna (Budzyński i Dubis 1997, Chrzanowska-Dróżdź 1997, Suwara i Gawrońska-Kulesza 1997) i większą liczbą ziarna w kłosie (Budzyński i Dubis 1997, Książak i Bojarszczuk 2019). Większe plonowanie pszenicy ozimej po roślinach bobowatych zanotowano w latach o niekorzystnym rozkładzie opadów lub ich niedoborach, gdy jest mniejsze pobieranie stosowanego pogłównie N mineralnego (Suwara i Gawrońska-Kulesza 1997). Według Dubisa i Budzyńskiego (1998) stanowisko po łubinie żółtym dla żyta i pszenżyta jest lepsze niż owsa o wartość podobną

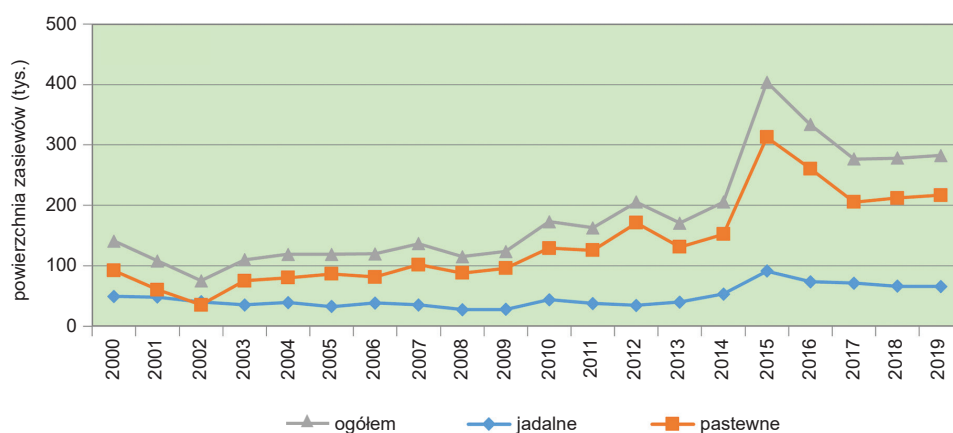
do dodatkowego zastosowania ok. 60 kg N·ha⁻¹. Zdaniem Dzienni i in. (1989) najkorzystniejsze działanie na plonowanie zbóż na glebach kompleksu psennego dobrze mają groch i bobik; na glebach żytniego dobrego – łubin biały, groch pastewny, bobik, łubin żółty; na glebach żytniego słabego – łubin biały i żółty. Wojciechowski (2009) wykazał, że plon żyta uprawianego w czteroletnim płodozmianie był o 19,4% większy niż w zmianowaniu trójpolewym, o 52% niż w dwupolówce zbożowej i aż o 79,0% niż w uprawie po sobie. Blecharczyk i in. (2006) wskazali na możliwość ograniczania nawożenia pszenicy azotem po grochu i soi do 50 kg·ha⁻¹, uzyskując taki sam plon ziarna jak po jęczmieniu nawożonym 100 kg N·ha⁻¹. Ponadto zanotowali większą zawartość białka w ziarnie pszenicy uprawianej po grochu i bobiku niż po soi i jęczmieniu. W innej pracy Blecharczyk i in. (1999) wykazali wysoką wartość stanowiska po grochu dla pszenicy, a pszenica uprawiana po tym gatunku była tylko sporadycznie porażana przez zgorzel podstawy źdźbła. Pszenica uprawiana po grochu w porównaniu z przedplonami zbożowymi odznaczała się większą liczbą kłosów na 1 m, ziaren w kłosie, masą tysiąca ziaren (MTZ) i liczbą ziaren z kłosa. Buczek i Bobrecka-Jamro (2010) podają, że przedplony owsa i grochu okazały się korzystniejsze dla pszenicy ozimej niż rzepak i pszenica. Chrzanowska-Dróżdż i in. (2015) i Wojciechowski (2009) stwierdzili korzystniejszy wpływ przedplonów bobowatych na strukturę zbóż w stosunku do przedplonów zbożowych. W badaniach przeprowadzonych w ostatnich latach wielu autorów zanotowało znaczący wzrost plonu ziarna pszenicy uprawianej po grochu w stosunku do uprawianej po zbożach (Kozak i Kotecki 2006, Buraczyńska i Ceglarek 2008, Buczek i Bobrecka-Jamro 2010), po łubinie (Rudnicki 2005, Kotwica 2006, Piekarczyk 2007 i 2010), po bobiku (Blecharczyk i in. 2006, Kulig i in. 2007, Buczek i in. 2013, Pisarek i in. 2013) czy po soi (Blecharczyk i in. 2006). Natomiast Kotecki (2015) zaobserwował korzystny wpływ bobiku na liczbę łuszczyń na rzepaku, która w porównaniu z uprawą po pszenicy jarym była większa o 9%, co spowodowało zwiększenie plonu o 16%. Ten sam autor (Kotecki 2015) podaje, że dla zrównoważenia poziomu plonu pszenicy ozimej uprawianej po bobowatych, w pszenicy uprawianej po pszenicy jarej konieczne było zastosowanie 120 kg N. Uprawa pszenicy jarej i ozimej po łubinie żółtym i mieszankach ze zbożami z 80% udziałem tego gatunku zdaniem Książaka i Bojarszczuk (2019) wpływa najkorzystniej na plonowanie tych gatunków. Wzrost poziomu plonu tych gatunków uprawianych po łubinie żółtym w stosunku do uprawianych po zbożach wynosił ok. 16%. Pszenicę uprawianą po tych przedplonach charakteryzowała większa MTZ, masa ziarna i liczba ziaren na roślinie oraz liczba ziaren w kłosie. Według Dzienni i in. (1989) na wzrost, rozwój i plonowanie zbóż rośliny bobowate korzystnie wpływają nie tylko w pierwszym, ale i w drugim roku po ich uprawie. Natomiast wielu autorów (Mayer i in. 2003, Shah i in. 2003, Angus i in. 2015) wskazuje na wzrost plonu kolejnych gatunków uprawianych po roślinach bobowatych, szczególnie tam, gdzie nie zastosowano dodatkowego nawożenia azotem. W ziarnie zbóż uprawianych po roślinach bobowatych wzrasta zawartość białka, jak również jego plon z 1 ha (Dzienni i in. 1989, Budzyński i Dubis 1997, Chrzanowska-Dróżdż 1997).

Buraczyńska i Ceglarek (2008) odnotowali istotnie większą zawartość białka w ziarnie pszenicy niż po rzepaku i owsie, a wcześniej cytowani Buczek i Bobrecka-Jamro (2010) najwięcej glutenu i najwyższy wskaźnik sedymentacji w ziarnie tego gatunku odnotowali po grochu. Książak i in. (2018) zanotowali wzrost zawartości białka w ziarnie zbóż jarych (jęczmień, pszenica, pszenżyto) uprawianych w mieszkankach z łubinem żółtym w stosunku do uprawianych w czystym siewie. Autorzy ci zaobserwowali także korzystny wpływ zwiększenia udziału łubinu w łanie mieszanki na gromadzenie tego składnika. W ziarnie jęczmienia zawartość białka średnio za trzy lata zwiększyła się z 11,0% do 13,2%, w ziarnie pszenicy z 13,2% do 14,1%, a pszenżyta z 12,9 do 13,8%. Zdaniem Woźniaka (2006), Piekarczyka (2007) oraz Pisarka i in. (2013) uprawa pszenicy po roślinach bobowatych umożliwia uzyskanie znacznie większego plonu białka niż po przedplonach zbożowych. Kuś (1979) w swoich badaniach stwierdził zwiększenie koncentracji azotu w zielonej masie jęczmienia jarego we wszystkich terminach oznaczeń (krzewienie, strzelanie w źdźbło, kłoszenie) i w pszenicy (w fazie krzewienia) uprawianych po roślinach bobowatych, co jest wynikiem zwiększenia azotu w glebie przez te rośliny. Większy udział bobiku w płodozmianie zmniejsza zachwaszczenie pszenicy ozimej i porażenie chorobami grzybowymi (Boreńska i Niewiadomski 1987). Również w badaniach Smagacza (1997) porażenie korzeni i pędów pszenżyta ozimego oraz żyta uprawianych po grochu było słabsze niż po jęczmieniu i pszenżycie ozimym. Większa jest też wilgotność gleby na wiosnę pod pszenicą wysiewaną po roślinach bobowatych niż po ziemniakach i owsie (Dzienia i in. 1989). Opłacalność uprawy pszenicy ozimej po grochu była o 40% większa niż w monokulturze i o 28% niż w zmianowaniu bez tego gatunku (Harasim 1998). Zdaniem Koteckiego (2015) wartość plonu rzepaku po bobiku była o 16% większa, a koszt produkcji 1 t nasion i 1 kg białka mniejszy niż po zbożach odpowiednio o 13,0% i 12,7%. Według Książaka i Bojarszczuk (2019) najwyższą wartość produkcji, jak i największy poziom nadwyżki bezpośredniej, zapewniała uprawa pszenicy jarej i ozimej po łubinie żółtym.

3. POWIERZCHNIA UPRAWY I UDZIAŁ W STRUKTURZE ZASIEWÓW

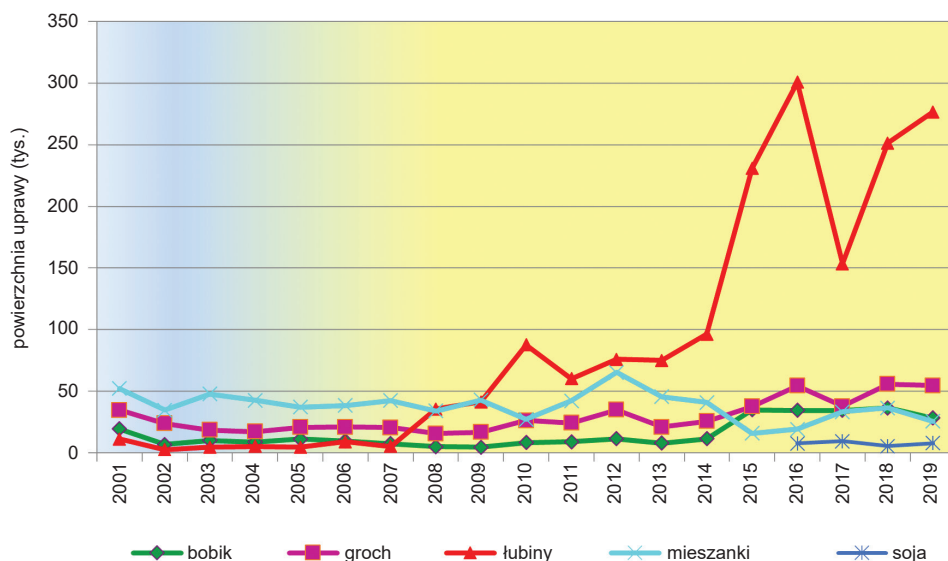
Powierzchnia uprawy roślin bobowatych w Polsce w ostatnim okresie ulegała znaczącym zmianom (rys. 1). W latach 2000–2010 średni areal ich uprawy wynosił niecałe 120 tys. ha; na powierzchni ok. 80 tys. ha były uprawiane rośliny bobowate pastewne, a pozostały areal stanowiły rośliny wykorzystywane na cele żywieniowe. Od 2010 r. zainteresowanie uprawą tych roślin znacząco wzrosło, zwłaszcza roślinami pastewnymi. W 2015 r. powierzchnia ich uprawy wynosiła ponad 400 tys. ha, ok. 75% stanowiły rośliny bobowate pastewne, a jadalne ok. 25%. Wzrost zainteresowania tymi gatunkami był spowodowany głównie wprowadzeniem dopłat do powierzchni ich uprawy oraz rozpoczęciem realizacji programu naukowego, którego celem jest poprawa bezpieczeństwa białkowego Polski na cele paszowe i żyw-

nościowe w warunkach zrównoważonego rozwoju. Ważna jest również możliwość zaliczenia areалу uprawy tych roślin do tzw. obszarów proekologicznych oraz uzyskiwania wsparcia finansowego z tego tytułu. Spowodowane jest to wprowadzeniem od 2015 r. systemu płatności bezpośrednich, tzw. płatności za praktyki rolnicze korzystne dla klimatu i środowiska, czyli zazielenienie, które wspiera działanie instrumentów środowiskowych Wspólnej Polityki Rolnej (WPR). Zazielenienie jest obowiązkowe i obejmuje trzy praktyki: dywersyfikację upraw, utrzymanie trwałych użytków zielonych oraz utrzymanie obszarów proekologicznych (EFA). Wprowadzenie zakazu zastosowania środków ochrony w uprawie tych roślin, a zaliczanych do obszarów proekologicznych, spowodowało ograniczenie areалу ich uprawy, zwłaszcza gatunków, których nasiona wykorzystywane są w żywieniu zwierząt.



Rys. 1. Powierzchnia zasiewów pastewnych i jadalnych roślin bobowatych w Polsce uprawianych na nasiona w latach 2000–2019 (GUS 2020)

W latach 2001–2007 na największej powierzchni był uprawiany groch i mieszanki roślin bobowatych ze zbożami uprawianymi na ziarno (rys. 2). Od 2008 r. zwiększył się areal uprawy łubinów, głównie wąskolistnego. Możliwość uprawy przez rolników tego gatunku spowodowana jest osiągnięciami hodowlanymi związanymi z większą wytrzymałością strąków na pęknięcie i odpornością na ważną chorobę łubinów – antraknozę. W 2016 r. areal uprawy łubinów stanowił ok. 75% powierzchni obsianej gatunkami tych roślin. Dość dużą powierzchnię uprawy zajmują w naszym kraju mieszanki bobowato-zbożowe, które są bardzo rzadko uprawiane w innych krajach i w danych statystycznych zaliczane są do zasiewów zbożowych. Rośliny bobowate są uprawiane w Polsce także na zieloną masę. Wysoka zawartość białka powoduje, iż zielonka z tych roślin jest wartościowym uzupełnieniem pasz objętościowych dla zwierząt gospodarskich. Powierzchnia zasiewów roślin bobowatych przeznaczanych na ten cel w latach 2016–2019 zajmowała ok. 30 tys. ha.



Rys. 2. Powierzchnia uprawy gatunków roślin bobowatych w latach 2001–2019 (GUS 2020)

Fasola i bób, obok ogólnoużytkowych odmian grochu siewnego, zajmują ważne miejsce wśród jadalnych gatunków roślin bobowatych. W produkcji najczęściej uprawiane są formy karłowe fasoli zwyczajnej. Aktualnie areał zasiewów tego gatunku wynosi ok. 20 tys. ha, a średni plon nasion sięga ok. 2 t·ha⁻¹. Fasola jest tym gatunkiem, którego powierzchnia od wielu lat jest na podobnym poziomie i którego znacząca część produkcji jest eksportowana do krajów europejskich. Rośliny bobowate jadalne uprawiane na nasiona (na przetwórstwo i konsumpcję) to głównie groch i fasola. Uprawą tych gatunków zajmują się głównie gospodarstwa indywidualne, które w ciągu ostatniego okresu nie przechodziły głębokich zmian organizacyjnych. Poziom produkcji oraz technologie stosowane w poszczególnych gospodarstwach i rejonach kraju znacznie się różnią. W uprawie tego gatunku w wielu gospodarstwach zbiór mechaniczny stanowi znaczący problem. Możliwy jest on tylko w gospodarstwach posiadających nadwyżki siły roboczej, co korzystnie wpływa na jakość surowca.

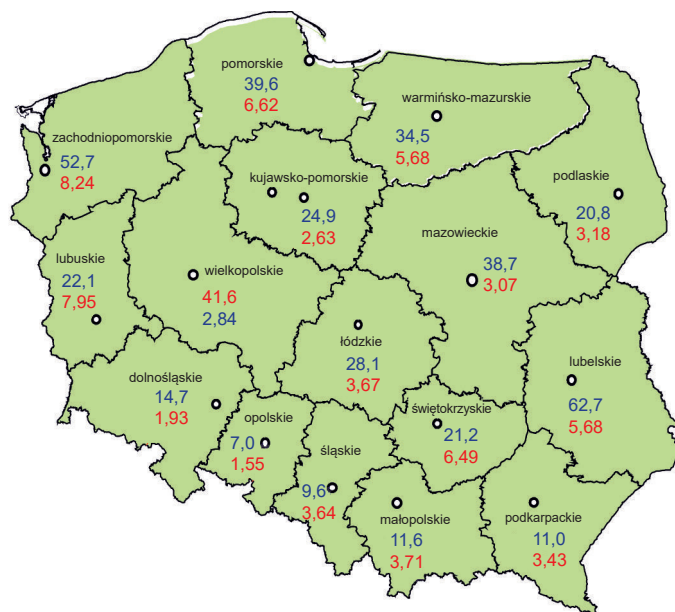
Soja obok pszenicy, kukurydzy, sorga i ryżu jest jednym z najważniejszych gatunków roślin uprawnych na świecie, natomiast w Polsce jej znaczenie gospodarcze jest mniejsze, spowodowane mniej korzystnymi do jej uprawy warunkami klimatycznymi. Osiągnięcia hodowlane dotyczące odmian wczesnych stwarzają szanse na zwiększenie powierzchni jej zasiewów, ale głównie w południowych rejonach kraju. Pozostałe gatunki roślin bobowatych uprawiane głównie na cele konsumpcyjne, takie jak: soczewica, bób i lędzian, są rzadko uprawiane i stanowią niewielki udział w strukturze zasiewów tej grupy roślin.

Tabela 1
Powierzchnia uprawy roślin bobowatych w poszczególnych województwach kraju w roku 2015 i 2019 (tys. ha) (GUS 2020)

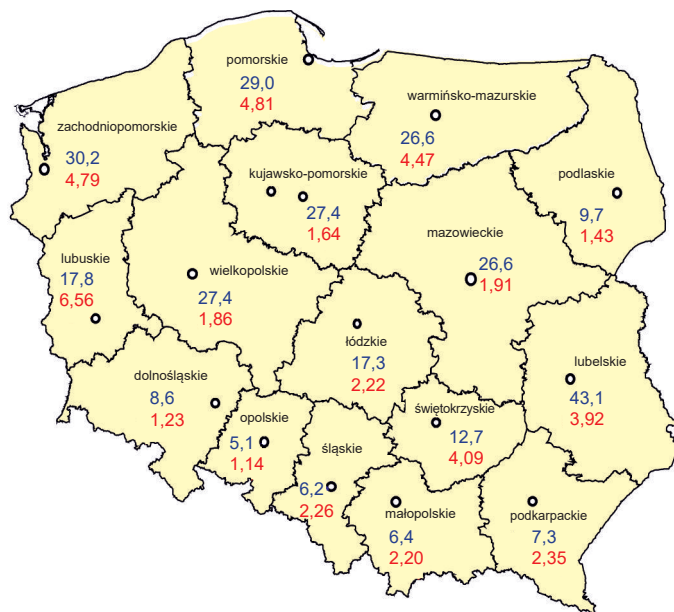
Wyszczególnienie	Groch pastewny		Groch jadalny		Bobik		Łubiny		Mieszanki bobowato-zbożowe		Soja	
	2015	2019	2014	2019	2015	2019	2015	2019	2015	2019	2016	2019
Polska – ogółem	13,7	22,6	16,4	31,9	34,9	28,2	230,6	276,4	15,9	25,6	7,6	7,9
Dolnośląskie	0,6	1,8	0,8	1,4	1,1	0,5	7,0	5,5	0,6	0,2	2,0	0,9
Kujawsko-pomorskie	1,0	2,0	1,3	2,4	1,1	1,1	11,0	11,4	1,0	2,8	0,2	0,3
Lubelskie	2,1	1,1	4,0	4,9	2,3	1,6	20,4	18,3	2,1	6,9	0,9	0,4
Lubuskie	0,008	1,0	0,06	1,6	0,4	1,6	15,1	22,1	0,4	0,1	0,2	0,5
Łódzkie	0,7	1,0	0,4	0,8	0,2	0,6	20,5	28,5	1,1	1,2	0,2	0,06
Małopolskie	0,2	0,5	0,6	0,4	3,8	1,6	1,4	1,8	0,7	1,6	0,7	1,6
Mazowieckie	1,1	1,1	0,9	0,7	1,4	1,4	21,7	40,9	2,6	3,3	0,4	0,5
Opolskie	0,4	1,0	0,4	2,1	0,5	0,2	2,7	3,5	0,3	0,4	0,7	0,8
Podkarpackie	0,3	0,3	0,4	0,045	3,4	1,6	4,8	4,5	0,6	0,3	1,2	1,3
Podlaskie	1,3	0,4	0,2	0,7	0,7	0,6	8,9	8,3	0,7	1,9	0,03	0,2
Pomorskie	1,0	2,5	1,2	3,8	4,5	2,7	23,5	31,4	1,5	2,3	0,1	0,01
Śląskie	0,4	0,5	0,3	0,4	0,7	0,2	5,7	8,1	0,3	0,39	0,2	0,06
Świętokrzyskie	2,3	1,2	2,3	3,2	1,3	0,5	4,8	9,0	0,8	0,4	0,1	0,09
Warmińsko-mazurskie	0,4	1,9	0,8	2,0	11,2	10,1	12,2	16,2	1,5	1,1	0,04	0,2
Wielkopolskie	1,2	2,8	1,3	2,5	0,3	1,1	28,4	32,6	1,3	2,2	0,6	0,6
Zachodniopomorskie	0,4	3,3	1,0	4,7	1,8	2,9	42,2	34,2	0,5	0,7	0,0	0,4

Uprawa gatunków roślin bobowatych w poszczególnych rejonach Polski zajmuje zróżnicowaną powierzchnię (tab. 1). Najwięcej łubinów uprawia się w województwach: łódzkim, mazowieckim, wielkopolskim, pomorskim, zachodniopomorskim, bobiku w województwie warmińsko-mazurskim, grochu w województwach północnych: pomorskim i zachodniopomorskim oraz wschodnich: lubelskim i mazowieckim (tab. 1). Natomiast mieszanki tych gatunków ze zbożami najczęściej są uprawiane w województwach lubelskim i mazowieckim, z kolei soja w województwach dolnośląskim i podkarpackim. Rośliny bobowate są uprawiane na bardzo małej powierzchni w województwach: małopolskim, opolskim, śląskim i podkarpackim.

Udział roślin bobowatych w strukturze zasiewów w Polsce w ostatnich latach ulegał zmniejszeniu, co było spowodowane głównie brakiem eksportu nasion do Unii Europejskiej oraz zbyt dużym importem poekstrakcyjnej śruty sojowej do naszego kraju. Nie bez znaczenia jest również stosunkowo mała stabilność poziomu plonowania spowodowana dużą wrażliwością tych gatunków na przebieg warunków atmosferycznych w okresie wegetacji oraz niekorzystną oceną roli dobrego płodozmianu i walorów ekologicznych dla środowiska przyrodniczego. W 2015 r. rośliny bobowate stanowiły w strukturze zasiewów naszego kraju 4,1% gruntów ornych. Największy ich udział, wynoszący ok. 8%, był w województwach lubuskim i zachodniopomorskim. Natomiast w 2019 r. był on mniejszy i wynosił jedynie 2,68%, przy czym podobnie jak w 2015 r. najwyższe wartości odnotowano w województwach: lubuskim, zachodniopomorskim i pomorskim (rys. 3, rys. 4).



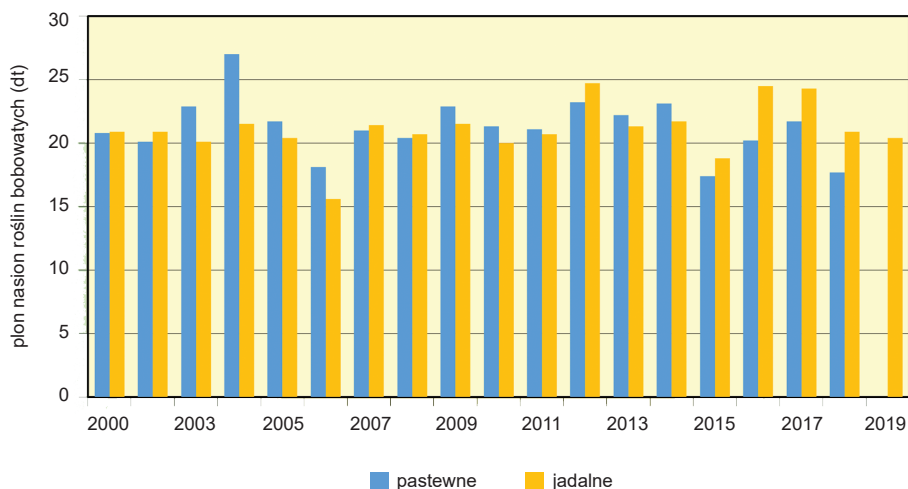
Rys. 3. Powierzchnia uprawy roślin bobowatych w 2015 r. – 440,9 tys. ha; udział w strukturze zasiewów – 4,10% (opracowanie własne na podstawie danych GUS 2020)



Rys. 4. Powierzchnia uprawy roślin bobowatych w 2019 r. – 289,9 tys. ha; udział w strukturze zasiewów – 2,68% (opracowanie własne na podstawie danych GUS 2020)

4. POZIOM PLONOWANIA

Poziom plonowania roślin bobowatych w naszym kraju w ostatnich latach wynosił od 2 do 2,5 t·ha⁻¹ (rys. 5). Był znacząco uzależniony od przebiegu warunków pogodowych (susza w latach 2006, 2015, 2018) oraz pojawiania się groźnych chorób, np. askochytozy w bobiku powodowanej przez grzyba *Ascochyta fabae*, czy antraknozy w łubinach powodowanej przez grzyba *Colletotrichum gloeosporioides*. Średnio w tym okresie rośliny bobowate jadalne plonowały nieco niżej niż bobowate pastewne. W ostatnich latach plony gatunków pastewnych są jednak większe niż gatunków jadalnych. Ponadto odmiany jadalne reagowały na suszę w 2015 r. mniejszym obniżeniem plonu nasion niż rośliny pastewne. Z gatunków roślin bobowatych uprawianych na nasiona w tych latach najkorzystniejszy plon zapewniała uprawa bobiku. Większym plonowaniem od bobiku odznaczały się mieszanki bobowato-zbożowe. W ocenianym czasie znacznie mniejszym plonowaniem odznaczały się natomiast pastewne odmiany grochu i łubinów, najniższym zaś wyka siewna, co wynika z jej uwarunkowań genetycznych.



Rys. 5. Plony nasion roślin bobowatych w Polsce w latach 2000–2019 (GUS 2020)

Plon roślin bobowatych i ich mieszanek jest także zróżnicowany w poszczególnych województwach (tab. 2). Większy od średnich w kraju poziom plonowania odmian grochu jadalnego zbiera się w województwach dolnośląskim i podkarpackim, odmian grochu pastewnego w województwach: dolnośląskim, opolskim i warmińsko-mazurskim, bobiku w województwach: małopolskim, pomorskim i warmińsko-mazurskim, mieszanek ze zbożami w województwach: kujawsko-pomorskim, warmińsko-mazurskim i zachodniopomorskim, a soi w województwach opolskim i małopolskim. Najniższe plony uzyskuje się natomiast w województwie lubuskim.

Mniejszy poziom plonowania roślin bobowatych jest powodowany dużą wrażliwością na przebieg warunków atmosferycznych w okresie wegetacji, zwłaszcza na brak opadów w II i III dekadzie czerwca i w I dekadzie lipca (kwitnienie i zawiązywanie strąków). Niekorzystny wpływ na wysokość uzyskiwanych plonów mają również takie czynniki, jak: niewłaściwe dobieranie gatunków roślin do warunków agroekologicznych i miejsca w zmianowaniu, opóźnianie terminu siewu oraz mała głębokość siewu nasion, niewłaściwa ochrona roślin, zwłaszcza bobiku (mszyca) i łubinów (antraknoza).

Tabela 2
Plony nasion roślin bobowatych (dt·ha⁻¹) w poszczególnych województwach kraju w roku 2015 i 2019 (GUS 2020)

Wyszczególnienie	Groch pastewny		Groch jadalny		Bobik		Łubiny		Mieszanki bobowato-zbożowe		Soja	
	2015	2019	2014	2019	2015	2019	2015	2019	2015	2019	2016	2019
Polska – ogółem	19,1	18,1	27,2	22,1	24,6	23,7	14,0	12,6	21,4	29,3	19,3	19,4
Dolnośląskie	20,7	22,6	31,4	31,4	23,6	22,3	12,5	12,5	18,5	40,6	22,1	20,1
Kujawsko-pomorskie	21,5	18,2	29,8	23,9	25,8	22,3	14,9	14,5	24,0	30,0	20,0	17,0
Lubelskie	20,1	20,0	23,2	19,2	21,3	24,5	15,2	18,8	21,0	27,0	21,3	20,3
Lubuskie	13,5	8,3	24,2	14,0	13,0	9,8	11,0	7,1	16,6	23,8	12,3	13,7
Łódzkie	15,9	13,9	22,3	17,3	22,1	17,6	10,7	9,9	16,1	23,4	14,3	4,2
Małopolskie	18,3	21,7	27,4	27,3	24,3	26,3	16,7	19,0	23,8	31,0	17,2	23,9
Mazowieckie	19,4	13,9	25,7	19,8	15,9	17,8	9,8	11,5	22,1	27,6	17,3	13,7
Opolskie	22,9	25,9	29,1	24,9	20,2	27,4	14,3	17,5	27,4	0,0	23,2	25,2
Podkarpackie	17,6	21,0	29,0	27,6	18,9	25,5	16,1	18,0	23,0	27,7	15,6	20,3
Podlaskie	12,3	10,5	20,8	14,8	19,5	18,5	11,0	11,3	23,1	27,4	20,9	9,6
Pomorskie	19,9	18,7	27,2	26,8	28,7	31,5	14,7	13,7	17,2	30,0	12,9	12,9
Śląskie	18,1	19,6	27,7	20,6	21,6	20,1	14,6	11,8	21,5	18,6	21,3	19,8
Świętokrzyskie	19,5	18,5	25,2	19,2	22,5	21,8	14,6	13,7	22,5	22,4	15,8	14,3
Warmińsko-mazurskie	20,7	24,5	30,7	27,1	27,7	27,9	18,0	18,2	27,5	30,3	15,7	13,7
Wielkopolskie	21,2	17,5	29,5	19,7	19,5	15,3	12,5	11,8	20,7	35,1	18,9	16,4
Zachodniopomorskie	21,2	17,1	36,9	22,0	27,3	17,7	17,9	11,5	29,5	35,6	0,0	14,9

5. POTENCJAŁ PLONOWANIA

Hodowla nowych plennych odmian roślin bobowatych, odpornych na choroby, o mniejszej podatności na wyleganie (groch), wprowadzonych do praktyki rolniczej oraz materiał siewny o wysokiej jakości stanowią jeden z najtańszych i najefektywniejszych środków produkcji mających największy wpływ na uzyskiwane rezultaty.

Wykorzystanie potencjalnych możliwości produkcyjnych roślin bobowatych w latach 2015–2019 wynosiło od 45,7% do 70,4% (tab. 3). Najwyższy wskaźnik wykorzystania charakteryzował łubiny oraz bobik, odpowiednio: 70,4% i 60,2%. Według COBORU (www.coboru.gov.pl) zanotowano istotne zwiększenie poziomu plonowania odmian grochu jadalnego i pastewnego, który w ostatnim okresie wynosił nawet 50%, natomiast plony uzyskiwane w produkcji tylko nieznacznie wzrosły. Jedną z przyczyn tej sytuacji jest wyposażenie technologiczne umożliwiające właściwe wykonanie zabiegów agrotechnicznych. Istotny wydaje się również zanik tradycji uprawy tych roślin oraz błędy popełniane w technologii uprawy.

Intensywna hodowla w ciągu wielu ostatnich lat przyczyniła się do wyhodowania wielu wartościowych odmian roślin bobowatych o wysokim potencjale plonowania. W 2013 r. w rejestrze COBORU (www.coboru.gov.pl) było zarejestrowanych 58 odmian tych gatunków. Do praktyki rolniczej wprowadzono nowe samokończące odmiany bobiku, łubinu żółtego, wąskolistnego i białego oraz wyki siewnej o zmienionym pokroju, odmiany soi o zróżnicowanej wczesności dojrzewania oraz odmiany łubinów odznaczające się znikomą zawartością alkaloidów i innych substancji antyżywniowych. Hodowla dostarczyła odmiany wąskolistne grochu ogólnoużytkowego i pastewnego, odznaczające się znacznie mniejszą skłonnością do wylegania. Odmiany te charakteryzują się też znacznie większą plennością (o kilka %) od odmian dotychczas zarejestrowanych. Wyhodowane nowe odmiany charakteryzują się nowymi typami użytkowymi, co umożliwia stosunkowo szybki wzrost plonów nasion roślin bobowatych oraz zwiększenie samowystarczalności w zakresie produkcji białka paszowego.

Tabela 3

Wykorzystanie potencjału genetycznego roślin bobowatych w latach 2015–2019
(synteza wyników doświadczeń rejestrowych na podstawie danych COBORU)

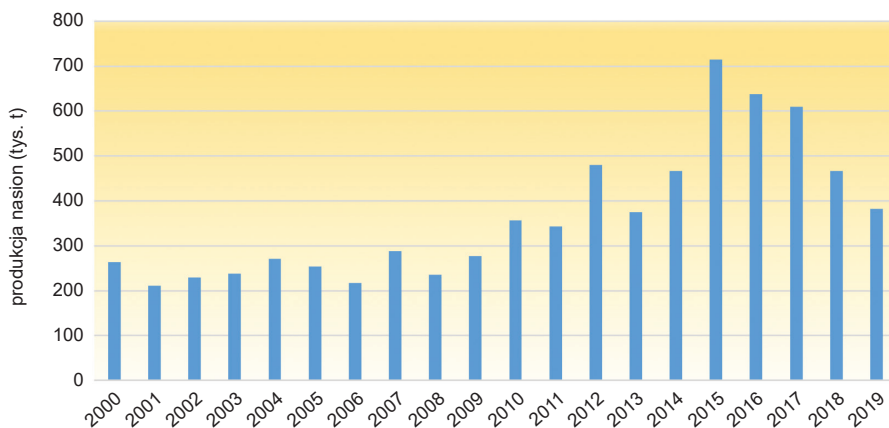
	Gatunek	2015	2016	2017	2018	2019	Średnia
Plony wg COBORU	bobik	45,6	44,7	49,8	40,5	31,6	42,4
	groch (pastewny i jadalny)	50,8	48,3	51,9	46,6	38,1	47,1
	łubin ¹	20,2	24,6	21,4	17,2	19,5	20,6
	soja		34,6	35,4	40,0	33,1	35,8
Plony w produkcji	bobik		27,0	27,0	23,3	23,7	25,1
	groch (pastewny i jadalny) ²	24,6	23,6	24,5	19,8	20,1	21,4
	łubin	19,1	16,3	16,3	13,0	12,6	14,4
	soja	14,0	19,3	21,7	18,9	19,4	19,8
Wykorzystanie potencjału roślin	bobik		60,4	54,2	57,5	75,0	60,2
	groch (pastewny i jadalny) ²	53,9	48,8	47,2	42,5	52,7	45,7
	łubin	37,5	66,3	76,2	75,6	64,6	70,4
	soja	69,3	55,8	61,3	47,3	58,6	55,8

¹średnia plonu łubin żółty i wąskolistny

²średnia plonu groch pastewny i jadalny

6. PRODUKCJA NASION

Zróźnicowanie areалу uprawy na przestrzeni lat oraz stosunkowo niski i zmienny poziom plonowania determinują krajową produkcję nasion roślin bobowatych. Znaczenie naszego kraju jako producenta nasion roślin bobowatych zmieniało się na przestrzeni lat, a zbiory nasion wahały się od ok. 220 tys. t w 2006 r. do ponad 700 tys. t w 2015 r. (rys. 6). Produkcja nasion gatunków uprawianych w Polsce w latach 2015–2019 wynosiła od 382,7 do 714,8 tys. t. Średnio w tych latach produkcja przekroczyła 550 tys. t, w tym ok. 160 tys. t z wykorzystaniem na cele spożywcze. Ze względu na skalę produkcji nasion roślin bobowatych w gronie państw europejskich Polska jest na dalszym miejscu, a produkcja nasion jest mniejsza niż w Niemczech, Anglii, we Francji czy Włoszech. Nasiona roślin bobowatych są wykorzystywane głównie jako źródło białka w dawkach pokarmowych dla zwierząt oraz są cennym składnikiem diety człowieka. W zależności od rejonu świata, ich wykorzystanie jest bardzo różne. Kraje mniej zamożne prawie wszystkie wyprodukowane nasiona wykorzystują jako bezpośrednie pożywienie dla ludzi, głównie spożywa się je w mało przetworzonej postaci. W wielu krajach wysoko rozwiniętych spożycie nasion jest zdecydowanie mniejsze i są konsumowane w dużej części w postaci przetworzonej – jako dodatek do pieczywa, makaronów, chipsów, mleka lub produktów mlecznych. W Polsce 70–75% produkowanych nasion roślin bobowatych przeznacza się na paszę, głównie dla zwierząt monogastrycznych i ok. 25–30% na cele spożywcze (Rynek pasz 2019).



Rys. 6. Krajowa produkcja nasion roślin bobowatych (GUS 2020)

7. POWIERZCHNIA UPRAWY MATERIAŁU KWALIFIKOWANEGO

Areał plantacji nasiennych roślin bobowatych w 2019 r. zmniejszył się w stosunku do 2015 r. o ok. 55% (z 22,7 tys. do 10,4 tys.) (tab. 4). Najsilniejsze zmniejszenie areału w stosunku do 2015 r. zanotowano w 2016 r. Materiał siewny łubinu wąskolistnego i grochu siewnego reprodukowany jest na znacznie większej powierzchni niż pozostałych gatunków. Ponadto zanotowano silne ograniczenie (ponad 4-krotne) produkcji kwalifikowanych nasion soi. Wykorzystanie postępu biologicznego oraz produkcja materiału kwalifikowanego ma bardzo duże znaczenie, gdyż wpływa na wzrost wartości biologicznej nasion zależnie od stopnia kwalifikacji, a efektem jest dalsze zwiększenie plonu z jednostki powierzchni.

Tabela 4

Powierzchnia zakwalifikowanych do zbioru plantacji nasiennych roślin bobowatych w Polsce w latach 2015–2019 (ha) (syntezy wyników doświadczeń rejestrowych na podstawie danych COBORU)

Gatunek	Rok					Średnia
	2015	2016	2017	2018	2019	
Łubin wąskolistny	6924	4945	4301	2732	4068	4594
Groch siewny	4984	3543	3618	2832	2239	3443
Łubin żółty	3035	1940	1738	1164	937	1763
Bobik	2095	754	1187	1098	1379	1303
Wyka siewna	1554	2058	1099	731	791	1246
Łubin biały	70	7,7	16,8	61	99	51
Soja	4073	1716	1671	1231	977	1934
Razem	22735	14964	13631	9849	10490	

8. WSPARCIE BEZPOŚREDNIE DO UPRAWY ROŚLIN BOBOWATYCH

Od 2017 r. wsparcie bezpośrednie w sektorze roślin wysokobiałkowych przyznawane jest w ramach dwóch płatności:

- **płatność do roślin bobowatych** na ziarno przysługuje do powierzchni upraw następujących roślin (również w przypadku upraw tych roślin w formie mieszanek): bobik; groch siewny, w tym peluszką, z wyłączeniem grochu siewnego cukrowego i grochu siewnego łuskowego; łubin biały; łubin wąskolistny; łubin żółty; soja zwyczajna.

Warunkiem przyznania płatności jest dokonanie zbioru ziarna (nasion). Płatność ma charakter degresywny – wyższa stawka stosowana jest do pierwszych 5 ha upraw w gospodarstwie, niższa do powierzchni powyżej 75 ha. W tabeli 5 przedstawiono informacje o realizacji płatności do roślin bobowatych w latach 2017–2019.

Tabela 5

Płatności bezpośrednie do roślin bobowatych w latach 2017–2020 (dane ARiMR)

Wyszczególnienie		2017	2018	2019	2020
Koperta finansowa	mln EUR	51,2	51,5	51,8	
	mln PLN	220,3	220,2	226,6	
Powierzchnia zgłoszona do wsparcia (ha)	do 75 ha	360 238	300 721	292 210	324200
	ponad 75 ha	5 889	9 194	7 391	
Stawka do 75 ha	EUR	140,91	168,57	174,91	
	PLN	606,52	721,04	765,80	724,38
Stawka ponad 75 ha	EUR	70,46	84,28	87,46	
	PLN	303,26	360,52	382,90	362,19
Liczba wnioskujących	do 75 ha	125 017	93 332	87 927	
	ponad 75 ha	162	182	164	

- **płatność do roślin pastewnych** przysługuje do powierzchni upraw roślin wykorzystywanych głównie do produkcji pasz objętościowych: esparceta siewna; koniczyna czerwona; koniczyna biała; koniczyna białoróżowa; koniczyna perska; koniczyna krwistoczerwona; komonica zwyczajna; lędźwian; lucerna siewna; lucerna mieszańcowa; lucerna chmielowa; nostrzyk biały; seradela uprawna; wyka kosmata; wyka siewna.

Płatność przysługuje również w przypadku upraw tych roślin w formie mieszanek oraz w przypadku upraw mieszanek z roślinami bobowatymi przeznaczonymi na ziarno. W przypadku wyki siewnej i wyki kosmatej dopuszcza się ponadto uprawę z rośliną podporową spoza tej listy. Uprawa zgłoszona do wsparcia nie może zostać przeznaczona na zielony nawóz. Płatnością może być objęte nie więcej niż

75 ha uprawy w gospodarstwie. W tabeli 6 przedstawiono informacje o realizacji płatności do roślin pastewnych w ramach kampanii 2017–2019, natomiast łączne wydatki na wsparcie roślin bobowatych uprawianych na nasiona oraz roślin pastewnych są zaprezentowane w tabeli 7.

Tabela 6

Płatności bezpośrednie do roślin pastewnych latach 2017–2020 (dane ARiMR)

Wyszczególnienie		2017	2018	2019	2020
Koperta finansowa	mln EUR	17,1	17,2	17,3	
	mln PLN	73,4	73,4	75,5	
Powierzchnia zgłoszona do wsparcia (ha)	do 75 ha	189 997	167 270	162 892	164 700
Stawka	EUR	89,79	102,56	105,91	
	PLN	386,46	438,71	463,71	468,05
Liczba wnioskujących	do 75 ha	83 400	71 647	67 279	

Tabela 7

Łączna pula środków na płatności do roślin wysokobiałkowych w latach 2017–2020 (do roślin bobowatych na nasiona i roślin pastewnych) (dane ARiMR)

Wyszczególnienie		2017	2018	2019	2020
Sektor roślin wysokobiałkowych	mln EUR	68,24	68,62	69,01	67,82

9. PRODUKCJA WYSOKOBIAŁKOWYCH SUROWCÓW PASZOWYCH

Produkcja nasion oleistych na świecie w ostatnich latach zwiększa się o kilka procent w każdym roku (tab. 8). Ze względu na zmienny przebieg warunków atmosferycznych w okresie wegetacji, poziom wzrostu i zmian produkcji jest zróżnicowany. Rosnące zapotrzebowanie na nasiona tych gatunków wynika głównie ze zwiększającej się liczby ludności na świecie i potrzeby poprawy wyżywienia społeczeństw, natomiast rozwój produkcji zwierzęcej z zastosowaniem pasz przemysłowych zwiększa zapotrzebowanie na śruty wysokobiałkowe (Świącicki i in. 2020). Nie bez znaczenia jest również rozwój produkcji biopaliw, co zwiększa popyt na oleje roślinne. Nasiona soi stanowią ponad 65% globalnej produkcji nasion, pozostałe 35% to nasiona rzepaku i słonecznika. Najwięcej nasion soi produkuje się

w USA i Brazylii, gdzie zbiory wynoszą ponad 120 mln t, w Argentynie – ponad 50 mln t, Chinach – ok. 15 mln t i w Paragwaju – ponad 10 mln t. Znaczne ilości nasion tego gatunku produkowane są w UE-28 (ok. 2,7 mln t), Rosji i Ukrainie (po ok. 7,7 mln t). Największymi eksporterami nasion soi są Brazylia i USA, a najwięcej nasion kupowane jest przez UE-28, a poza Europą przez Chiny. Udział Chin w światowym handlu tym surowcem w ostatnich latach wynosi od 62 do 65%, a zakupy od 25 do 28% globalnej produkcji nasion soi. W państwie tym zużywanych jest ponad 111 mln t nasion soi, co stanowi ok. 32% jej globalnego zużycia (Wiadomości rolnicze 2017). Na świecie produkowane jest od 220 do 240 mln t śruty sojowej (tab. 9), głównie w Chinach i USA, Brazylii, Argentynie. Najwięcej tej paszy eksportuje Argentyna, Brazylia, USA, a importerami są głównie UE-28, Wietnam i Indonezja.

Tabela 8

Światowy bilans głównych nasion oleistych (mln t) (Rynek pasz 2019)

Wyszczególnienie	2016/2017	2017/2018	2018/2019	2019/2020 prognoza
Zapasy początkowe	89,9	108,6	109,4	127,9
Produkcja	552,3	556,3	574,1	557,5
w tym: soja	348,3	341,7	361,8	344,6
rzepak	63,3	67,0	64,8	62,3
słonecznik	50	49,2	52,6	52,6
pozostałe	90,7	98,4	94,9	98,0
Ogólna podaż	642,2	664,9	683,5	685,3
w tym: soja	425,2	436,4	453,6	455,0
Udział soi w podaży	66,2	65,6	66,4	66,4
Ogólne zużycie	532,4	555,5	566,6	567,9
w tym: soja	329,5	344,7	343,2	353,7
rzepak	63,3	64,1	64,2	63,6
słonecznik	49,6	49,3	52,2	52,6
pozostałe	90	97,4	96,0	98,0
Zapasy końcowe	109,8	109,4	127,9	117,4
w tym: soja	95,7	91,8	110,4	101,3
Zapasy/zużycie 9%	20,6	19,7	23,0	20,7
w tym: soja	29,0	26,6	32,2	28,6

Tabela 9

Światowy bilans śruty sojowej (mln t) (Rynek pasz 2019)

Wyszczególnienie	2016/2017	2017/2018	2018/2019	2019/2020 prognoza
Zapasy początkowe	8,28	9,04	9,85	8,80
Produkcja	223,91	238,50	233,21	242,70
Podaż	232,19	247,54	243,06	251,50
Import	64,81	64,87	66,68	68,86
Eksport	64,80	65,21	66,85	69,00
zużycie	223,31	237,35	234,09	242,20
Zapasy końcowe	8,90	9,85	8,80	9,16

W ostatnich latach w EU-28 zużywane jest ponad 55 mln t śrut wysokobiałkowych, przy czym śruta sojowa stanowi z tego ok. 57%, a znaczącym uzupełnieniem zapotrzebowania na białko paszowe jest śruta rzepakowa i śruta słonecznikowa (tab. 9). Produkcja wysokobiałkowych surowców paszowych pokrywa zapotrzebowanie w ok. 55% (tab. 10–12). Bilans pasz uzupełniany jest głównie importem soi (ok. 15 mln t) oraz śruty sojowej (ok. 21 mln t). Eksperci wskazują, że w krajach UE nie wykorzystuje się w pełni potencjalnych możliwości produkcji nasion roślin bobowatych. Dostrzegana jest jednak celowość większego uniezależnienia się od tego surowca, wskazując na duże możliwości rozwoju produkcji rodzimych źródeł białka roślinnego. Ponadto zwiększenie areалу uprawy tych roślin zmniejszy pogłębiający się deficyt surowców roślinnych bogatych w białko, pochodzących z rodzimych gatunków roślin, ale także wpłynie korzystnie na utrzymanie wysokiej żyzności gleb wynikającej z uwzględniania w płodozmianie roślin charakteryzujących się dodatnim bilansem materii organicznej. Zagadnieniami produkcji nasion roślin bobowatych zajmował się też Parlament Europejski, wynikiem czego był raport Komisji Europejskiej dotyczący rynku białka paszowego w UE (Rynek pasz 2019). Podkreślono w nim rolę własnych źródeł białka w różnych paszach (konwencjonalnych i premium bez GMO) alternatywnych do soi oraz zwiększające się w UE zapotrzebowanie na białko roślinne w kontekście zalet środowiskowych wynikających z uprawy tych roślin. Z danych zamieszczonych w powyższym raporcie wynika, iż udział pasz bez GMO w żywieniu drobiu w Szwecji i na Węgrzech wynosi 100%, w Austrii – 85%, Niemczech – 49%, a w Polsce jedynie ok. 5%.

Tabela 10

Produkcja wysokobiałkowych surowców paszowych w UE -28 (mln t) (Rynek pasz 2019)

Wyszczególnienie	2016/17	2017/18	2018/19 szacunek
Śruty i mączka rybna	29,9	30,9	30,9
w tym: śruta sojowa	11,5	12,2	12,4
rzepakowa	13,7	13,5	13,6
słonecznikowa	4,0	4,6	4,4

Tabela 11

Handel surowcami oleistymi i mączką rybną w UE-28 (mln t) (KE 2018)

Wyszczególnienie	2016/17	2017/18	2018/19
Import soi	14,30	15,40	15,60
Import rzepaku	5,30	4,43	4,73
Import śruty	26,50	26,10	27,10
w tym: śruty sojowej	20,10	20,00	20,20
Eksport śrut	1,29	13,90	1,33

Tabela 12

Zużycie śrut wysokobiałkowych w krajach UE-28 (mln t) (Rynek pasz 2019)

Wyszczególnienie	2016/17	2017/18	2018/19 szacunek
Śruty oleiste razem	55,1	55,6	56,6
w tym: śruta sojowa	31,3	31,8	32,3
rzepakowa	13,5	13,4	13,5
słonecznikowa	7,0	7,7	7,7

W Polsce wykorzystanie surowców wysokobiałkowych w ostatnich 20 latach systematycznie się zwiększa (tab. 13). Jest to spowodowane przede wszystkim stale rozwijającą i zwiększającą się produkcją drobiarską. Wzrasta również zapotrzebowanie na te pasze w chowie trzody chlewnej, wynikające głównie ze zmian technologii żywienia zwierząt, ale także szybko postępującego procesu koncentracji produkcji. Znacząco zwiększa się również zużycie pasz wysokobiałkowych w żywieniu krów mlecznych, spowodowane wzrostem intensywności produkcji mleka,

ale także organizacją żywienia zwierząt. Ponadto zakaz stosowania pasz pochodzenia zwierzęcego po wystąpieniu gąbczastej encefalopatii bydła (BSE) spowodował zwiększenie zapotrzebowania na surowce pochodzenia roślinnego. Przyczyniło się to także do zwiększenia importu śruty sojowej. W naszym kraju najważniejszym źródłem białka paszowego jest w dalszym ciągu poekstrakcyjna śruta sojowa, której import zwiększa się i wynosi już ok. 2,5 mln t (tab. 14). Znacząca jest także produkcja śrut oleistych, głównie śruty rzepakowej oraz śruty słonecznikowej (tab. 14). W ostatnich latach w bilansie śrut zwiększa się udział pasz produkowanych w Polsce, a zmniejsza udział pasz importowanych, w tym zwłaszcza udział poekstrakcyjnej śruty sojowej (tab. 15). Spowodowane jest to głównie wzrostem produkcji śruty rzepakowej oraz produkcji nasion roślin bobowatych. Natomiast badania przeprowadzone w ostatnich latach przez Hejdysza i in. (2018 i 2019), Kaczmarka i in. (2016 i 2019) wykazały, że graniczne udziały krajowych źródeł białka w paszach dla zwierząt monogastrycznych mogą być znacznie większe od dotychczas zalecanych. Ponadto wykazano, iż wartość paszy sporządzonej z udziałem krajowych źródeł białka jest podobna lub większa w porównaniu ze śrutą sojową. Zdaniem Świącieckiego i in. (2020) uzasadnione jest stosowanie śruty z łubinu, bobiku czy krajowej śruty rzepakowej, gdyż koszt 1 kg białka jest mniejszy niż ze śruty sojowej, mniejszy jest też koszt i ilość paszy zużytej na wyprodukowanie 1 jajka lub 1 kg mięsa.

Tabela 13

Zużycie wysokobiałkowych surowców paszowych w Polsce (tys. t)
(Rynek pasz 2017, 2018 i 2019)

Wyszczególnienie	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19 szacunek	2019/2020 prognoza
Śruty nasion oleistych	2776	3258	3269	3474	3938	3722	3914
– sojowa	1719	2021	2311	2248	2423	2363	2450
– rzepakowa	596	849	593	858	1070	959	1039
– słonecznikowa	446	383	360	363	440	396	420
– pozostałe	6	5	5	6	6	5	5
Mączka rybna	29	31	35	38	38	41	41
Nasiona bobowate	278	333	467	383	373	277	290
Razem zużycie	3074	3621	3770	3895	4349	4040	4245

Śruta sojowa do Polski importowana jest głównie z Ameryki Południowej, w tym przede wszystkim z Argentyny, z której import w ciągu ostatnich 6 lat podwoił się (tab. 15–16). Zwiększa się też przywóz z Brazylii i USA, ale przede wszystkim z Paragwaju. W ostatnich kilku latach rosło też znaczenie dostaw śruty sojowej z Rosji, natomiast import z Ukrainy jest niewielki i utrzymuje się na stałym poziomie. Systematycznie ograniczany jest zakup z krajów UE (Niemcy i Holandia). Zapotrzebowanie przemysłu paszowego na poekstrakcyjną śrutę sojową spowodowane jest przede wszystkim możliwością zakupu dużej, jednolitej partii surowca takiej samej jakości, dzięki czemu łatwiejsze jest w mieszalniach pasz opracowanie i przestrzeganie stosowanej receptury. Ponadto powszechność wykorzystania poekstrakcyjnej śruty sojowej spowodowana jest także jej łatwą dostępnością i stosunkowo niską ceną. Duże możliwości oraz łatwość zakupu są istotnym czynnikiem mającym wpływ na powierzchnię uprawy rodzimych gatunków roślin bobowatych w naszym kraju. Wprowadzone ograniczenia dotyczące zakupu poekstrakcyjnej śruty sojowej w drugiej połowie lat 80. zwiększyły powierzchnię uprawy tych gatunków w naszym kraju, ale także w wielu innych krajach europejskich. Możliwości zakupu dużych partii surowca w tym okresie miały znaczący wpływ na mniejsze zapotrzebowanie firm paszowych na nasiona rodzimych gatunków roślin bobowatych. Sprowadzana do naszego kraju poekstrakcyjna śruta sojowa w ponad 90% jest genetycznie modyfikowana. Brak możliwości stosowania takich surowców paszowych zgodnie z ustawą o paszach (DZ.U. z 2025 r. poz. 320) zwiększył bardzo duży deficyt wysokobiałkowych surowców roślinnych. Przeprowadzona ocena wskazuje, iż wykorzystanie tej paszy można ograniczyć przez zastosowanie poekstrakcyjnej śruty rzepakowej oraz nasion rodzimych gatunków roślin bobowatych. Aby to zapewnić, areal ich uprawy powinien wzrosnąć do ok. 500 tys. ha, czyli do stanu z końca lat 80. poprzedniego wieku. Poekstrakcyjna śruta sojowa jest szeroko wykorzystywana jako źródło białka pochodzenia roślinnego, co wynika z dużej zawartości białka o bardzo dobrej strawności (tab. 17) umożliwiającej jej zastosowanie w żywieniu wielu gatunków zwierząt monogastrycznych i przeżuwających utrzymywanych w gospodarstwach rolnych. Koncentracja białka (ok. 45–47%) oraz zbilansowany skład aminokwasowy ułatwiają bilansowanie dawek z innymi komponentami paszowymi, zwłaszcza zbożami. W poekstrakcyjnej śrucie sojowej jest duża koncentracja lizyny – aminokwasu egzogenne, który zmniejsza syntezę białka w organizmie zwierząt. Surowiec ten zawiera mało tłuszczu (ok. 2%) w porównaniu z nasionami niektórych rodzimych gatunków roślin bobowatych, w których zawartość może wynosić nawet ok. 10% tłuszczu.

Tabela 14

Produkcja surowców paszowych w Polsce (tys. t) (Rynek pasz 2017, 2018 i 2019)

	07/08	08/09	09/10	10/11	11/12	12/13	13/14	14/15	15/16	16/17	17/18	18/19	2019/ 2020
Wyszczególnienie													
Ziarno zbóż Prod. ub. przemysłu zbożowego	16916 1591	17314 1590	18766 1564	16236 1521	15913 1528	17660 1352	17615 1354	21026 1352	17446 1342	19561 1349	21380 1308	16256 1343	18285 1376
Razem surowce zbożowe	18507	18904	20330	17757	17441	19012	18969	22378	18788	20910	22688	17599	19661
Śruty nasion oleistych	962	1200	1440	1310	1270	1167	1244	1494	1182	1530	1680	1488	1584
Nasiona bobowatych	210	175	212	268	251	395	291	352	543	458	436	328	313
Mączki poch. zwierzęcego	17	18	19	20	20	21	21	22	23	23	24	25	25
Razem surowce wysokobiałkowe	1189	1393	1671	1598	1541	1583	1556	1868	1748	2011	2140	1841	1922
Surowce paszowe ogółem	19696	20297	22001	19355	18982	20595	20525	24246	20536	22921	24828	19440	21583

Tabela 15

Bilans śrut w Polsce (tys. t) (Rynek pasz 2017, 2018 i 2019)

Wyszczególnienie	07/08	08/09	09/10	10/11	11/12	12/13	13/14	14/15	15/16	16/17	17/18	18/19	2019/2020 proгноza
Prod. krajowa	988	1225	1440	1310	1270	1167	1244	1494	1182	1530	1680	1488	1584,4
Import śrut, w tym:	2166	1941	2248	2424	2636	2367	2326	2555	2763	2724	2941	2904	3044
sojowa	2007	1706	1876	1927	1892	1762	1179	2083	2332	2283	2434	2427	2490
słonecznikowa	140	217	357	454	669	534	480	409	377	396	478	415	440
rzepakowa	11	9	12	14	18	53	61	58	49	39	23	34	35
pozostałe	8	9	3	29	57	18	6	5	5	6	5	5	5
Zużycie krajowe	2682	2579	3062	3129	3375	2864	2765	3256	3268	3484	3934	3741	3968
Eksport śrut	472	587	626	605	531	670	805	793	677	770	687	651	660
Zużycie śrut (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100,0
w tym													
Prod. krajowa (%)	19,2	24,7	26,6	22,5	21,9	17,3	15,9	21,5	15,5	21,8	25,2	22,4	23,3
Import	80,8	75,3	73,4	77,5	78,1	82,7	84,1	78,5	84,5	78,2	74,8	77,6	76,7
Udział śrut sojowych	74,8	66,1	61,3	61,6	56,1	61,5	64,3	64,0	71,4	65,5	61,9	64,9	62,8

Tabela 16

Kierunki importu śruty sojowej (tys. t) do Polski (Rynek pasz 2017, 2018 i 2019)

Wyszczególnienie	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019 (I półrocze)
Ogółem	1660,2	1957,9	2141,3	2283,1	2408,4	2510,7	1176,9
UE-28	117,1	98,1	171,1	84,2	70,4	138,1	43,5
w tym: Niemcy	36,7	41,9	166,5	53,7	54,3	84,2	20,3
Holandia	73,5	30,9	1,0	23,6	10,3	46,4	9,8
Ameryka Południowa	1109,7	1601,0	1709,3	1991,0	2260,5	2122,7	886,4
w tym: Argentyna	982,5	1253,1	1273,4	1484,0	1757,1	1229,2	491,9
Brazylia	73,4	98,5	93,8	45,6	68,3	536,3	237,9
Paragwaj	38,9	249,4	341,8	61,7	412,5	342,9	156,6
USA	377,2	59,2	78,3	33,3	27,9	86,8	128,2
Kanada	-	-	-	42,2	-	17,6	-
Rosja	48,9	178,1	168,3	112,9	32,0	81,7	18,9
Ukraina	5,2	4,8	12,3	17,7	13,4	54,0	92,3
Pozostali	2,1	16,7	2,0	1,8	4,2	9,8	13,3

Tabela 17

Podstawowy skład chemiczny śruty sojowej i nasion rodzimych gatunków roślin bobowatych (%) (opracowanie własne)

Wyszczególnienie	Śruta sojowa	Groch siewny	Bobik	Łubin wąskolistny	Łubin żółty
Białko	45–47	20–22	25–27	34–36	44–46
Włókno surowe	2,5–3,5	5,5–6,5	6,5–7,5	16–17	15–16
Tłuszcz	1,5–2,0	1–2	1–2	5–6	5–6

W Polsce od 2010 r. produkcja nasion roślin bobowatych systematycznie zwiększała się, co było spowodowane głównie wprowadzeniem dopłat do powierzchni ich uprawy (tab. 18). Natomiast zakaz wykorzystania środków ochrony w uprawach zaliczanych do EFA i braku wsparcia do tych powierzchni spowodowały ograniczenie areалу uprawy i zmniejszanie produkcji nasion. Wyprodukowane nasiona wykorzystywane są głównie w kraju do produkcji pasz dla zwierząt monogastrycznych. Od 2015 r. zwiększył się eksport nasion tych gatunków, ale przede wszystkim nasion łubinu wąskolistnego, bobiku i grochu. Nasiona te eksportowano głównie do Holandi, Niemiec, Hiszpanii oraz Norwegii. Poesktrakcyjna śruta rzepakowa oraz nasiona roślin bobowatych eksportowane za granicę wracają do naszego kraju w importowanych paszach treściwych.

Tabela 18

Bilans nasion bobowatych w Polsce (tys. t) (Rynek pasz 2017, 2018 i 2019)

Wyszczególnienie	2007/2008	2008/2009	2009/2010	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014	2014/2015	2015/2016	2016/2017	2017/2018	2018/2019 szacunek	2019/2020 prognoza
Produkcja	210	175	212	268	251	395	291	352	543	458	436	328	313
Import	30	16	15	20	20	17	16	15	16	17	28	20	30
Zużycie krajowe	228	177	216	284	259	398	278	333	467	383	373	277	290
Eksport	12	14	11	4	12	14	29	35	92	92	91	71	53

9.1. ROLNICZE I POZAROLNICZE CZYNNIKI DECYDUJĄCE O MOŻLIWOŚCIACH UPRAWY

Ważnym elementem zmniejszającym zainteresowanie uprawą roślin bobowatych w Polsce są uzyskiwane mniejsze plony nasion, zmienność poziomu plonowania w latach oraz braki w wyposażeniu technicznym producentów rolnych. Celowe jest podejmowanie prac prowadzących do zmiany tego stanu. Konieczne jest dotowanie polskich stacji hodowli zajmujących się hodowlą tych gatunków oraz wspieranie przez państwo doradztwa technologicznego dotyczącego ich uprawy. Wsparcie MRiRW do hodowli roślin bobowatych zostało ograniczone w 2008 r. Pomoc mogłaby dotyczyć środków finansowych w formie preferencyjnych kredytów, które rolnicy mogliby otrzymywać na zakup potrzebnych środków produkcji oraz kwalifikowanego materiału siewnego. Ważne jest także promowanie rozwoju grup producentów roślin bobowatych, które mogłyby zajmować się wspólnymi zakupami potrzebnych środków produkcji, organizowaniem doradztwa technologicznego, prowadzeniem sprzedaży nasion (z pominięciem pośrednika) do mieszalni pasz lub eksporterów. Działania takie ułatwią dostęp i zakup nowoczesnych narzędzi i maszyn (zwłaszcza siewników) zapewniających właściwe wykonanie zabiegów uprawnych. Pozwolą również na dokonywanie wspólnych inwestycji wykorzystywanych do zabezpieczenia zebranych nasion, np.: budowa suszarni, czyszczalni, przechowalni nasion. Ma to istotne znaczenie nie tylko dla gospodarstw zajmujących się produkcją roślinną, ale także produkcją zwierzęcą. Bardzo istotne jest wprowadzanie i upowszechnianie nowo zarejestrowanych plenniejszych odmian, a także stosowanie innowacyjnych technologii produkcji i konserwacji nasion roślin bobowatych. Celowość takich działań wynika głównie z wielu niepodważalnych korzyści płynących z uprawy gatunków tych roślin. Istotna jest także poprawa ekonomicznej opłacalności ich uprawy, między innymi poprzez zastosowanie uproszczeń w uprawie czy racjonalne wykorzystanie środków ochrony roślin. Ważnym zagadnieniem jest także lepsze przygotowanie rynku obrotu i handlu nasionami tych gatunków dzięki wprowadzeniu ich do obrotu giełdowego. Konieczna jest także dobra współpraca

pomiędzy rolnikami produkującymi nasiona roślin bobowatych a ich odbiorcami, np. mieszalnikami pasz, zakładami koncentratów spożywczych lub innymi jednostkami gospodarczymi. Aktualnie takie rozwiązania notowane są bardzo rzadko, co wynika z dużego rozdrobnienia gospodarstw rolnych oraz niewielkiego zainteresowania jednostek skupujących nasiona. Taka organizacja mogłaby służyć zarówno rolnikom, którzy mogliby uprawiać gatunek i odmianę zgodną z zapotrzebowaniem zakładu, według takiej samej technologii i jednocześnie mieliby zapewnienie sprzedaży nasion, jak i odbiorcom nasion, gdy do mieszalni pasz i innych przedsiębiorstw dostarczane byłyby większe ilości jednolitego surowca o standardzie jakości zgodnym z ich oczekiwaniami. Konieczne jest także upowszechnienie wszystkim uczestnikom rynku (rolnikom, jednostkom handlu, przetwórstwa i doradztwa) informacji dotyczących regulacji prawnych obowiązujących w UE, aby podjąć prace nad zmianami polskiego prawa zgodnie z prawem w UE oraz możliwości rozwoju produkcji nasion. Ważnym problemem jest także powrót na zagraniczne rynki zbytu nasion, zwłaszcza że istnieje prawdopodobieństwo dalszego ograniczenia ich produkcji w krajach Unii Europejskiej. W dalszym ciągu konieczne jest utrzymanie, a nawet zwiększenie stawek dopłat bezpośrednich do uprawy roślin bobowatych oraz zakupu nasion materiału kwalifikowanego, co przyczyni się do wzrostu areału ich zasiewów. Według wstępnych planów w naszym kraju dopłaty do powierzchni uprawy mogą być zamienione na dopłaty do produkcji. Takie rozwiązanie poprawi dochodowość i konkurencyjność polskich rolników zajmujących się produkcją nasion roślin bobowatych, co może zwiększyć areał uprawy, poprawę intensywności produkcji, przyspieszyć postęp technologiczny, a w rezultacie spowodować wzrost poziomu produkcji tych nasion w Polsce. Poekstrakcyjna śruta sojowa sprowadzana do Polski jest w ponad 90% genetycznie modyfikowana. Ograniczenie wykorzystania takich surowców paszowych zgodnie z ustawą o paszach (Dz.U. z 2025 r. poz. 320) powiększy znacząco braki wysokobiałkowych surowców roślinnych. Wyniki przeprowadzonej oceny wskazują, że importowaną śrutę sojową można zastąpić produkowaną w Polsce poekstrakcyjną śrutą rzepakową oraz nasionami rodzimych gatunków roślin bobowatych. Aby poprawić bilans uprawy roślin bobowatych, należy zwiększyć areał do ok. 500 tys. ha. Zwiększenie powierzchni uprawy roślin bobowatych w znaczący sposób może przyczynić się do racjonalnego wykorzystania środowiska przyrodniczego, na co coraz częściej zwraca się uwagę. Jest to efektem wielu cech roślin bobowatych świadczących o korzystnym ich wpływie na środowisko glebowe. Przyczyniają się bowiem do zwiększenia zawartości substancji organicznej i poprawy jej bilansu w profilu glebowym, co umożliwia ograniczenie dawek azotu stosowanych pod rośliny uprawiane w następstwie oraz polepsza stan fitosanitarny gleby. Biorąc pod uwagę rozwój produkcji integrowanej, rolnictwa ekologicznego, gdzie nie można stosować nawożenia mineralnego i chemicznych środków ochrony roślin, rośliny bobowate będą odgrywały jeszcze większe znaczenie. Możliwość biologicznego wiązania azotu atmosferycznego przez rośliny bobowate oraz zwiększające się koszty stosowania nawozów azotowych w sposób znaczący przyczynią się do zwiększenia areału ich uprawy i udziału w strukturze zasiewów. W dalszym

ciągu konieczne jest prowadzenie badań naukowych dotyczących doskonalenia receptur paszowych, poprawy stabilizacji plonowania roślin bobowatych. Ważnym zagadnieniem jest także stworzenie rynkowej struktury organizacyjnej i logistycznej w zakresie obrotu oraz wykorzystania śruty rzepakowej i nasion roślin bobowatych.

9.2. PERSPEKTYWY

Stosunkowo małe zainteresowanie uprawą roślin bobowatych spowodowane jest między innymi zmiennymi w latach plonami nasion. Znaczący wzrost areалу ich uprawy, ok. 10 lat temu, był spowodowany głównie wprowadzeniem dopłat do powierzchni uprawy oraz realizacją programu wieloletniego dotyczącego tych roślin. W ramach realizacji tego programu przeprowadzono wiele szkoleń i warsztatów upowszechniających rezultaty badań wśród rolników. Potencjalne możliwości plonotwórcze roślin bobowatych są duże, ale ich wrażliwość na niekorzystny przebieg pogody oraz podatność na porażenie przez patogeny chorobotwórcze sprawiają, że uzyskuje się często niskie plony nasion. Mniejsze zainteresowanie uprawą tych gatunków spowodowane jest także stosunkowo niskimi cenami sprzedaży nasion, co powoduje, że ich uprawa jest mało konkurencyjna w porównaniu z innymi gatunkami roślin.

Rośliny bobowate cechuje niski poziom towarowości, co spowodowane jest przez marginalizację w kraju rynku surowca białkowego pochodzącego z rodzimych roślin bobowatych.

Zwiększenie zainteresowania rolników produkcją nasion roślin bobowatych może nastąpić przez stworzenie odpowiedniej struktury rynkowej w zakresie obrotu i wykorzystania nasion roślin bobowatych, co znacznie ułatwiłoby zbyt oraz stworzyłoby możliwości współpracy z zakładami przetwórstwa paszowego.

10. PODSUMOWANIE

Wysoka wartość paszowa nasion i zielonej masy, znaczenie gospodarcze oraz korzystny wpływ na środowisko powodują, że rośliny bobowate są znaczącym elementem produkcji roślinnej. Nasiona tych gatunków mogą być bowiem użytkowane do celów przemysłowych (produkcja oleju), konsumpcyjnych i pastewnych oraz mogą być wykorzystywane jako surowiec do produkcji pasz treściwych, zielonki, nawozu zielonego i zagospodarowywania gruntów odłogowanych. Ponadto w porównaniu z innymi grupami roślin uprawnych wyróżniają się dodatnim bilansem substancji organicznej w glebie i stanowią wartościowy przedplon dla roślin zbożowych, przemysłowych i okopowych. W ostatnich latach XX w. w Polsce uprawiany był głównie groch siewny ogólnoużytkowy i pastewny. Aktualnie zwiększyła się rola uprawy łubinów, zwłaszcza wąskolistnego. Jeden z najważniejszych na świecie gatunków roślin uprawnych, jakim jest soja, w naszym kraju ma, jak dotychczas, stosunkowo niewielkie znaczenie gospodarcze, głównie ze względu na mniej sprzyjające do jej uprawy warunki klimatyczne. Wysokość plonów roślin bobowa-

tych w Polsce na przestrzeni ostatnich lat utrzymywała się na poziomie od 2 do 2,5 t·ha⁻¹, a jednocześnie gatunki jadalne w latach 2000–2006 plonowały średnio wyżej niż pastewne, najlepiej bobik. Ponadto lepszym poziomem plonowania od tego gatunku wyróżniały się mieszanki bobowato-zbożowe. Natomiast niższy poziom plonowania w tym czasie charakteryzował pastewne odmiany grochu i łubinów, najniższy zaś wykę siewną. Wykonane obliczenia wskazują, że wykorzystanie potencjalnych możliwości produkcyjnych roślin bobowatych w latach 2015–2019 wynosiło od 45,7% do 70,4%. Najwyższy wskaźnik wykorzystania charakteryzował łubiny oraz bobik, odpowiednio: 70,4% i 60,2%. Produkcja nasion gatunków uprawianych w Polsce w latach 2015–2019 kształtowała się na poziomie 382,7–714,8 tys. t, średnio w tym okresie wynosiła ok. 550 tys. t, w tym ok. 160 tys. t było wykorzystywane na cele spożywcze. Z puli wyprodukowanych nasion ok. 65–70% wykorzystywanych jest na paszę i ok. 25% jako pożywienie dla ludzi. W naszym kraju do produkcji pasz treściwych wykorzystywanych jest ok. 3,9 mln t wysokobiałkowych surowców roślinnych. Największy udział stanowią śruta rzepakowa i nasiona rodzimych gatunków roślin bobowatych. Najważniejszym źródłem białka paszowego jest w dalszym ciągu poekstrakcyjna śruta sojowa, której import zwiększa się i wynosi już ok. 2,5 mln t. Znacząca jest także produkcja śrut oleistych – jest to głównie śruta rzepakowa oraz śruta słonecznikowa. W ostatnich latach w bilansie śrut zwiększa się udział pasz produkowanych w Polsce, a zmniejsza udział pasz importowanych, w tym zwłaszcza udział poekstrakcyjnej śruty sojowej: z ok. 75% w 2008 r. do ok. 63% w 2020 r. (prognoza). Spowodowane jest to głównie wzrostem produkcji śruty rzepakowej oraz nasion roślin bobowatych. Uzasadnione jest stosowanie śruty z łubinu, bobiku czy krajowej śruty rzepakowej, gdyż koszt 1 kg białka jest mniejszy niż ze śruty sojowej, niższy jest też koszt i mniejsza ilość paszy zużytej na wyprodukowanie 1 jajka lub 1 kg mięsa. Ważnym elementem wpływającym na zainteresowanie rolników uprawą tych gatunków w Polsce są uzyskiwane stosunkowo niskie plony i mała stabilność plonowania w porównaniu z innymi gatunkami roślin uprawnych oraz słabe wyposażenie techniczne producentów. Konieczne jest wspieranie przez państwo polskich stacji hodowli roślin zajmujących się hodowlą tych gatunków, utworzenie doradztwa agrotechnicznego oraz organizowanie i rozwój grup producentów. Istotne jest także wprowadzanie i upowszechnianie nowych plenniejszych odmian, jak również przekazywanie aktualnych zaleceń dotyczących nowych technologii uprawy tych gatunków. Ważne wydaje się również nawiązanie silniejszej współpracy rolników produkujących nasiona roślin bobowatych z jednostkami prowadzącymi ich skup. Konieczne są też prace służące budowie rynku roślin bobowatych, głównie poprzez włączenie ich do obrotu giełdowego. Aby nasiona roślin bobowatych mogły być szerzej stosowane w żywieniu zwierząt, konieczne są prace dotyczące doskonalenia receptur paszowych, badania dotyczące zwiększenia stabilizacji ich plonowania, ale także stworzenie rynkowej struktury organizacyjnej i logistycznej obejmującej obrót oraz wykorzystanie śruty rzepakowej i nasion roślin bobowatych.

11. LITERATURA

1. Alloui O., Smulikowska S., Chibowska M., Pastuszewska B.: The nutritive value of lupin seeds (*L. luteus*, *L. angustifolius* and *L. albus*) for broiler chickens as affected by variety and enzyme supplementation. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 1994, **3**: 215-227.
2. Angus J.F., Kirkegaard J.A., Hunt J.R., Ryan M.H., Ohlander L., Peoples M.B. 2015. Break crops and rotations for wheat. *Crop and Pasture Science*, 2015, **66**(5): 523-552; <https://doi.org/10.1071/CP14252>
3. ARiMR; <https://www.gov.pl/web/arimr>
4. Bähr M., Fechner A., Hasenkopf K., Mittermaier S., Jahreis G.: Chemical composition of dehulled seeds of selected lupin cultivars in comparison to pea and soya bean. *LWT – Food Science and Technology*, 2014, **59**(1): 587-590.
5. Bazzano L.A., He J., Ogden L.G., Loria C., Vupputuri S., Myers L., Whelton P.K.: Legume consumption and risk of coronary heart disease in US men and women: NHANES I Epidemiologic Follow-up Study, *Archives of Internal Medicine*, 2001, **161**(21): 2573-2578.
6. Benetou V., Trichopoulou A., Orfanos P., Naska A., Lagiou P., Boffetta P., Trichopoulos D.: Conformity to traditional Mediterranean diet and cancer incidence: the Greek EPIC co-hort. *British Journal of Cancer*, 2008, **99**(1): 191-195.
7. Blecharczyk A., Skrzypczak G., Małecka I.: Reakcja pszenicy ozimej na przedplon i siew bezpośredni. *Pamiętnik Puławski*, 1999, **118**: 9-16.
8. Blecharczyk A., Śpitalniak J., Małecka I.: Wpływ doboru przedplonów oraz systemów uprawy roli i nawożenia azotem na plonowanie pszenicy ozimej. *Fragmenta Agronomica*, 2006, **2**(90): 273-286.
9. Boreńska L., Niewiadomski W.: Ocena zmianowań o narastającym udziale pszenicy ozimej na glebie średniej i lekkiej. *Acta Academiae Agriculturae ac Technicae Olstenensis*, 1987, **44**: 55-65.
10. Boschin G., D'Agostina A., Annicchiarico P., Arnoldi A.: Effect of genotype and environment on fatty acid composition of *Lupinus albus* L. seed. *Food Chemistry*, 2008, **108**(2): 600-606.
11. Brenes A., Trevino J., Centeno C., Yuste P.: Influence of peas (*Pisum sativum*) as a dietary ingredient and flavomycin supplementation on the performance and intestinal microflora of broiler chicks. *British Poultry Science*, 1989, **30**: 81-98.
12. Buczek J., Bobrecka-Jamro D.: Wpływ przedplonu i nawożenia azotowego na plonowanie i cechy jakościowe pszenicy ozimej. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 2010, **556**: 57-64.
13. Buczek J., Jarecki W., Bobrecka-Jamro D.: Wpływ przedplonów i dawek herbicydów na plon oraz zachwaszczenie pszenicy ozimej. *Annales UMCS, Lublin*, 2013, E, **68**(2): 24-32.
14. Budzyński W., Dubis B.: Plonowanie pszenżyta ozimego jako kryterium rolniczej oceny wartości przedplonowej różnych form łubinu żółtego. *Zeszyty Naukowe AR Szczecin*, 1997, **175**(65): 49-54.
15. Buraczynska D., Ceglarek F.: Plonowanie pszenicy ozimej uprawianej po różnych przedplonach. *Acta Scientiarum Polonorum, Agricultura*, 2008, **7**(1): 27-37.
16. Chrenková M., Formelová Z., Chrastinová L., Flak P., Čerešňáková Z., Lahučková R., Poláček M., Bahelka I.: Influence of diets containing raw or extruded peas instead of soybean meal on meat quality characteristic in growing-finishing pigs. *Czech Journal of Animal Science*, 2011, **56**: 119-126.

17. Chrzanowska-Dróżdż B., Helios W., Kotecki A., Kozak M., Malarz W., Rudko A.: Następczy wpływ mieszanek zbożowo-strączkowych na rozwój i plonowanie pszenicy, żyta i rzepaku ozimego. UP Wrocław, 2015, ss. 7-115.
18. Chrzanowska-Dróżdż B.: Plonowanie pszenżyta ozimego w zależności od przedplonu i nawożenia azotem. Zesz. Nauk AR Szczecin, 1997, **175(65)**: 67-72.
19. Committee on Agriculture and Rural Development 2018. Report on a European strategy for the promotion of protein crops-encouraging the production of protein and leguminous plants in the European agriculture sector, 2017/2116 (INI), 27.03.2018.
20. de Almeida Costa G.E., da Silva Queiroz-Monici K., Reis S.M.P.M., de Oliveira A.C.: Chemical composition, dietary fibre and resistant starch contents of raw and cooked pea, common bean, chickpea and lentil legumes. Food Chemistry, 2006, **94(3)**: 327-330.
21. Dubis B., Budzyński W.: Wartość przedplonowa różnych typów łubinu żółtego dla zbóż ozimych. Roczniki Nauk Rolniczych, A., 1998, **113(3-4)**: 145-154.
22. Duc G.: Faba bean (*Vicia faba* L.). Field Crops Research, 1997, **53**: 99-109.
23. Dzieńia S., Romek B., Sosnowski A.: Wpływ następczy roślin strączkowych na plonowanie zbóż. W: Nowe kierunki w uprawie i użytkowaniu roślin motylkowych. AR Szczecin, 1989, ss. 48-60.
24. Erbaş M., Certel M., Uslu M.K.: Some chemical properties of white lupin seeds (*Lupinus albus* L.). Food Chemistry, 2005, **89(3)**: 341-345.
25. Fabiański J., Chmielewski J., Roszak W.: Wpływ członów zmianowania z udziałem roślin motylkowych na niektóre właściwości fizyczne i chemiczne gleby oraz plon rośliny następcej. W: Nowe kierunki w uprawie i użytkowaniu roślin motylkowych. AR Szczecin, 1989, ss. 120-131.
26. Flight I., Clifton P.: Cereal grains and legumes in the prevention of coronary heart disease and stroke: a review of the literature. European Journal of Clinical Nutrition, 2006, **60**: 1145-1159.
27. Fujita K., Ofosu-Budu K.G., Ogata S.: Biological nitrogen fixation in mixed legume-cereal cropping system. Plant Soil, 1992, **141**: 155-175.
28. Fustec J., Lesuffleur F., Mahieu S., Cliquet J.B.: Nitrogen rhizodeposition of legumes. A review. Agronomy for Sustainable Development, 2010, **30**: 57-66; <https://doi.org/10.1051/agro/2009003>
29. Gouss R.M.: Evaluation of faba bean (*Vicia faba* cv. Fiord) as protein source for broilers. South African Journal of Animal Science, 2011, **41**: 71-78.
30. Grela E., Skórnicki H., Zuba J.: Efektywność mieszanek pełnoporcjowych z udziałem nasion grochu i peluszek w żywieniu tuczników. Biuletyn Informacyjny Przemysłu Paszowego, 1992, **3**: 13-24.
31. Grosjean F., Cerneau P., Bourdillon A., Bastianelli D., Peyronnet C., Duc G.: Feeding value, for pig, of near isogenic faba beans containing or not tannins and with high or low levels of vicine or convicine. Journées de la Recherche Porcine en France, 2001, **33**: 205-210.
32. Hagir B.E., Samia M.A., Wisal H.I., Elfadil E.B., Abdullahi H.E.: Antinutritional factors content and minerals availability in faba bean as affected by cultivar and domestic processing. Journal of Food Technology, 2005, **3(3)**: 378-384.
33. Hammershøj M., Steinfeldt S.: Effects of blue lupin (*Lupinus angustifolius*) in organic layer diets and supplementation with foraging material on egg production and some quality parameters. Poultry Science, 2005, **84**: 723-733.
34. Hanczakowska E., Księżak J.: Krajowe źródła białkowych pasz roślinnych jako zamiennik śruty sojowej GMO w żywieniu świń. Roczniki Naukowe Zootechniki, 2012, **39(2)**: 171-187.

35. H a r a s i m A.: Efektywność ekonomiczna wybranych elementów agrotechniki pszenicy ozimej w różnych stanowiskach. *Acta Academiae Agriculturae ac Technicae Olstenensis. Agricultura*, 66, 1998, **66**: 67-71.
36. Hedemann M.S., Eskildsen M., Laerke H.N., Pedersen C., Lindberg J.E., Laurinen P., Bach Knudsen K.E.: Intestinal morphology and enzymatic activity in newly weaned pigs fed contrasting fiber concentrations and fiber properties. *Journal of Animal Science*, 2006, **84**: 1375-1386.
37. Hej d y s z M., Kaczmarek S., Rogiewicz A., Rutkowski A.: Influence of graded dietary levels of meals from three lupin species on the excreta dry matter, intestinal viscosity, excretion of total and free sialic acids, and intestinal morphology of broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*, 2018, **241**: 223-232.
38. Hej d y s z M., Kaczmarek S., Rogiewicz A., Rutkowski A.: Influence of graded levels of meals from three lupin species on growth performance and nutrient digestibility in broiler chickens. *British Poultry Science*, 2019; DOI:10.1080/00071668.2019.1593947.
39. Hej d y s z M., Kaczmarek S., Mikuła R., Perz K., Wiśniewska Z., Kubiś M., Rutkowski A.: Badania nad efektywnością krajowych roślinnych pasz białkowych w żywieniu drobiu. W: Zalecenia dotyczące stosowania krajowych pasz białkowych pochodzenia roślinnego w żywieniu świń i drobiu. UP Poznań, 2020, ss. 87-129.
40. Jenkins D.J., Kendall C.W., Augustin L.S., Mitchell S., Sahye-Pudaruth S., Mejia S.B., Vidgen E.: Effect of legumes as part of a low glycemic index diet on glycemic control and cardiovascular risk factors in type 2 diabetes mellitus: a randomized controlled trial. *Archives of internal medicine*, 2012, **172(21)**: 1653-1660.
41. K a c z m a r e k S.A., Kasprowicz-Potocka M., Hejdysz M., Mikuła R., Rutkowski A.: The nutritive value of narrow-leaved lupin (*Lupinus angustifolius*) for broilers. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 2014, **23**: 160-166.
42. K a c z m a r e k S., Hejdysz M., Kubis M., Nowaczewski S., Mikuła R., Rutkowski A.: Effects of feeding intact, ground, and/or pelleted rapeseed on nutrient digestibility and growth performance of broiler chickens. *Archives of Animal Nutrition*, 2019, **74(3)**: 222-236; DOI:10.1080/1745039X.2019.1688557
43. K a c z m a r e k S., Hejdysz M., Kubiś M., Rutkowski A.: Influence of graded inclusion of white lupin (*Lupinus albus*) meal on performance, nutrient digestibility and intestinal morphology of broiler chickens. *British Poultry Science*, 2016, **57**: 364-374.
44. Kalembasa D., Szukała J., Symanowicz B., Kalembasa S., Faligowska A., Becher M.: Amount of biologically nitrogen fixed by faba bean and its uptake by winter wheat determined by ¹⁵N ID method, *Archives of Agronomy and Soil Science*, 2020a, 67(13): 1875-1888; DOI: 10.1080/03650340.2020.1817398
45. Kalembasa S., Szukała J., Faligowska A., Kalembasa D., Symanowicz B., Becher M., Gebus-Czupyt B.: Quantification using isotope dilution ¹⁵N method of biologically reduced nitrogen by white lupin (*Lupinus albus* L.) and its uptake by winter wheat as succeeding plants. *Agronomy*, 2020b, **10(9)**, 1392.
46. K a l o g e r o p o u l o s N., Chiou A., Ioannou M., Karathanos V.T., Hassapidou M., Andrikopoulos N.: Nutritional evaluation and bioactive microconstituents (phytosterols, tocopherols, polyphenols, triterpenic acids) in cooked dry legumes usually consumed in the Mediterranean countries. *Food Chemistry*, 2010, **121**: 682-690; 10.1016/j.foodchem.2010.01.005.
47. K a r k a n i s A., Ntatsi G., Lepse L., Fernández J.A., Vågen I.M., Rewald B., Alsina I., Kronberga A., Balliu A., Olle M., Bodner G., Dubova L., Rosa E., Savvas D.: Faba bean cultivation – Revealing novel managing practices for a more sustainable and competitiveness European cropping systems. *Frontiers in Plant Science*, 2018, **9**, 1115; <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01115>.

48. K a s p r o w i c z M.: Wartość pokarmowa oraz wykorzystanie nasion bobiku i grochu w żywieniu rosnących świń. Akademia Rolnicza Poznań (Praca doktorska), 2004.
49. K o h a j d o v á Z., K a r o v i č o v á J., S c h m i d t S.: Lupin composition and possible use in bakery – a review. Czech Journal of Food Sciences, 2011, **29(3)**: 203-211.
50. Komisja Europejska (KE) 2018. Sprawozdanie Komisji dla Rady i Parlamentu Europejskiego nt. rozwoju rynku białka roślinnego w Unii Europejskiej, Bruksela, 22.11.2018, COM(2018)757 final.
51. K o t e c k i A. (red.): Następczy wpływ członów zmianowania na rozwój i plonowanie ozimych form rzepaku, żyta i pszenicy. UP Wrocław, 2015, ss. 164.
52. K o t w i c a K.: Wartość przedplonowa pszenżyta jarego, łubinów oraz mieszanek pszenżyta z łubinami. Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis. Agricultura, 2006, **247(100)**: 83-88.
53. K o z a k M., K o t e c k i A.: Następczy wpływ odmian grochu siewnego na rozwój i plonowanie pszenicy ozimej. Cz. III. Rozwój i plonowanie pszenicy ozimej. Zeszyty Naukowe UP Wrocław. Rolnictwo, 2006, **89(546)**: 159-175.
54. Krajowy rejestr odmian. Lista odmian wpisanych do KR; www.coboru.gov.pl
55. K s i ę ż a k J., S t a n i a k M., B o j a r s z c z u k J.: Evaluation of mixtures of yellow lupine (*Lupinus uuteus* L.) with spring cereals grown for seeds. Applied Ecology and Environmental Research, 2018, **16(2)**: 1683-1696; <http://www.aloki.hu>, DOI: <http://dx.doi.org/10.15666/aecr/>
56. K s i ę ż a k J., B o j a r s z c z u k J.: Wpływ następczy uprawy mieszanek łubinu żółtego ze zbożami na plonowanie i opłacalność produkcji pszenicy jarej i ozimej. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2019, **60(14)**: 61-81.
57. K u l i g B., S z a f r a Ń s k i W., Z a j ą c T.: Wpływ następczy bobiku, międzyplonu oraz pogłównego nawożenia azotem na plonowanie pszenicy ozimej. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 2007, **522**: 271-276.
58. K u ś J., P ł o s z y Ń s k a W.: Wpływ roślin strączkowych na produktywność zmianowań z różnym udziałem zbóż. W: Przyrodnicze i agrotechniczne uwarunkowania produkcji nasion roślin strączkowych. Puławy, 1989, ss. 59-67.
59. K u ś J.: Kształtowanie się niektórych właściwości gleby w zmianowaniu o różnym udziale zbóż. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 1979, **218**: 225-233.
60. L a n d b l o m D.G., P o l a n d W.W.: Nutritional value of raw and extruded field peas in starter diets of segregated early weaned pigs. Dickenson Research Centre Annual Report. Cyt. za: Hickling D. 2003. Canadian Feed Peas Industry Guide. 3rd Ed. Pulse Canada, Winnipeg, Manitoba, 1997, **24**: 45-53.
61. L e d g a r d S.F., S t e e l e K.W.: Biological nitrogen fixation in mixed legume/grass pastures. Plant Soil, 1992, **141**: 137-153.
62. L e e S.H., J i n N., P a i k D.J., K i m D.Y., C h u n g I.M., P a r k Y.: Consumption of legumes improves certain bone markers in ovariectomized rats. Nutrition research, 2011, **31(5)**: 397-403.
63. L i X., H i g g i n s T.J., B r y d e n W.L.: Biological response of broiler chickens fed peas (*Pisum sativum*) expressing the bean (*Phaseolus vulgaris* L.) α -amylase inhibitor transgene. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2006, **86**: 1900-1907.
64. L u c a s M.M., S t o d d a r d F.L., A n n i c c h i a r i c o P., F r i a s J., M a r t i n e z - V i l l a l u e n g a C., S u s s m a n n D., D u r a n t i M., S e g e r A., Z a n d e r P., P u e y o J.: The future of lupin as a protein crop in Europe. Frontiers in Plant Science, 2015, **6**, 705.
65. L y n c h J.M., P a n t i n g L.M.: Cultivation and the soil biomass. Soil Biology and Biochemistry, 1980, **12**: 29-33.
66. M a y e r J., B u e g g e r F., J e n s e n F.S., S c h l o t e r M., H e ß J.: Estimating N rhizodeposition of grain legumes using a ^{15}N in situ stem labelling method. Soil Biology and Biochemistry, 2003, **35**: 21-28.

67. Mc Niven M.A., Casteli A.G.: Replacement of soybean meal with lupinseed (*Lupinus albus*) in pig starter diets. *Animal Feed Science and Technology*, 1995, **52**: 333-338.
68. Mikulski D., Mikulska M., Jankowski J.: Badania nad efektywnością stosowania krajowych pasz białkowych w żywieniu indyków. W: Zalecenia dotyczące stosowania krajowych pasz białkowych pochodzenia roślinnego w żywieniu świń i drobiu. UP Poznań, 2020, ss. 131-163.
69. Mollard R.C., Luhovyy B.L., Panahi S., Nunez M., Hanley A., Anderson G.H.: Regular consumption of pulses for 8 weeks reduces metabolic syndrome risk factors in overweight and obese adults. *British Journal of Nutrition*, 2012, **108**: 111-122.
70. Nalle C.L., Ravindran V., Ravindran G.: Nutritional value of narrow-leaved lupin (*Lupinus angustifolius*) for broilers. *British Poultry Science*, 2011, **52**: 775-781.
71. Nalle C.L., Ravindran V., Ravindran G. 2010. Evaluation of faba beans, white lupines and peas as protein sources in broiler diets. *International Journal of Poultry Science*, 2010, **9**: 567-573.
72. Ntatsi G., Karkanis A., Yfantopoulos D., Olle M., Travlos I., Thanopoulos R., Bilalis D., Bebeli P., Savvas D.: Impact of variety and farming practices on growth, yield, weed flora and symbiotic nitrogen fixation in faba bean cultivated for fresh seed production. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil and Plant Science*, 2018, **38**: 619-630; <https://doi.org/10.1080/09064710.2018.1452286>
73. Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 6 marca 2025 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o paszach (Dz.U. z 2025 r. poz. 320).
74. Oliver M.D., Jonker A.: Effect of sweet, bitter and soaked micronized bitter lupines on broiler performance. *British Poultry Science*, 1997, p. 203-208.
75. ONZ General Assembly 2014. Resolution adopted by the General Assembly on 20 December 2013 (on the report of Second Committee (A68/444), 68/231. International Year of Pulses 2016, www.un.org/en/sections/documents/general-assembly,
76. Partanen K., Siljander-Rasi H., Alaviuhkola T.: Feeding weaned piglets and growing-finishing pigs with diets based on mainly home-grown organic feedstuffs. *Agricultural and Food Science*, 2006, **15**: 89-105.
77. Piasecka-Jóźwiak K., Książek J., Słowik E., Chabłowska B.: The use of lupin flour as nutritional additive to organic wheat sourdough bread. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 2018, **63(3)**: 56-61.
78. Piekarczyk M.: Effect of forecrops and nitrogen fertilization on the yield grain technological quality of winter wheat grown on light soil. *Acta Scientiarum Polonorum*, 2010, **9(2)**: 25-33.
79. Piekarczyk M.: Wartość przedplonowa łubinu wąskolistnego i jęczmienia jarego dla pszenicy ozimej w zależności od sposobu odchwaszczania łąnu. *Acta Scientiarum Polonorum. Agricultura*, 2007, **6(3)**: 50-67.
80. Pisarek M., Rozbicki J., Samborski S., Wawryło B., Golba J.: Wpływ siedmiu wybranych czynników agrotechnicznych na produktywność pszenicy ozimej w warunkach dużego udziału zbóż w zmianowaniu. Cz. I. Plon biomasy nadziemnej, odżywienie roślin azotem oraz porażenie zgorzelą podstawy źdźbła. *Fragmenta Agronomica*, 2013, **30(1)**: 99-112.
81. Pisarikova B., Zraly Z., Bunka F., Trckova M.: Nutritional value of white lupine cultivar Butan in diets for fattening pigs. *Vet. Med.*, 2008, **53**: 124-134.
82. PN-A-74100.1992. Półprodukty piekarskie. Metody badań.
83. Pollard N.J., Stoddard F.L., Popineau Y., Wrigley C.W., MacRitchie F.: Lupin flours as additives: dough mixing, breadmaking, emulsifying, and foaming. *Cereal Chemistry*, 2002, **79**: 662-669.

84. Prandini A., Morlacchini M., Moschini M., Fusconi G., Masoero F., Piva G.: Raw and extruded pea (*Pisum sativum*) and lupin (*Lupinus albus* var. *Multiitalia*) seeds as protein sources in weaned piglets' diets: effect on growth rate and blood parameters. Italian Journal of Animal Science, 2005, **4**: 385-394.
85. Preissel S., Reckling M., Schläpke N., Zander P.: Magnitude and farm-economic value of grain pre-crop benefits in Europe. A review. Field Crops Research, 2015, **175**: 64-79; <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.01.012>
86. GUS 2020. Produkcja upraw rolnych i ogrodnich. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2020.
87. Prusiński J.: O roślinach strączkowych w ONZ, w Unii Europejskiej I w Polsce. Wieś Jutra, 2017, **1(190)**: 1-4.
88. Rizzello C.G., Calasso M., Campanella D., De Angelis M., Gobbetti M.: Use of sourdough fermentation and mixture of wheat, chickpea, lentil and bean flours for enhancing the nutrititional, texture and sensory characteristics of white bread. International journal of food microbiology, 2014, **180**: 78-87.
89. Rudnicki F.: Mieszanki zbożowe i zbożowo-strączkowe. W: Rynki i technologie produkcji roślin uprawnych. Wieś Jutra, Warszawa 2005, ss. 197-214.
90. Rynek pasz. Stan i perspektywy, W. Dzwonkowski (red.). IERIGŻ, Warszawa 2017, **39**: 1-44.
91. Rynek pasz. Stan i perspektywy, W. Dzwonkowski (red.). IERIGŻ, Warszawa 2018, **40**: 1-48.
92. Rynek pasz. Stan i perspektywy, W. Dzwonkowski (red.). IERIGŻ, Warszawa 2019, **41**: 1-44.
93. Salgado P., Martins J.M., Carvalho F., Abreu M., Freire J.P.B., Toullec R., Lalles J.P., Bento O.: Component digestibility of lupin (*Lupinus angustifolius*) and pea (*Pisum sativum*) seeds and effects on the small intestine and body organs in anastomosed and intact growing pigs. Animal Feed Science and Technology, 2002, **98**: 187-201.
94. Shah Z., Shah H., Peoples M.B., Schwenke G.D., Herridge D.F.: Crop residue and fertiliser N effects on nitrogen fixation and yields of legume-cereal rotations and soil organic fertility. Field Crops Research, 2003, **83(1)**: 1-11; [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(03\)00005-4](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00005-4)
95. Singh A.K., Bharati R.C., Manibhushan N.C., Pedpati A.: An assessment of faba bean (*Vicia faba* L.) current status and future prospect. African Journal of Agriculture, 2013, **8(50)**: 6634-6641; <https://doi.org/10.5897/AJAR2013.7335>
96. Smagać J.: Plonowanie i porażenie przez choroby podstawy żdźbła pszenżyta i innych zbóż ozimych w zależności od przedplonu. Zesz. Nauk. AR Szczecin, 1997, **175(65)**: 405-411.
97. Stanek M.: Zastosowanie nasion grochu w mieszankach pełnoporcjowych dla tuczników. W: Współczesne zasady żywienia świń. PAN, Warszawa 1997, **2**: 85-88.
98. Stanek M., Purwin C., Matusevičius P.: The influence of faba bean seeds and enzymes on nutrient digestibility and nitrogen balance in pigs. Veterinarija ir Zootechnika, 2005, **30**: 72-76.
99. Stein H.H., Benzoli G., Bohlke R.A., Peters D.N.: Assessment of the feeding value of South Dakota-grown Fidel peas (*Pisum sativum* L.) for growing pigs. Journal of Animal Science, 2004, **82**: 2568-2578.
100. Stein H.H., Everts A.K.R., Sweeter K.K., Peters D.N., Maddock R.J., Wulf D.M., Pedersen C.: The influence of dietary field peas (*Pisum sativum* L.) on pig performance, carcass quality, and the palatability of pork. Journal of Animal Science, 2006, **84**: 3110-3117.
101. Strzelec A.: Rola szczepionek w uprawie roślin motylkowatych. Materiały szkoleniowe nr 62, 1997, ss. 16.
102. Suwara I., Gawrońska-Kulesza A.: Rola przedplonu w ograniczaniu nawożenia azotem pod pszenicę ozimą. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 1997, **439**: 211-214.
103. Świącicki W., Szukała J., Rutkowski A., Jerzak M., Mikulski W., Górynowicz B.: The importance of grain legumes for a domestic protein security. Polish Journal of Agronomy, **42**: 46-50.

104. Ś w i ę c i c k i W.: Łubin jako roślina ekologiczna. W: Łubin w gospodarce i życiu człowieka. Poznań 1993, ss. 23-39.
105. S z m i g i e l A.: Znaczenie resztek poźniwnych w utrzymaniu żyzności gleby. Nowe Rol., 1986, **7/8**: 35.
106. T r i b o i E.: Détermination in situ de la quantité d'azote fixée symbiotiquement par la vesce en culture associée avec l'avoine. Les Colloques de l'INRA, Paris, 1985, **37**: 265-270.
107. T r i p o l s k a j a L., Asakaviciute R.: Effects of fertilisers on pulse crop productivity and nitrogen assimilation on acid soil. Plant Soil Environment, 2019, **65**: 536-540; <https://doi.org/10.17221/462/2019-PSE>
108. V a l e n c i a D.G., Serrano M.P., Centeno C., Lázaro R., Mateos G.G.: Pea protein as a substitute of soybean protein in diets for young pigs: effects on productivity and digestive traits. Livestock Science, 2008, **118**: 1-10.
109. V a n d e r P o e l A.F.B., Dellaert L.M.W., Van Norel A., Helsper J.P.F.G.: The digestibility in piglets of faba bean (*Vicia faba* L.) as affected by breeding towards the absence of condensed tannins. British Journal of Nutrition, 1992, **68**: 793-800.
110. V i e i r a S.L., Metz M., Bartels H.A.: Nutritional evaluation of ground pea (*Pisum sativum*) in diets for growing pigs. Revista Brasileira de Zootecnia, 2003, **32(6 suppl 1)**: 1705-1712.
111. V i l l a r i n o C.B.J., Jayasena V., Coorey R., Chakrabarti-Bell S., Fole, R., Fanning K., Johnson S.K.: The effects of lupin (*Lupinus angustifolius*) addition to wheat bread on its nutritional, phytochemical and bioactive composition and protein quality. Food Research International, 2015, **76**: 58-65.
112. V i v e r o s A., Centeno C., Arija I., Brenes A.: Cholesterol-lowering effects of dietary lupin (lipinussalbusvarMultolupa). in chicken diets. Poultry Science, 2007, **86**: 2631-2638.
113. W a c q u a n t J.P., Oukni der M., Jacquard P.: Evidence for a periodic excretion of nitrogen by roots of grass-legume associations. Plant Soil, 1989, **116**: 57-68.
114. Wiadomości rolnicze, Rośliny oleiste, 28, 11, 2017; <https://www.wrp.pl/tag/rosliny-oleiste/>
115. W i c h e r n F., Eberhardt E., Mayer J., Joergensen R.G., Müller M.: Nitrogen rhizodeposition in agriculture crops: Methods, estimates and future prospects. Soil Biology and Biochemistry, 2008, **40**: 30-48; <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.08.010>
116. W o j c i e c h o w s k i W.: Plonowanie żyta ozimego w różnych zmianowaniach. Fragmenta Agronomica, 2009, **26(2)**: 16-182.
117. W o ź n i a k A.: Wpływ przedplonów na plon i jakość ziarna pszenicy ozimej. Postępy Nauk Rolniczych, 2006, **1/287**: 99-106.
118. Y o r g a n c i l a r M., Bilgiçli N.: Chemical and nutritional changes in bitter and sweet lupin seeds (*Lupinus albus* L.) during bulgur production. Journal of food science and technology, 2014, **51(7)**: 1384-1389.
119. Z a w o r s k a - Z a k r z e w s k a A., Kasprowicz-Potocka M., Wiśniewska Z., Rutkowski A.: Badania nad efektywnością stosowania krajowych źródeł białka w żywieniu trzody chlewnej. W: Zalecenia dotyczące stosowania krajowych pasz białkowych pochodzenia roślinnego w żywieniu świń i drobiu, A. Rutkowski (red.). UP Poznań, 2020, ss. 165-217.
120. Z e m a n L., Š i š k e V.: Vliv různých zdrojů bílkovin ve směsích pro brěži pralnice na užítkovost prasnic. Živ. Vyr., 1983, **28**: 779-787.
121. Z i j l s t r a R.T., Lopetinsky K., Beltranena E.: The nutritional value of zero-tannin faba bean for grower-finisher pigs. Canadian Journal of Animal Science, 2008, **88**: 293-302.
122. Z r a l y Z., Pisarikova B., Trckova M., Herzig I., Juzl M., Simeonovova J.: The effect of white lupine on the performance, health, carcass characteristics and meat quality of market pigs. Vet. Med., 2007, **52**: 29-41.



**Magdalena Borzęcka
Małgorzata Kozak
Anna Jędrejek
Krystian Mocny
Rafał Pudełko**

XI. KRAJOWE ZASOBY BIOMASY POCHODZENIA ROLNICZEGO

Zakład Geomatyki
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa
Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. (0-81) 4786761
e-mail: Magdalena.Borzecka@iung.pulawy.pl

1. WSTĘP

Na podstawie Ustawy z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii (Dz.U. z 2015 r. poz. 478) biomasa to ulegająca biodegradacji część produktów, odpadów lub pozostałości pochodzenia biologicznego z rolnictwa, w tym substancje roślinne i zwierzęce, leśnictwa i powiązanych działów przemysłu, w tym rybołówstwa i akwakultury, przetworzona biomasa, w szczególności w postaci brykietu, peletu, toryfikatu i biowęgla. To także ulegająca biodegradacji część odpadów przemysłowych lub komunalnych pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, w tym odpadów z instalacji do przetwarzania odpadów oraz odpadów z uzdatniania wody i oczyszczania ścieków, w szczególności osadów ściekowych, zgodnie z przepisami o odpadach w zakresie kwalifikowania części energii odzyskanej z termicznego przekształcania odpadów.

Biomasa pochodzenia rolniczego teoretycznie stanowi największy potencjał dla rozwoju biogospodarki w Polsce, ze względu na istotny udział sektora rolniczego w gospodarce krajowej. Jest również uważana za jedno z głównych źródeł energii odnawialnej o dużym potencjale energetycznym (Bielski i in. 2021). Produkcja biomasy na terenach rolniczych jest zawsze konkurencyjna w stosunku do produkcji żywności. Rodzi to więc dylematy natury ekonomicznej, ale również moralnej. Dlatego pomimo pozornie dużego czy wręcz ogromnego zasobu biomasy rolniczej, jej konsumpcja na inne cele musi podlegać nadzorowi gwarantującemu zrównoważone wykorzystanie oraz finalnie zapewnić pierwszeństwo celowi nadrzędnemu, jakim jest bezpieczeństwo żywnościowe kraju (Pudełko 2023).

Dlatego ważną kwestią wydaje się być opracowanie skutecznej metodyki szacowania poszczególnych rodzajów biomasy rolniczej, która dawałaby możliwość badania przepływu jej zasobów pomiędzy sektorami, budowania podstaw logistyki, jak również szacowania możliwości jej udziału w strategicznym sektorze energetycznym. Istnieje wiele podejść do szacowania potencjału zarówno teoretycznego, jak i technicznego biomasy rolniczej. Definicje potencjału biomasy ze względu na dostępność przedstawiono poniżej:

Biomasa potencjalna/teoretyczna – istniejący potencjał w produkcji biomasy uwzględniający lokalny (regionalny) charakter tej produkcji, warunki naturalne (głównie glebowe) oraz średnie (klimatyczne) warunki pogodowe.

Biomasa technicznie dostępna – zasoby dostępne (dysponowane) w obrocie rynkowym – produkowane docelowo na sprzedaż przez gospodarstwa towarowe (w rolnictwie), odpady biomasy generowane lokalnie w ilościach umożliwiających ich zagospodarowanie w rolnictwie (nawozy), przemyśle (biosurowiec) lub energetyce (biopaliwo) oraz biomasa ze źródeł naturalnych możliwa do systemowego pozyskania na potrzeby lokalnych odbiorców.

Biomasa modelowana (wg scenariusza) – zasoby biomasy, które technicznie mogą być dostępne dla rolnictwa, przemysłu czy energetyki, jeżeli zostaną spełnione założone wymagania dla przyjętego systemu produkcji, dostaw i kryteriów jakościowych lub wymagania regulowane rozwiązaniami legislacyjnymi.

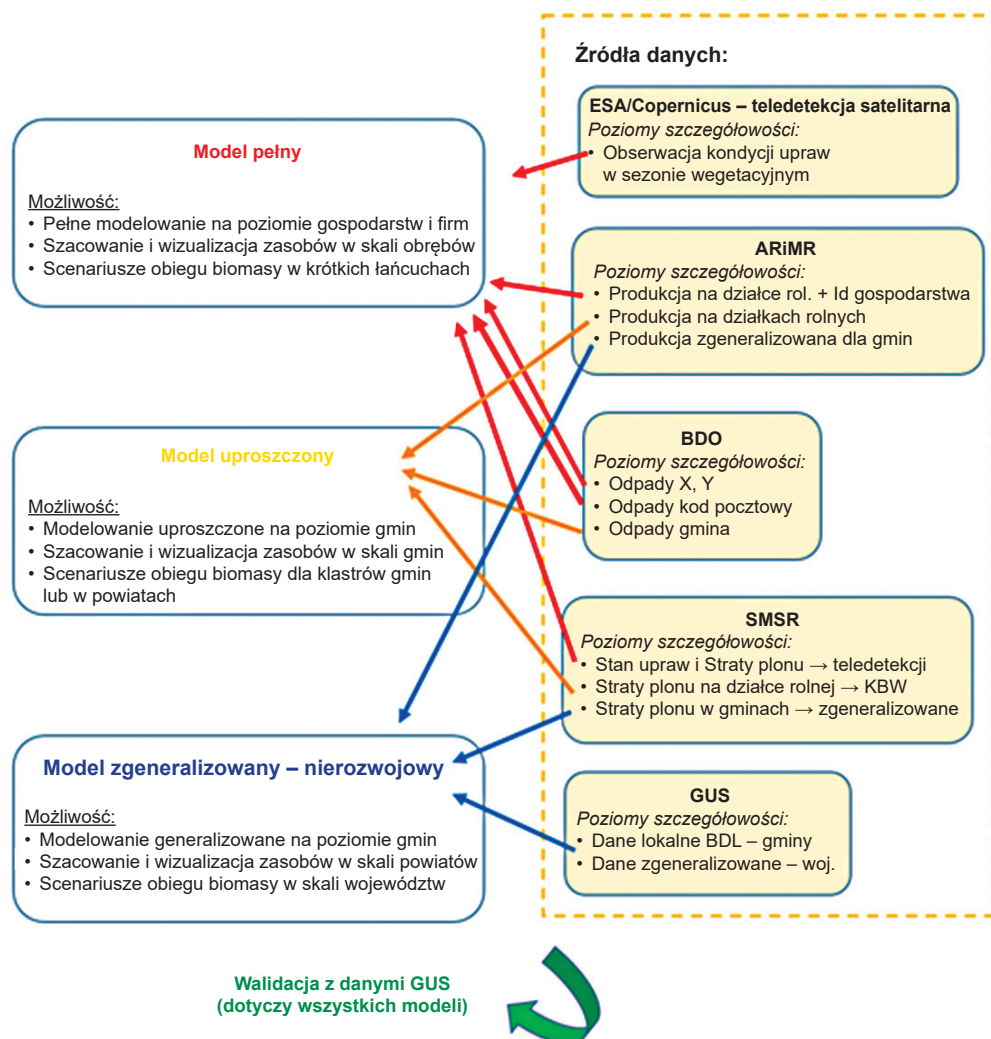
2. BAZY DANYCH

Baza danych budowana była na przestrzeni lat 2007–2024. Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy (IUNG-PIB) zgromadził dane zarówno satelitarne (ESA/Copernicus), jak również statystyczne (ARiMR, BDO, GUS). Schemat przedstawiony na rysunku 1 obrazuje 3 koncepcje budowy systemu monitoringu biomasy rolniczej, które uzależnione są od dostępności danych. Intencją IUNG-PIB jest prowadzenie modelu, który umożliwia pełne szacowanie zasobów biomasy w Polsce z określeniem:

- typów i rodzajów;
- regionalizacji z dokładnością do klastru gospodarstw rolnych (obrębów);
- masy, kaloryczności, innych cech fizycznych i chemicznych;
- możliwości optymalnego wykorzystania w rolnictwie;
- logistyki nadwyżek dla biogospodarki (przemysłu i energetyki).

W związku z brakiem możliwości dostępu do pełnej bazy danych ARiMR w 2021 r. został opracowany model alternatywny (uproszczony), który w stosunku do modelu pełnego posiada następujące ograniczenia:

- brak możliwości modelowania nadwyżek biomasy z gospodarstw – ponieważ na tym poziomie szczegółowości nie ma informacji o strukturze i lokalizacji pól poszczególnych gospodarstw – skutkuje to brakiem możliwości wdrożenia modułu redystrybucji słomy i odpadów z produkcji zwierzęcej traktowanych jako biomasa będąca nawozem naturalnym i biomasa osłonowa dla ograniczenia skutków suszy rolniczej;
- brak możliwości modelowania krótkich łańcuchów dostaw dla szacowania najlepszych lokalizacji generatorów OZE (głównie biogazowni rolniczych) – wynika to z braku możliwości dokładnego oszacowania nadwyżek biomasy w kluczowych dla dostaw gospodarstwach – patrz punkt wyżej;
- brak możliwości analizy scenariuszy wymiany biomasy (słomy – obornika) między gospodarstwami specjalizującymi się w produkcji roślinnej z gospodarstwami bezarealowymi specjalizującymi się tylko w produkcji zwierzęcej.



Rys. 1. Schemat możliwych poziomów szczegółowości modelowania zasobów biomasy (opracowanie własne)

3. PRODUKTY UBOCZNE

W ostatnich latach w ramach kolejnych prac IUNG-PIB na potrzeby dotacji celowej pt. „Analiza potencjału podaży biomasy na poziomie krajowym i regionalnym” opracowano system monitoringu zasobów biomasy (Dotacja celowa zadanie 3.0, 2023). Głównym założeniem prowadzonego monitoringu jest to, że biomasa z upraw, tam gdzie jest taka możliwość, powinna być szacowana na poziomie go-

spodarstwa. Dotyczy to głównie zasobów słomy, obornika i siana. Informacja o charakterze produkcji jest w tym przypadku bardzo istotna, ponieważ ze względu na zrównoważone postulaty produkcji biomasa ta powinna być wykorzystana głównie (jak nie w całości) w gospodarstwie: słoma – na potrzeby konserwacji gleby (nawóz, przeciwdziałanie erozji, okrywowo w ramach praktyk zapobiegających skutkom suszy), jako pasza i podściółka dla zwierząt; odpady z produkcji zwierzęcej – głównie jako nawóz, do limitu $170 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, co jest regulowane Prawem wodnym i dyrektywą azotanową (Dz.U. L 375 z 31.12.1991); siano – jako pasza dla zwierząt.

W ramach tego przedsięwzięcia oszacowano potencjały biomasy rolniczej: słomy, siana, nawozów naturalnych, biomasy z konserwacji sadów na podstawie udostępnionych aktualnych danych z ARiMR na 2022 r. Szczegółowość tych danych dała możliwość opracowania poszczególnych potencjałów na poziomie gospodarstw z uwzględnieniem trzech kierunków produkcji:

- **gospodarstwa z produkcją roślinną** – gospodarstwa bezinwentarzowe;
- **gospodarstwa z produkcją zwierzęcą** – gospodarstwa posiadające inwentarz zwierzęcy, jednak nieposiadające areału gruntów rolnych;
- **gospodarstwa mieszane** – posiadające grunty z zasiewami oraz inwentarz zwierzęcy.

Podejście to w pierwszym kroku zakłada powtórne wykorzystanie ubocznej biomasy rolniczej w samym gospodarstwie, uwzględniając jego kierunek produkcji. Możliwy zasób słomy, siana i pozostałości z produkcji zwierzęcej powinien zostać użyty odpowiednio jako pasza, ściółka lub nawóz naturalny. Ewentualne nadwyżki w gospodarstwie powinny zostać wykorzystane regionalnie, dlatego ujęcie w skali gmin zakładało możliwość lokalnego przepływu biomasy między gospodarstwami w gminie (np. barterowej wymiany słomy i obornika między producentami roślinnymi i zwierzęcymi) (Pudelko 2023). Dopiero ewentualne nadwyżki, które oszacowano w skali gmin mogły być dedykowane do wykorzystania w innych nierolniczych sektorach. Ostatni krok szacowania potencjału na poziomie gminy pokazuje również przestrzenną zmienność rozmieszczenia poszczególnych potencjałów biomasy rolniczej na obszarze Polski.

Wszystkie wymienione rodzaje biomasy pochodzenia rolniczego zostały poniżej scharakteryzowane jako zasoby produktów ubocznych, które są technicznie dostępne do ich wykorzystania na cele biogospodarki, bez konsekwencji powstania strat w produkcji żywności (Elbersen i in. 2012). Przedstawiono również szacunki potencjałów technicznych, które zostały wykonane w IUNG-PIB w ramach projektów BioBoost (7FP) oraz BioEcon (H2020) (Pudelko 2013, Hamelin i in. 2019).

W skali kraju dostępne zasoby biomasy ubocznej z rolnictwa kształtują się następująco:

- Słoma – maksymalna dostępność, po uwzględnieniu jej wykorzystania w rolnictwie, to ok. 12,7 mln t, jednak należy też uwzględnić to, że może być szacowana dla sezonu o optymalnych warunkach meteorologicznych

oraz przy założeniu poprawnej kultury rolnej na wszystkich działkach rolnych (we wszystkich gospodarstwach).

- Biomasy z użytków zielonych – siano uzyskiwane z trwałych użytków zielonych (TUZ) ze względu na duże areale stanowi teoretycznie znaczący potencjał biomasy. W regionach o dużym udziale pastwisk i łąk prowadzona jest intensywna produkcja zwierzęca, głównie chów bydła. W regionach tych pastwiska wykorzystywane są do wypasania zwierząt, zaś ruń łąkowa do skarmiania w formie zielonki i do produkcji pasz (siano, sianokiszonka). Z powyższego względu potencjały teoretyczne znacząco różnią się od technicznych. Z punktu widzenia rolnictwa nadwyżkami jest siano pochodzące z późnych terminów koszenia (programy rolno-środowiskowe) oraz siano z najsłabszych stanowisk (kompleks 3z).
- Produkty uboczne z hodowli zwierząt – ogólny potencjał tego rodzaju biomasy w Polsce może być szacowany na ponad 50 mln t rocznie. Jeżeli przyjąć, że poziom nawożenia nawozami naturalnymi nie może przekraczać w ekwiwalencie na azot $170 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Dz.U. z 2020 poz. 243), to wówczas w skali kraju cały ten zasób może być – w sposób zrównoważony – wykorzystany w rolnictwie. Natomiast ze względów logistycznych nie można zakładać jego transportu, więc wykorzystywany jest najczęściej bezpośrednio w gospodarstwie. Duże gospodarstwa specjalizujące się w produkcji zwierzęcej również wymieniają obornik na słomę. Wymiana ta ma też charakter regionalny, a transport prowadzony jest środkami transportowymi rolników.
- Biomasa przecinkowa z sadów – to pozostałość po wycince zbędnych gałęzi i pędów w plantacjach wieloletnich: głównie sadach owocowych, ale też coraz częściej pojawiających się w Polsce winnicach. Głównym składnikiem tego typu biomasy jest frakcja zdrewniała (gałęzie drzew i krzewów). Składnikiem mniej znaczącym są pozostałe odpady usuwane z plantacji, do których można zaliczyć wycięte pędy krzewów i trawę. Potencjał tego typu biomasy może być istotny w zagłębiach sadowniczych, takich jak np. okolice Grójca czy Sandomierza. Obecnie biomasa ta nie jest systemowo wykorzystywana na cele biogospodarcze. Najczęściej spalana jest (po jej zrębkowaniu) w piecach c.o. lub – co nie jest właściwe – bezpośrednio na polu.

3.1. POTENCJAŁ SŁOMY

Jak już wspomniano, słoma stanowi najbardziej dostępne źródło biomasy z produkcji rolniczej, które może zostać wykorzystane w innych sektorach gospodarki, zwłaszcza w energetyce. Całkowite zasoby słomy (potencjał teoretyczny) można szacować na podstawie np. danych statystycznych o produkcji zbóż (GUS, EURO-STAT) oraz wiedzy o proporcjach między plonem głównym i ubocznym. Przedstawione poniżej wyniki opracowano na podstawie informacji o faktycznych powierzchniach zasiewów poszczególnych zbóż pozyskanej z ARiMR dla 2022 r.

W badaniach uwzględniono powierzchnię zasiewów pszenicy jarej i ozimej, pszen-żyta jarego i ozimego, żyta jarego i ozimego oraz jęczmienia jarego i ozimego. Dodatkowo wzięto pod uwagę czynniki, które wpływają na plony, takie jak jakość gleby oraz występowanie suszy, która regionalnie może wpływać na obniżenie plonów.

Potencjał teoretyczny słomy w gospodarstwie określono według poniższych założeń:

$$\text{Słoma} = \text{Pz} \times [\text{Y}_{\text{max}}] \times [\text{S}_{\text{index}}] \times [\text{D}_{\text{index}}] \times [\text{SC}_{\text{index}}]$$

gdzie:

$[\text{Y}_{\text{max}}]$ ¹ – maksymalny plon ziarna poszczególnych zbóż,

$[\text{Pz}]$ – powierzchnia zasiewów poszczególnych roślin,

$[\text{S}_{\text{index}}]$ – wskaźnik bonitacji gleby,

$[\text{D}_{\text{index}}]$ – zastosowanie wskaźnika suszy,

$[\text{SC}_{\text{index}}]$ – stosunek słomy do plonu ziarna.

Powyższe założenia stanowią przykład jednej z najdokładniejszych metod szacowania potencjału teoretycznego zarówno plonu ziarna, jak i słomy, jednak wciąż należy je uważać za szacunkowe ze względu na niemożność uwzględniania poprawnej kultury rolnej na wszystkich działkach rolnych, zmian struktury upraw czy w końcu zmienności plonowania, które uzależnione jest od nieprzewidywalnych warunków pogodowych.

Na podstawie tych obliczeń oszacowano teoretyczny plon słomy z podstawowych zbóż w skali kraju na poziomie ok. 20,7 mln t na 2022 r. Jednak dużo bardziej skomplikowaną kwestią jest modelowanie i szacowanie technicznego potencjału słomy oraz jej nadwyżek możliwych do wykorzystania poza sektorem rolnictwa. Tutaj istotne wydaje się podejście dwuetapowe, gdzie w pierwszym kroku szacujemy potencjał techniczny słomy w gospodarstwie z uwzględnieniem jego profilu produkcji, natomiast w kolejnym kroku rozważamy wykorzystanie ewentualnych nadwyżek na dystrybucję, zagospodarowanie w regionie (np. gminie). Uwzględnia się wówczas trzy omówione poniżej modele:

Gospodarstwa wyłącznie z produkcją roślinną (bez żywego inwentarza)

– gospodarstwa tego typu mogą wykorzystywać wyprodukowaną słomę przede wszystkim w celach nawozowych, ochronnych i konserwujących glebę, poprzez jej przyorwanie po żniwach, jednak tylko na polach, na których zostało zebrane ziarno z tych zbóż. Nie zakłada się, że rolnicy nawożą pola słomą przywiezioną z innych pól. Wykorzystanie słomy w celach nawozowych może być pewną rekompensatą braku innych nawozów naturalnych, w przypadku tych gospodarstw – obornika i gnojowicy. Zakłada się, że wykorzystanie słomy na przeoranie stanowi ok. 30%

¹Plonowanie poszczególnych gatunków roślin pozyskano z COBORU jako średni plon t·ha⁻¹ z czterech lat (2016–2019)

jej plonu (Harasim 2011). Praktyka przyorywania słomy jest obecnie wspierana w ramach ekoschematu „Rolnictwo węglowe i zarządzanie składnikami odżywczymi”, co dodatkowo stanowi finansową zachętę dla rolnika. Gospodarstwa bez żywego inwentarza generują nadwyżki słomy, a te z kolei mogą być wykorzystane przez innych rolników w regionie, a w dalszej kolejności zagospodarowane w innych sektorach.

Gospodarstwa z produkcją mieszaną – gospodarstwa prowadzące produkcję mieszaną oprócz tego, że mogą być producentami słomy są jednocześnie jej konsumentami. W celu oszacowania zużycia słomy w chowie zwierząt uwzględniono ilość DJP (Dużych Jednostek Przeliczeniowych) z podziałem na bydło i trzodę chlewną. W żywieniu zwierząt gospodarskich słoma stanowi tylko dodatek do paszy podstawowej i pełni raczej uzupełniającą funkcję. W ostatnich latach zużycie słomy na paszę znacząco spadło, co wiąże się ze zmniejszeniem pogłowia zwierząt gospodarskich oraz zmianą systemu ich żywienia w wyspecjalizowanych w chowie bydła gospodarstwach wysokotowarowych. Potrzeby paszowe bydła, koni i owiec w przeliczeniu na sztukę dużą można określić jako $0,8\text{--}1,0 \text{ t słomy} \cdot \text{szt.}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ – jest to wartość, którą można przyjąć dla bardziej ogólnej skali kraju czy regionu oraz w sytuacji, gdy brak szczegółowych informacji o gatunkach i systemie chowu zwierząt (Harasim 2011).

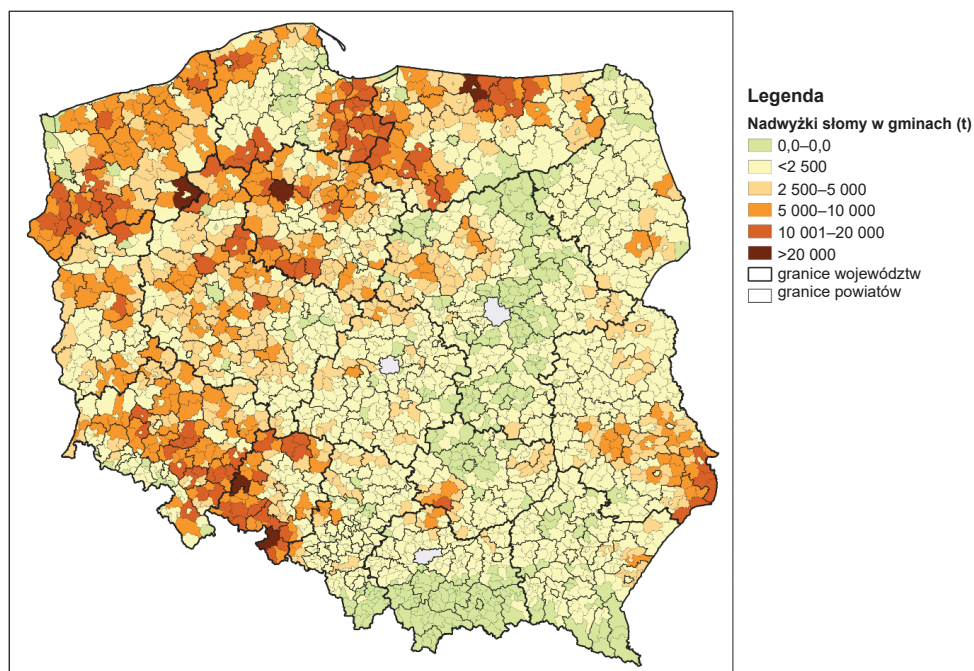
Poza potrzebami żywieniowymi słoma może być wykorzystywana również jako ściółka. W tym przypadku szacowanie zapotrzebowania na słomę powinno uwzględniać, poza stanem pogłowia i podziałem na grupy i gatunki zwierząt, typ pomieszczeń inwentarskich oraz okres przebywania zwierząt w pomieszczeniu. Można wyróżnić trzy typy pomieszczeń inwentarskich: na płytkiej ściółce, na głębokiej ściółce oraz bezściółkowe. Oczywiście największe zużycie słomy dotyczy gospodarstw, gdzie stosuje się głębokie ściółkowanie; w pozostałych typach zużycie to jest dużo mniejsze.

W zależności od tego, na jaką strukturę upraw zdecydował się rolnik oraz jakie są proporcje w typie produkcji, zasoby wyprodukowanej słomy mogą być wykorzystywane w całości w samym gospodarstwie lub generować nadwyżkę tego surowca. W przypadku potrzeb nawożeniowych gospodarstwa mieszane starają się optymalizować wykorzystanie zasobów wyprodukowanych nawozów naturalnych (obornik, gnojowica) na swoich polach. Opierając się na tej zasadzie, można przyjąć, że gospodarstwa mogą stosować nawozy naturalne w dawce nieprzekraczającej $170 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, zgodnie z dyrektywą azotanową (Dz.U. L 375 z 31.12.1991) oraz rozporządzeniem z 12 lutego 2020 r. (Dz.U. z 2020 poz. 243). Nawozy w tej dawce są stosowane na polach, z których zebrano zboże, jeśli ilość obornika czy gnojowicy jest niewystarczająca do nawożenia wszystkich pól; na pozostałych obszarach stosuje się nawożenie słomą.

Gospodarstwa z produkcją zwierzęcą (bezarealowe) – w przypadku bilansu słomy tego typu gospodarstwa mogą być głównie odbiorcami słomy na potrzeby

paszowe i bytowe zwierząt gospodarskich. Dlatego uwzględnienie ich w szacowaniu potencjału biomasy słomy wydaje się być nieodzowne w analizach regionalnych, gdyż można założyć lokalną wymianę słoma–obornik między gospodarstwami o różnych typach produkcji.

Przestrzenne rozmieszczenie potencjału nadwyżek słomy w gminach, uwzględniające powyższe założenia, przedstawia rysunek 2. Według przeprowadzonych analiz w skali kraju nadwyżki słomy do ewentualnego wykorzystania poza sektorem rolnictwa dla 2022 r. oszacowano na 5,8 mln t, co stanowi ok. 28% jej całkowitej produkcji. Jednocześnie wyraźnie zaznacza się regionalizacja rozmieszczenia nadwyżek tego surowca. Największe zasoby słomy występują w zachodniej części Polski, w gminach zlokalizowanych w województwach: opolskim, dolnośląskim, zachodniopomorskim, kujawsko-pomorskim, w gminach regionu Żuławskiego oraz w południowo-wschodniej części województwa lubelskiego.



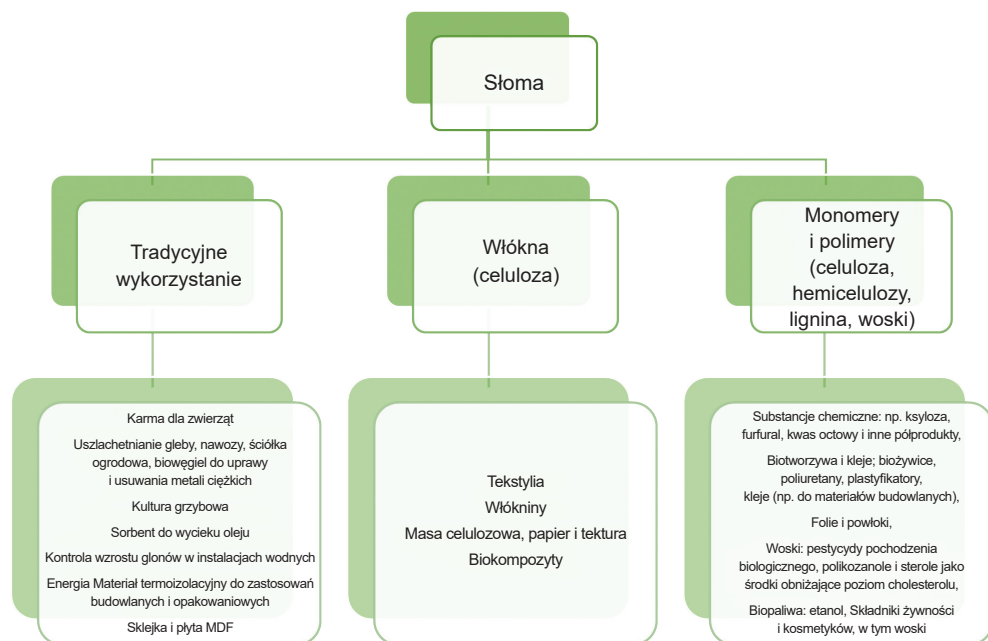
Rys. 2. Przestrzenne rozmieszczenie potencjału nadwyżek słomy w gminach z uwzględnieniem gospodarstw bezarealowych (opracowanie własne)

Powyższa mapa uwzględnia lokalną wymianę słoma–obornik między gospodarstwami o różnych typach produkcji, więc jeżeli wartości w gminach są wyższe niż zero, to zasób ten może być traktowany jako w całości dostępny na cele pozarolnicze (potencjał rzeczywisty na cele pozarolnicze).

Maksymalna dostępność słomy, po uwzględnieniu jej wykorzystania w rolnictwie, to ok. 12,7 mln t, jednak należy też uwzględnić to, że może być szacowana dla sezonu o optymalnych warunkach meteorologicznych oraz przy założeniu poprawnej kultury rolnej na wszystkich działkach rolnych (we wszystkich gospodarstwach). Powyższe założenia są jedynie teoretyczne, więc należy przyjąć, że potencjał realny kształtuje się jako 50% tej wartości z odchyleniami $\pm 20\%$ w kolejnych sezonach – czyli od ok. 5 do 7,6 mln t.

Możliwości wykorzystania słomy

Powszechnie wiadomo, że słoma zbożowa jest bogata w składniki odżywcze, takie jak azot, fosfor i potas. Słoma to cenny surowiec, który może być wykorzystywany na wiele sposobów. Podstawowym wykorzystaniem jest **przyoranie**, a rozkład słomy w glebie powoduje uwolnienie azotu, fosforu czy potasu. Ponadto może on skutecznie podnieść zawartość materii organicznej, poprawić jej właściwości fizyczne i chemiczne, zwiększyć żyzność gleby i wpłynąć na aktywność mikroorganizmów glebowych, a wszystko to jest korzystne dla długoterminowej stabilności produkcji rolnej. Połączenie słomy z nawozem azotowym może również zwiększyć pobieranie i transport składników odżywczych: azotu, fosforu i potasu oraz poprawić efektywność recyklingu składników odżywczych i stopień wykorzystania nawozów przez rośliny. Słoma jest cennym materiałem do ściółkowania w oborach, wchodzącym w skład obornika, który wykorzystywany jest jako cenny nawóz organiczny. Jednakże wzrost koncentracji produkcji zwierzęcej powoduje wysoki poziom składników odżywczych dla roślin, w uprawach i na pastwiskach, w wyniku produkcji większej ilości nawozu, niż jest to wymagane do zaspokojenia lokalnego zapotrzebowania roślin na składniki odżywcze. W związku z tym poszukiwane są możliwości wykorzystania lub przetworzenia obornika na energię, paliwa odnawialne, ekstrakcję amoniaku z odchodów zwierzęcych, biowęgiel lub popiół. Z obornika można wytwarzać biogaz i etanol (Loughrin i Lovanh 2019, Ro i in. 2019). Słoma może być również konwertowana na **biowęgiel**, co sprzyja produkcji roślinnej poprzez poprawę właściwości gleby (pH, SOC, zatrzymywanie i dostępność składników odżywczych itp.). Dodatkowo biowęgiel poprawia właściwości biologiczne gleby poprzez zmianę struktury społeczności drobnoustrojów (Nielsen i in. 2018). Słoma bywa wykorzystywana do kontroli **wzrostu glonów** w zbiornikach wodnych (Everall i Lees 1996), a nawet jako materiał termoizolacyjny do zastosowań budowlanych i opakowaniowych. Słomy owsiane i jęczmienne stanowią interesującą alternatywę dla włókien drzewnych w zastosowaniach jako biomateriały, ze względu na podobny skład chemiczny (Borrega i in. 2022). W Kanadzie trwają prace nad opracowaniem sorbentu z odpadów biomasy słomy do usuwania wycieków ropy (Tijani i in. 2016). Możliwości wykorzystania słomy przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Przykłady aktualnych zastosowań słomy zbożowej (opracowanie własne)

3.2. POTENCJAŁ BIOMASY Z UŻYTKÓW ZIELONYCH

Biomasa z Trwałych Użytków Zielonych (TUZ), popularnie nazywana sianem, to skoszone przed dojrzałością trawy, rośliny bobowate i inne, następnie wysuszone, zazwyczaj w warunkach naturalnych.

Wskaźnik potencjału biomasy z użytków zielonych został opracowany w wyniku agregacji danych do poziomu gmin powierzchni kompleksów przydatności rolniczej użytków zielonych (1z, 2z i 3z) na podstawie mapy glebowo-rolniczej w skali 1:25 000. Wartość produkcyjna została przeliczona zgodnie z definicją przyjętą dla poszczególnych kompleksów i wyrażona w ilości ton biomasy możliwej do uzyskania z hektara. Nie analizowano potencjału użytków zielonych pod wypas, ze względu na niewielki procent udziału pastwisk w użytkach zielonych.

- 1z – kompleks trwałych użytków zielonych bardzo dobrych i dobrych: dwukośne łąki o wydajności nie mniejszej niż $5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$;
- 2z – kompleks trwałych użytków zielonych średnich: łąki są przeważnie dwukośne i dają przeciętnie ok. $2,5\text{--}3 \text{ t siana} \cdot \text{ha}^{-1}$;
- 3z – kompleks trwałych użytków zielonych słabych i bardzo słabych: dających plon ok. $1,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Potencjał pozyskania biomasy (BTUZ) w skali gmin i powiatów opisany został wzorem:

$$BTUZ = P_{1z} \text{ (ha)} \times 5 \text{ (t} \cdot \text{ha}^{-1}) \times P_{2z} \text{ (ha)} \times 2,7 \text{ (t} \cdot \text{ha}^{-1}) \times P_{3z} \text{ (ha)} \times 1,5 \text{ (t} \cdot \text{ha}^{-1})$$

gdzie:

P_{1z} – powierzchnia w ha kompleksu 1z,

P_{2z} – powierzchnia w ha kompleksu 2z,

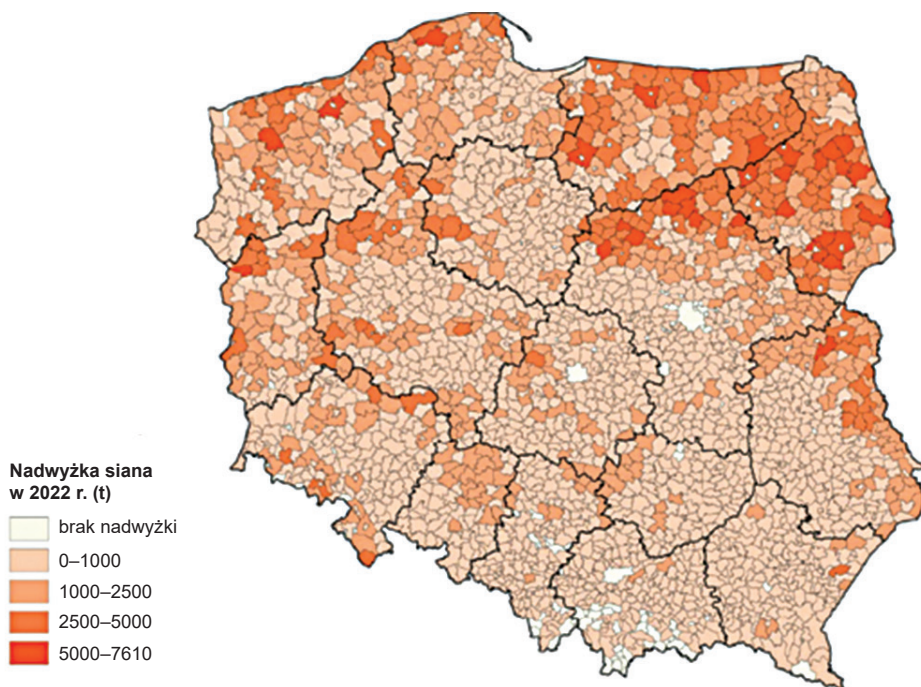
P_{3z} – powierzchnia w ha kompleksu 3z,

5 (t·ha⁻¹) – roczna wydajność kompleksu 1z,

2,7 (t·ha⁻¹) – średnia roczna wydajność kompleksu 2z,

1,5 (t·ha⁻¹) – roczna wydajność kompleksu 3z.

Przestrzenne rozmieszczenie potencjału siana przedstawia rysunek 4, natomiast nadwyżki siana z produkcji ujęto w tabeli 1. Najwyższa wartość wskaźnika potencjału produkcyjnego biomasy TUZ jest obserwowana w powiatach białostockim, bialskim i ostrołęckim. Obszar Polski centralnej oraz województwa małopolskie i górnośląskie wyróżniają się najniższym udziałem gmin ze znaczącym potencjałem pozyskania biomasy TUZ.



Rys. 4. Potencjał teoretyczny i techniczny siana (opracowanie własne)

Tabela 1

Nadwyżki siana z produkcji rolnej w 2022 roku (tys. t) (opracowanie własne)

Wyszczególnienie	Nadwyżka siana
Dolnośląskie	119,7
Kujawsko-pomorskie	106,1
Lubelskie	237,4
Lubuskie	123,5
Łódzkie	114,9
Małopolskie	32,3
Mazowieckie	392,6
Opolskie	60,8
Podkarpackie	62,2
Podlaskie	349,1
Pomorskie	132,9
Śląskie	52,0
Świętokrzyskie	56,8
Warmińsko-mazurskie	301,8
Wielkopolskie	252,1
Zachodniopomorskie	173,6
Polska	2 568,6

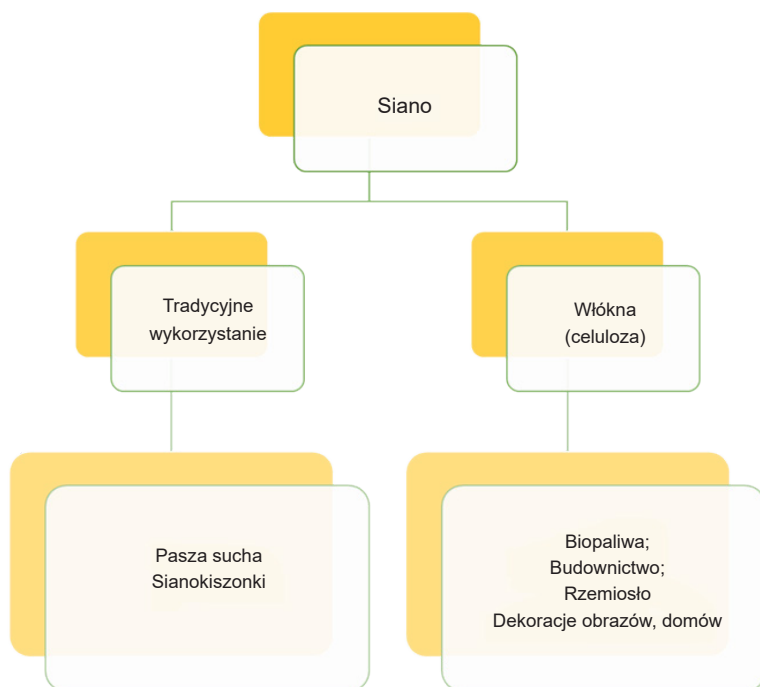
Wiarygodność wyników i szacunek niepewności

Powierzchnie kompleksów przydatności rolniczej użytków zielonych (1z, 2z i 3z) świadczą o potencjale teoretycznym siedliska i mogą obejmować użytki zielone już przekształcone do innej formy użytkowania lub porzucone i podlegające sukcesji naturalnej – dlatego dla określenia potencjałów rocznych (modelowanych) należy wykorzystywać dane ARiMR.

Możliwości wykorzystania biomasy z użytków zielonych

Biomasa z użytków zielonych to przede wszystkim siano, które jest jedną z najważniejszych pasz objętościowych suchych w żywieniu przeżuwaczy i koni. Siano jest doskonałym źródłem błonnika, białka i innych niezbędnych składników odżywczych, których zwierzęta potrzebują do utrzymania dobrego zdrowia. Alternatywnym wysoko dochodowym wykorzystaniem siana jest produkcja pasz dla małych zwierząt (króliki, gryzonie). Cena kilograma siana sięga 40 zł.

Siano jest powszechnie stosowane w kształtowaniu krajobrazu i ogrodnictwie. Może być używane jako ściółka, pomagając zatrzymać wilgoć w glebie i hamując wzrost chwastów. Ze względu na doskonałe właściwości izolacyjne, jak również ognioodporne (może pomóc zapobiec rozprzestrzenianiu się płomieni) od wieków wykorzystywane jest jako materiał budowlany i izolacyjny. Bele siana mogą być używane do budowy ścian, dachów i podłóg, a także mogą być pokrywane tynkiem lub innymi materiałami, aby uzyskać wykończony wygląd. Siano wykorzystuje się również do tkania koszy, mat oraz innych przedmiotów codziennego użytku. Ze względu na łatwość formowania go w różnorodne kształty, może również posłużyć jako podstawa do rzeźb (rys. 5).



Rys. 5. Przykłady aktualnych zastosowań siana (opracowanie własne)

Biomasa z użytków zielonych może być używana jako źródło paliwa. Chociaż nie jest ona tak wydajna jak inne rodzaje paliwa, to może być spalana w celu wytwarzania ciepła i energii, ale przede wszystkim może trafiać do zielonej biorafinacji jako uzupełnienie pozostałych surowców pierwotnych i wtórnych, takich jak koniuczyna i liście buraka cukrowego. Zielone biorafinerie stanowią szczególny podzbiór biorafinarii definiowanych jako systemy wieloproduktowe, które wykorzystują zieloną biomasę, taką jak trawy, zielone uprawy i niedojrzałe zboża, jako surowiec do uzyskiwania produktów przemysłowych (Xiu i Shahbazi 2015).

3.3. BIOMASA UBOCZNA Z PRODUKCJI ZWIERZĘCEJ

Wykorzystanie odchodów zwierzęcych może być kluczowym czynnikiem osiągnięcia celów biogospodarki. Rozwój sektora biogospodarki mógłby pomóc w stworzeniu możliwości dla systemu o obiegu zamkniętym, z którego skorzystają ludzie i planeta, a także który zapewni rolnikom rentowność ekonomiczną. Ważne jest dokładne oszacowanie ilości odchodów zwierzęcych i ich rozmieszczenia, ponieważ ma to ogromny wpływ dla przyszłego planowania i optymalizacji produkcji bioenergii (Vlyssides i in. 2015). Prace prowadzone w ramach projektu BioBoost (7PR) wykazały, że w przypadku Polski, podobnie jak w wielu innych krajach europejskich, cały teoretyczny potencjał obornika można wykorzystać w rolnictwie (BioBoost Geoportal), tj. istnieje możliwość jego wykorzystania jako nawozu, natomiast w skali regionalnej dawka $170 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ nie zostanie przekroczona zgodnie z ograniczeniem wskazanym w unijnej dyrektywie azotanowej (Dz.U. z 2020 r. poz. 243). Istotnym dla biogospodarki pytaniem jest, czy bardziej zrównoważoną formą zagospodarowania odchodów jest ich bezpośrednie przyoranie na polu, czy też produkcja biogazu i wtórne zagospodarowanie pofermentu jako nawozu do gleby. Dlatego poniżej przedstawiono przykład szacowania potencjału teoretycznego obornika, który stanowi główną biomasę uboczną z produkcji zwierzęcej.

Ilość generowanych odchodów zwierzęcych uzależniona jest od gatunku, wieku zwierząt hodowlanych, ale również od systemu ich utrzymania. Szczegółowe informacje i przeliczniki odnoszące się do rocznej produkcji odchodów zawarte są w Dzienniku Ustaw (Dz.U. z 2023 r. poz. 244), które stanowią normatywy do przeliczania produkcji poszczególnych rodzajów nawozów naturalnych. Wyróżnia się cztery systemy utrzymania zwierząt gospodarskich, które wpływają na rodzaj generowanych nawozów naturalnych:

- **głęboka ściółka** – w tym przypadku jako nawóz naturalny generowany jest obornik;
- **plytka ściółka** – w tym systemie utrzymania generowane odchody dzielimy na obornik i gnojówkę;
- **system bezściółkowy** – w tym systemie utrzymania nawozem naturalnym jest gnojowica i pomiot (w przypadku drobiu);
- **system otwarty** – w przypadku tego systemu nie jest możliwe zagospodarowanie odchodów.

W przypadku oceny potencjału biomasy ubocznej z produkcji zwierzęcej w Polsce największe znaczenie mają generowane odchody w produkcji opartej na hodowli bydła i trzody chlewnej, oraz – w mniejszym stopniu – drobiu, natomiast hodowla pozostałych gatunków zwierząt w tym kontekście będzie miała marginalne znaczenie. Należy jednak dodać, że na przestrzeni ostatnich lat obserwuje się spadek погоłowia świń, który regionalnie związany jest z występowaniem ognisk wirusa ASF oraz ogólnie trudną sytuacją na rynku wieprzowiny.

Poniższe szacunki krajowego potencjału biomasy ubocznej z produkcji zwierzęcej dotyczą potencjału teoretycznego, który jest bezwzględną ilością wytworzonej biomasy. Analizy potencjału generowanych odchodów zwierzęcych dotyczą hodowli bydła i trzody chlewnej. Dane o pogłowie bydła i trzody chlewnej pozyskano z ARiMR i dotyczą one 2020 r. Trudniej jest natomiast pozyskać szczegółowe informacje dotyczące struktury wiekowej stada, grupy technologicznej i obsady zwierząt w poszczególnych systemach utrzymania. Dlatego w bardziej ogólnym szacowaniu potencjału teoretycznego przyjęto pewne uproszczenia. Założono, że dominującym systemem utrzymania zwierząt gospodarskich jest system płytkiej ściółki, który pozwala na generowanie nawozów naturalnych w dwóch frakcjach: obornika i gnojówki. Każda z tych frakcji posiada inne właściwości pod kątem możliwości zagospodarowania jako nawóz naturalny lub w kontekście przetworzenia w bioenergię. Roczną ilość produkowanego obornika i gnojówki dla tego systemu utrzymania oszacowano przez przyjęcie wybranych norm przeliczeniowych dla odpowiednich grup technologicznych: dla bydła – jest to norma dla krów, dla trzody chlewnej – norma dla tuczników (tab. 2).

Tabela 2

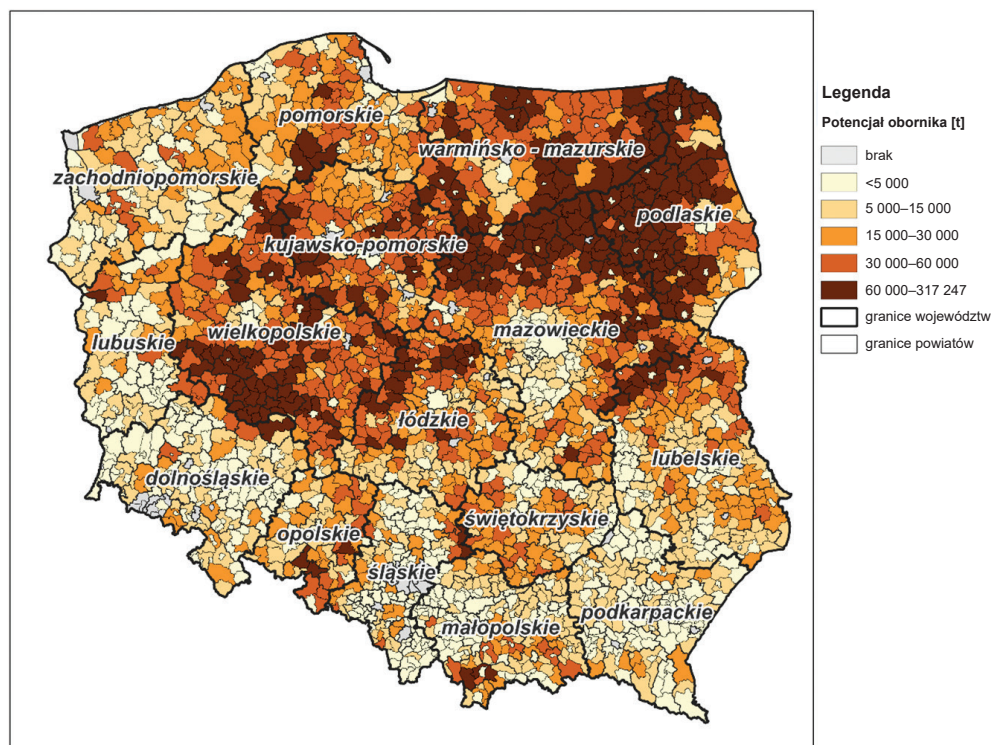
Średnie roczne wielkości produkcji nawozów naturalnych (Dz.U. z 2023 r. poz. 244)

Produkcja zwierzęca gatunek/grupa technologiczna zwierząt		Średnia roczna produkcja na 1 szt.	
		obornik	gnojówka
		t·rok ⁻¹	m ³ ·rok ⁻¹
Bydło	krowy mleczne	14,8	7,6
Trzoda chlewna	tuczniaki	1,3	1,0
Suma		16,1	8,6

Według przyjętej metodyki badań oszacowano krajowy potencjał produkcji nawozów naturalnych na 64,1 mln t obornika oraz 33,6 mln t gnojówki. Oprócz analiz ilościowych opracowano również mapę przedstawiającą przestrzenne rozmieszczenie tego potencjału (rys. 6). Bardzo ważne jest bowiem przeanalizowanie regionalnego zapotrzebowania na ten surowiec jako ewentualny wkład/substrat wykorzystywany w biogazowniach.

Przedstawiony potencjał nawozów naturalnych z produkcji zwierzęcej wykazuje znaczne zróżnicowanie przestrzenne (tab. 3). W skali wojewódzkiej można wyróżnić trzy regiony: województwa mazowieckie, podlaskie i wielkopolskie – dla każdego z nich potencjał teoretyczny obornika przekracza 10 mln t, co w sumie stanowi ponad 50% ogólnej produkcji obornika w skali kraju (tab. 4). Jednak, analizując rysunek 6, zauważamy jego regionalizację nawet w obrębie poszczególnych województw. Znaczny potencjał koncentruje się w północnej części województwa ma-

zowieckiego, głównie w gminach powiatów: ostrołęckiego, przasnyskiego, ostrowskiego, mławskiego, żuromińskiego i sierpeckiego, ale również w sąsiadujących powiatach należących administracyjnie do województwa warmińsko-mazurskiego, tj. szczycieńskiego, działdowskiego, piskiego oraz w północnej części obejmującej powiaty bartoszycki i lidzbarski. W przypadku województwa podlaskiego potencjał ten występuje przede wszystkim w gminach zlokalizowanych w zachodniej części, natomiast na obszarze wielkopolski, a dokładnie w jego południowo-zachodniej części, w gminach powiatów: krotoszyńskiego, gostyńskiego, kościańskiego i rawickiego. Nieco mniejszym, jednak znaczącym potencjałem charakteryzuje się obszar województwa kujawsko-pomorskiego, ale również północna część województw lubelskiego (powiaty: łukowski, bialski, rycki) i łódzkiego (powiaty: łowicki, łęczycki, poddębicki).



Rys. 6. Przestrzenne rozmieszczenie potencjału teoretycznego obornika w gminach (opracowanie własne na podstawie danych ARiMR 2020)

Tabela 3

Potencjał nawozów naturalnych według województw
(opracowano na podstawie danych ARiMR 2020)

Wyszczególnienie	Obornik (t)	Gnojówka (t)
Dolnośląskie	1 044 555,7	548 962,6
Kujawsko-pomorskie	4 725 075,5	2 500 799,3
Łódzkie	4 805 827,7	2 545 306,3
Lubelskie	3 724 302,2	1 941 341,6
Lubuskie	887 394,7	469 401,6
Małopolskie	1 761 042,6	913 627,4
Mazowieckie	12 976 373,2	6 752 993,1
Opolskie	1 335 114,6	711 468,4
Podkarpackie	868 554,2	455 799,4
Podlaskie	10 326 798,2	5 325 153,3
Pomorskie	2 273 924,6	1 210 033,8
Śląskie	1 291 471,3	679 461,0
Świętokrzyskie	1 587 980,3	831 234,0
Warmińsko-mazurskie	5 003 941,1	2 611 075,8
Wielkopolskie	10 392 133,7	5 536 790,0
Zachodniopomorskie	1 139 908,1	609 822,7
Suma końcowa	64 144 397,7	33 643 270,4

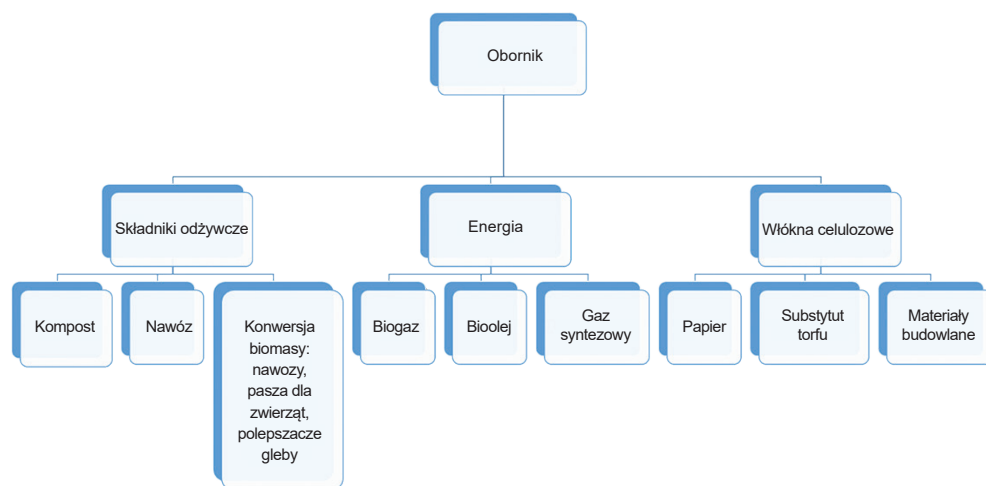
Możliwości wykorzystania ubocznej biomasy z produkcji zwierzęcej

Hodowla zwierząt prowadzi do produkcji obornika, który może być wykorzystywany na wiele sposobów. Najpopularniejszym zastosowaniem jest wykorzystywanie obornika jako nawozu, dodatku do gleby, źródła energii, a nawet materiału budowlanego. Ponadto obornik posiada wiele przydatnych, nadających się do odzysku składników, w tym składniki odżywcze, materię organiczną, ciała stałe, energię i włókno. Dzięki rozwijającej się technologii, obornik można wykorzystywać wydajniej i na więcej sposobów niż dotychczas. Innowacyjne wykorzystanie obornika może złagodzić wiele skutków środowiskowych, które powstają podczas jego tradycyjnego stosowania.

Najczęściej stosowane techniki przetwarzania biomasy ubocznej z produkcji zwierzęcej to:

- separacja gnojowicy (rozdzielenie frakcji płynnej i stałej),
- kompostowanie obornika,

- filtracja membranowa,
- zakwaszanie gnojowicy,
- suszenie gnojowicy,
- użycie mikroorganizmów pożytecznych,
- fermentacja metanowa (poferment). Powstający odpad zwany pofermentem ma duże właściwości nawozowe i może być z powodzeniem stosowany w nawożeniu po spełnieniu wymogów zawartych w rozporządzeniu z dnia 5 kwietnia 2011 r. w sprawie procesu odzysku R10 (Dz.U. z 2011 r. nr 86 poz. 476),
- przetwarzanie na nowe nawozy RENURE (REcovered Nitrogen from manURE).



Rys. 7. Przykłady aktualnych zastosowań obornika (opracowanie własne)

Obornik i gnojowica jako nawóz naturalny

Gospodarka o obiegu zamkniętym dotyczy również odzyskiwania składników odżywczych. Oznacza to wykorzystanie wartościowych frakcji ubocznych i ich ponowne zagospodarowanie na różne sposoby, przede wszystkim do produkcji żywności. Jednym z głównych substratów jest obornik, który tradycyjnie stosowany jest przede wszystkim jako nawóz naturalny. Jest cennym źródłem azotu i potasu, a zawartość fosforu stanowi ok. 50% ilości N i K₂O. Większość potasu w oborniku pochodzi ze słomy wykorzystywanej w hodowli zwierzęcej. Prawidłowo stosowane nawozy naturalne dostarczają roślinom uprawnym składników odżywczych nie tylko po zastosowaniu w pierwszym okresie wegetacyjnym, ale również są wykorzystywane przez rośliny w kolejnych latach. Stosowanie obornika, gnojówki, gnojowicy czy pomiotu drobiowego wpływa również na akumulację materii organicznej zmieniającej strukturę i żyzność gleby. Regionalna koncentracja produkcji zwierzęcej stwarza jednak problem związany z nadmiernym wykorzystaniem odchodów

zwierzęcych na tych obszarach, podczas gdy regiony, w których dominuje produkcja roślinna stosują głównie nawożenie mineralne. Obie sytuacje mogą stwarzać negatywne konsekwencje dla środowiska (Luostarinen i in. 2020). Głównym problemem w dystrybucji obornika, gnojówki czy gnojowicy na obszary o większym zasięgu jest transport, dlatego w celu umożliwienia mobilności tych nawozów naturalnych dokonuje się przetwarzania odchodów zwierzęcych.

Potencjał bioenergetyczny odchodów zwierzęcych

Produkty uboczne z produkcji zwierzęcej w postaci odchodów, poza wykorzystaniem w postaci nawozów naturalnych, stanowią ważny surowiec wprowadzany do biogazowni rolniczych. Biogaz jest to gaz uzyskany z biomasy, w szczególności z instalacji przeróbki odpadów zwierzęcych lub roślinnych, oczyszczalni ścieków oraz składowisk odpadów. Jest produkowany w biogazowniach rolniczych, co pozwala na pozyskiwanie energii cieplnej oraz elektrycznej (Dz.U. z 2015 r. poz. 478).

W tabeli 4 oszacowano potencjał biogazu i biometanu jako iloczyn wyliczonej wcześniej świeżej masy odchodów zwierzęcych, w tym przypadku obornika (bydłęcego i świńskiego) oraz odpowiadającego im uzysku biogazu i biometanu.

Tabela 4

Produkcja i parametry przeliczeniowe do uzysku biogazu i biometanu z obornika
(opracowanie własne na podstawie danych o pogłowie zwierząt w 2020 r. pozyskane z ARiMR z Departamentu Ewidencji Producentów i Rejestracji Zwierząt)

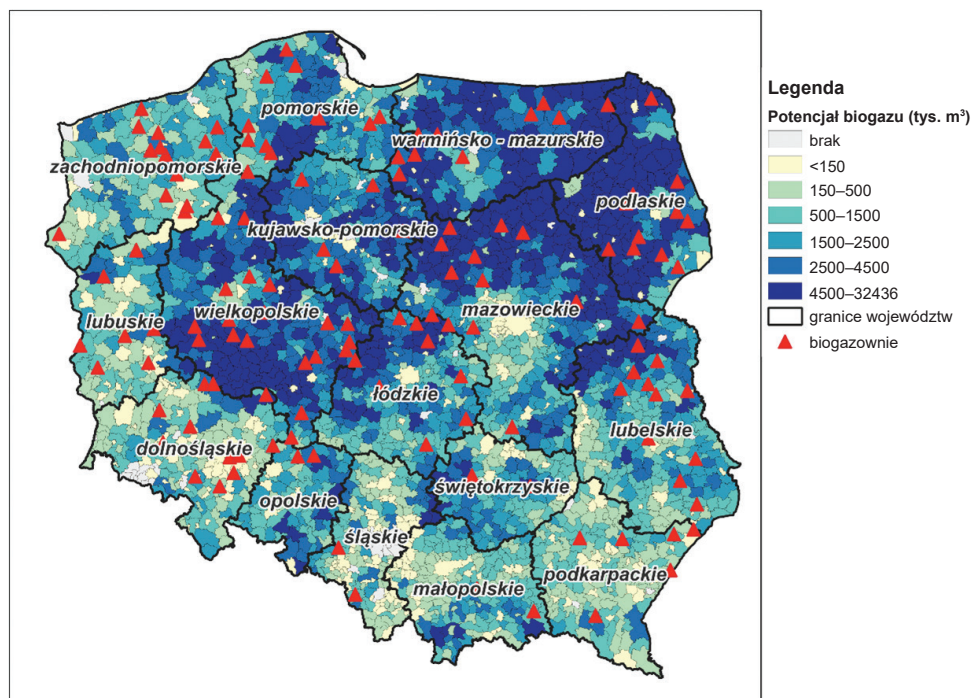
Wyszczególnienie	Produkcja	Współczynnik*		Potencjał	
	obornika	biogaz skumulowany	metan skumulowany	biogazu	biometanu
	mln. t	m ³ ·t ⁻¹ ś.m.		mln m ³ ·t ⁻¹ ś.m.	
Bydło	61,4	103	58	6324,2	3561,2
Trzoda chlewna	2,7	8	5	21,6	13,5
Suma	64,1			6345,8	3574,7

*współczynniki przeliczeniowe wg normy DIN 38 414/S8 i VDI 4630 za Raportem Biogaz i biometan w Polsce 2024

Biogaz uzyskuje się z obornika w drodze fermentacji beztlenowej; następnie wytwarza się energię elektryczną i ciepło poprzez sprężanie metanu w jednostce kogeneracji.

Według KOWR-u, który sprawuje nadzór nad działalnością gospodarczą w zakresie produkcji biogazu rolniczego i opublikowanego rejestru wytwórców biogazu rolniczego z 2024 r., obecnie zarejestrowanych jest 145 wytwórców oraz 175 instalacji biogazowych (Rejestr wytwórców biogazu rolniczego – Krajowy Ośrodek

Wsparcia Rolnictwa – Portal Gov.pl). Natomiast przestrzenne rozmieszczenie i lokalizację biogazowni na tle całłościowego potencjału biogazu z obornika przedstawia rysunek 8. Jak podano w ww. raporcie, roczną wydajność instalacji OZE produkującej biogaz rolniczy podsumowano na $676 \text{ mln m}^3 \cdot \text{rok}^{-1}$, stanowi to zaledwie 10% oszacowanego powyżej potencjału biogazu otrzymanego z samego obornika. Zatem znaczna część produkcji ubocznej w postaci odchodów zwierzęcych, poza wykorzystaniem jako nawóz naturalny, może stanowić substrat do produkcji biogazu.



Rys. 8. Aktualna lokalizacja biogazowni rolniczych na tle potencjału produkcji biogazu obornika (opracowanie własne na podstawie danych o pogłowie zwierząt w 2020 r. pozyskane z ARiMR z Departamentu Ewidencji Producentów i Rejestracji Zwierząt)

Potencjał wykorzystania włókien celulozowych obornika

Nowo rozwijającym się działem wykorzystania obornika jest wytwarzanie specjalistycznych produktów o wartości dodanej do sprzedaży. Większość z nich obejmuje ekstrakcję i wykorzystanie włókien stałych z obornika i jest przeprowadzane na skalę eksperymentalną albo wykonywane na skalę butikową.

Substytut mchu torfowego. Włókno odzyskane z beztlenowej fermentacji obornika służy jako podłoże do wzrostu roślin. Próby wzrostu roślin wykazały, że po odpowiednim przetworzeniu włókno działa jak torfowiec w uprawie roślin doniczk-

kowych. Włókna mogą być również wykorzystane przy innowatorskich produktach tworzonych w bardzo kreatywny sposób jako doniczki szkółkarskie, doniczki nasiona na bazie włókien obornika, rzeźby wykonane z kompostowanego obornika i sprzedawane jako sztuka ogrodowa do nawożenia.

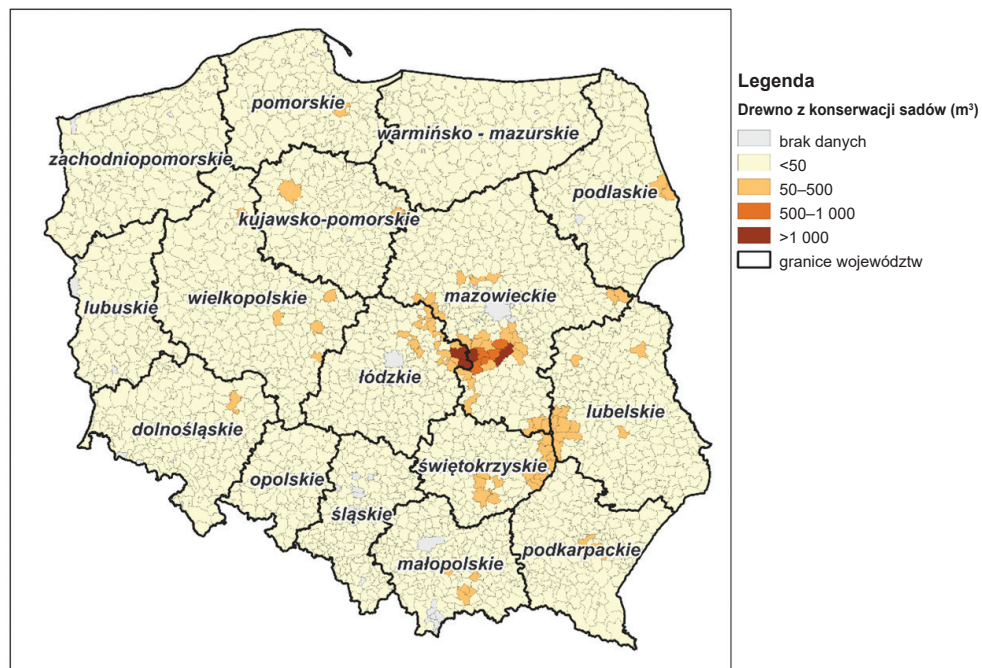
Papier wykonany z przetworzonego obornika różnych zwierząt, w tym słoni i krów. Wysuszony obornik płucze się w wodzie, pozostawiając niestrawione włókno, które gotuje się i miesza z innymi włóknami naturalnymi w celu wytworzenia różnych produktów papierowych.

Materiały budowlane. Odzyskane włókno obornika zostało włączone do płyt pilśniowych wykorzystywanych do budowy budynków.

3.4. BIOMASA ODPADOWA Z SADÓW

Podczas corocznej pielęgnacji sadów można pozyskać biomasę w postaci drewna. Gałęzie z procesu pielęgnacji i przecinek traktowane są jako odpad, który jest magazynowany na przymie lub spalany. Otwarte spalanie tych odpadów przyczynia się do degradacji otaczającego środowiska, a wykorzystanie odpadów drzewnych do produkcji materiałów drewnopochodnych jest uważane za zrównoważone pod względem środowiskowym, ekonomicznie opłacalne i społecznie akceptowalne (Hays i in. 2005). Gałęzie mogą być również rozdrabniane i traktowane jako źródło składników odżywczych, jednak, jeśli były zaatakowane przez patogeny, mogą stanowić źródło chorób, co niekorzystnie wpływa na jakość produkowanych owoców. Szacuje się, że z pielęgnacji hektara sadu można pozyskać średnio ok. 3,5 t gałęzi z przecinek, co oznacza ok. 2 t suchej masy organicznej. Ilość pozyskiwanej biomasy w danym sadzie zależy m.in. od wieku sadu, odmiany drzew, liczby nasadzeń, sposobu prowadzenia sadu oraz od tego, czy sad jest tradycyjny, czy intensywny (Habiera i in. 2018).

Biomasa odpadowa z sadów obliczana jest jako iloraz sumy powierzchni upraw w 2021 r. (czereśnie, grusze, jabłonie, śliwy, wiśnie, orzech włoski) i współczynnika produkcji odpadu w sadzie ($2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$). Jest to przykład biomasy odpadowej, której rozmieszczenie kształtowane jest przez specjalizację rolniczą regionów. Przedstawiony na rysunku 9 potencjał biomasy z konserwacji sadów koncentruje się głównie w południowo-zachodniej części województwa mazowieckiego, tj. w powiatach grójeckim i rawskim oraz w powiecie łowickim (woj. łódzkie). Kolejna lokalizacja związana jest z doliną środkowej Wisły na pograniczu województw mazowieckiego, lubelskiego i świętokrzyskiego, są to powiaty: opolski, lipski, opatowski i sandomierski. Ogólny krajowy potencjał tej biomasy ocenia się na ok. 34 tys. m^3 drewna z przecinki pielęgnacyjnej.



Rys. 9. Przestrzenne rozmieszczenie potencjału odpadów z sadów
(opracowanie własne na podstawie danych ARiMR 2021)

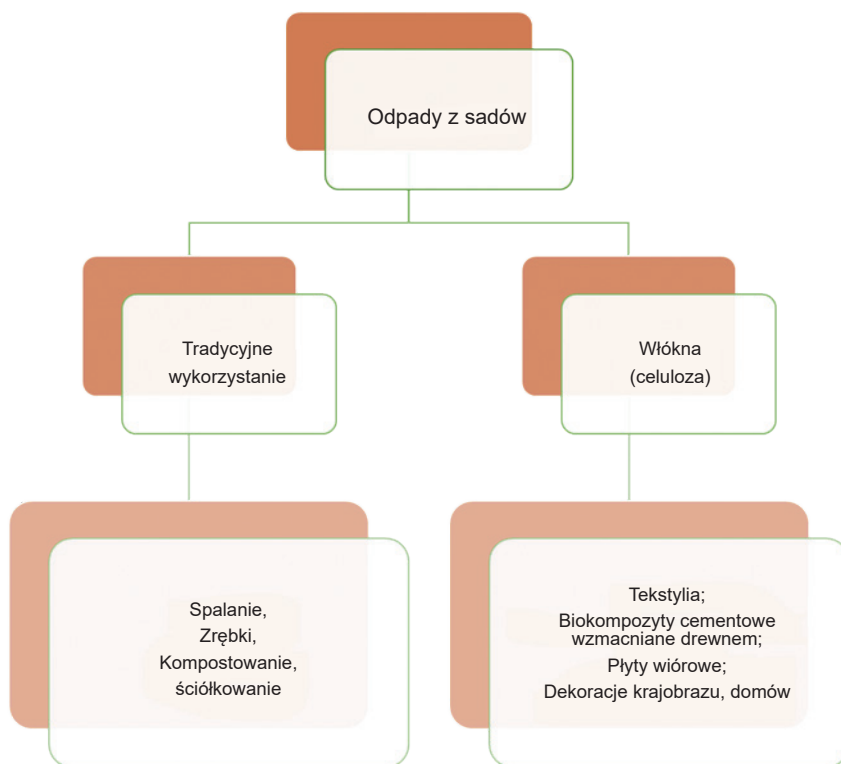
Możliwości wykorzystania ubocznej biomasy z odpadów z sadów

Podstawowym sposobem wykorzystania biomasy z pielęgnacji sadów jest wytworzenie zrębków. Zrębki można przetwarzać na energię, jak również wykorzystać w celu ściółkowania i dekoracji krajobrazu. Zrębkowanie można wykonać w prosty sposób za pomocą rozdrabniacza do drewna. Ułatwi to również ewentualny transport.

Odpady z sadów mogą być wykorzystywane do produkcji kompozytów cementowych wzmocnianych drewnem (Nasser i in. 2016). Są to cząstki lub włókna drewniane lub niedrewniane stosowane jako materiały wzmocniające, a nieorganiczny środek wiążący, taki jak zwykły cement portlandzki, łączy je ze sobą. Panele te można formować do określonego kształtu lub konstruować w formie sprasowanych bloków i paneli, a mogą one zawierać ok. 30–70% drewna według masy w różnych formach. W ostatnim czasie podejmowane są próby ograniczenia wykorzystania drewna w płytach wiórowych poprzez wprowadzenie innych materiałów dostępnych w postaci odpadów z przycinania drzew (Nasser 2012).

Odpady z sadów mogą być wykorzystane do budowy domów (uli) dla pożytecznych owadów. Często również znajdują zastosowanie w tworzeniu wystroju domu, szczególnie rustykalnego. Przy użyciu wyobraźni można tworzyć piękne wieńce,

dekoracje drzwi, dekoracje ściennie, nakrycia stołu, a nawet maty do drzwi w połączeniu ze wstążkami dekoracyjnymi, sznurkami i ozdobami. Świetnie sprawdzą się również jako dekoracja patio i szopy (rys. 10).



Rys. 10. Przykłady aktualnych zastosowań odpadów z sadów (opracowanie własne)

4. PODSUMOWANIE

Biomasa pochodzenia rolniczego (tzw. biomasa agro) stanowi kluczowy filar polskiej strategii biogospodarki, pełniąc potrójną rolę: stabilizatora systemu energetycznego, surowca dla przemysłu wysoko przetworzonego oraz czynnika rozwoju obszarów wiejskich. Jednak pomimo dużych zasobów różnych rodzajów biomasy rolniczej jej potencjał nie jest w pełni wykorzystany. Trudności z jej efektywnym zagospodarowaniem wiążą się m.in. z kosztami i trudnościami logistycznymi. Podobnie jak sama produkcja rolna, również zasoby biomasy podlegają regionalizacji, co wpływa na koszty transportu oraz magazynowania często rozproszonych biomasy rolniczej.

Za jeden z głównych kierunków wsparcia systemu energetycznego uznaje się zwiększenie udziału OZE, w miksie energetycznym, co czyni biomasę rolniczą strategicznym zasobem w procesie dekarbonizacji. Jednak rynek biogazowni w Polsce

wciąż boryka się z wieloma problemami wynikającymi zarówno z bariery społecznej, problemów technicznych i eksploatacyjnych (np. sezonowość niektórych surowców), ale także bariery systemowej i ekonomicznej. Obecna liczba biogazowni w Polsce (175 dane na 2024 rok) jest wynikiem znacznie poniżej potencjału kraju.

W ostatnich latach obserwuje się szerokie zainteresowanie technologiami opartymi na bio-zasobach, jest to niezwykle ważny kierunek w strategii Biogospodarki, ze względu na możliwości, które niesie, zwłaszcza w kontekście innowacyjności, potrzeby koordynacji między sektorami, ale także w dłuższym horyzoncie może stać się trwałym elementem modernizacji rolnictwa i rozwoju obszarów wiejskich.

5. LITERATURA

1. Bielski S., Marks-Bielska R., Zielińska-Chmielewska A., Romaneckas K., Šarauskis E.: Importance of agriculture in creating energy security—A case study of Poland. *Energies*, 2021, **14**(9), 2465; DOI: 10.3390/en14092465
2. BioBoost Geoportal (b.d.); <https://bioboost.iung.pl/> (dostęp 25.09.2024)
3. Borrega M., Hinkka V., Hörhammer H., Kataja K., Kenttä E., Ketoja J.A., Palmgren R., Salo M., Sundqvist-Andberg H., Tanaka A.: Utilizing and Valorizing Oat and Barley Straw as an Alternative Source of Lignocellulosic Fibers. *Materials*, 2022, **15**(21), 7826; <https://doi.org/10.3390/ma15217826>
4. Dotacja celowa zadanie 3.0, 2023. Analiza potencjału podaży biomasy w 2023 r. na poziomie krajowym i regionalnym – Dotacja celowa 3.0, 2023 – Biogospodarka (b.d.); https://geoportal.biogospodarka.iung.pl/index.php/view/map/?repository=dc3x2023&project=DC_3_0_biomas_2023 (dostęp 5.09.2024).
5. Dyrektywa Rady z dnia 12 grudnia 1991 r. dotycząca ochrony wód przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez azotany pochodzenia rolniczego (Dz.U. L 375 z 31.12.1991); <http://data.europa.eu/eli/dir/1991/676/oj/pol>
6. Elbersen B.S., Staritsky I.G., Hengeveld G.M., Schelhaas M.J., Naeff H.S.D., Böttcher H.: Atlas of EU biomass potentials: spatially detailed and quantified overview of EU biomass potential taking into account the main criteria determining biomass availability from different sources. 2012, pp. 139 (IEE 08653 S12.529 241; No. 3.3). IIASA.
7. Everall N.C., Lees D.R.: The use of barley-straw to control general and blue-green algal growth in a Derbyshire reservoir. *Water Research*, 1996, **30**: 269-276.
8. Habiera K., Lach A., Dyjakon A.: Metody zagospodarowania biomasy z sadów jabłoniowych w Polsce. W: *Nauki Przyrodnicze i Medyczne: Świat żywy a technologie w otoczeniu ludzi i zwierząt*, J. Bednarski, M. Bajda (red.). Instytut Promocji Kultury i Nauki, 2018, ss. 138-152.
9. Hamelin L., Borzęcka M., Kozak M., Pudelko R.: A spatial approach to bioeconomy: Quantifying the residual biomass potential in the EU-27. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2019, **100**: 127-142.
10. Hay M.D., Fine P.M., Geron C.D., Kleeman M.J., Gullett B.K.: Open burning of agricultural biomass: physical and chemical properties of particle-phase emissions. *Atmospheric Environment*, 2005, **39**: 6747-6764.
11. Harasim A.: *Gospodarowanie słomą*. Wydawnictwo IUNG-PIB, Puławy 2011, ss. 77.
12. Loughrin J., Lovanh N.: Aeration to improve biogas production by recalcitrant feedstock. *Environments*, 2019, **6**(4), 44; DOI: 10.3390/environments6040044

13. Luostarinen S., Tampio E., Laakso J., Sarvi M., Ylivainio K., Riiko K., Kuka K.: Manure processing as a pathway to enhanced nutrient recycling: Report of SuMaNu platform. *Natural resources and bioeconomy studies* 62/2020, pp. 75.
14. Nasser R.A.: Physical and mechanical properties of three-layer particleboard manufactured from the tree pruning of seven wood species. *World Applied Sciences Journal*, 2012, 19: 741-753.
15. Nasser R., Salem M., Al-Mefarrej H., Aref I.: Use of tree pruning wastes for manufacturing of wood reinforced cement composites. 2016, **72**: 246-256.
16. Nielsen S., Joseph S., Ye J., Chia C., Munroe P., Zwieten L., et al.: Crop-season and residual effects of sequentially applied mineral enhanced biochar and n fertiliser on crop yield, soil chemistry and microbial communities. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2018, **255**: 52-61; DOI: 10.1016/j.agee.2017.12.020
17. Pudełko R.: System monitoringu biomasy pochodzenia rolniczego. *Magazyn Biomasa*, 2023; <https://magazynbiomasa.pl/en/system-monitoringu-biomasy-pochodzenia-rolniczego/> (dostęp 5.07.2024).
18. Pudełko R.: Ocena potencjałów biomasy ubocznej i odpadowej w UE-27 i Szwajcarii oraz ich regionalizacja. *Monografie i Rozprawy Naukowe, IUNG-PIB, Puławy* 2013, **39**: 1-154; <https://www.iung.pl/images/pdf/habilitacje/Pudelko-hab.pdf>
19. Raport Biogaz i biometan w Polsce. *Magazyn Biomasa*, 2024; <https://magazynbiomasa.pl/pobierz-raport-biogaz-i-biometan-w-polsce-2024/> (dostęp 6.06.2025).
20. Rejestr wytwórców biogazu rolniczego. Krajowy Ośrodek Wsparcia Rolnictwa – Portal Gov.pl. (b.d.); <https://www.gov.pl/web/kowr/rejestr-wytworcow-biogazu-rolniczego> (dostęp 25 wrzesień 2024]
21. Ro K.S., Dienerberger M.A., Libra J.A., Proeschel R., Atiyeh H.K., Sahoo K., Park W.J.: Production of ethanol from livestock, agricultural, and forest residuals: An economic feasibility study. *Environments*, 2019, **6(8)**, 97; DOI: 10.3390/environments6080097
22. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 5 kwietnia 2011 r. w sprawie procesu odzysku R10 (Dz.U. z 2011 r. nr 86 poz. 476); <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20110860476>
23. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 12 lutego 2020 r. w sprawie przyjęcia „Programu działań mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu” (Dz.U. z 2020 r. poz. 243); <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20200000243>
24. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 31 stycznia 2023 r. w sprawie „Programu działań mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu (Dz.U. z 2023 r. poz. 244).
25. The feedstock potential assessment for EU-27 + Switzerland in NUTS-3. 2023; https://bioboost.eu/uploads/files/bioboost_d1.2_iung_feedstock_potential_vers1_0-final.pdf
26. Tijani M.M., Aqsha A., Mahinpey N.: Development of oil-spill sorbent from straw biomass waste: Experiments and modeling studies. *Journal of Environmental Management*, 2016, **171**: 166-176.
27. Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii (Dz.U. z 2015 r. poz. 478); <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20150000478>
28. Vlyssides A., Mai S., Barampouti E.M.: Energy generation potential in Greece from agricultural residues and livestock manure by anaerobic digestion technology. *Waste and Biomass Valorization*, 2015, **6(5)**: 747-757; DOI: 10.1007/s12649-015-9400-5
29. Xu S., Shahbazi A.: Development of green biorefinery for biomass utilization: a review. *Trends in Renewable Energy*, 2015, **1(1)**: 4-15.

A stylized, light gray leaf graphic with a curved shape, positioned on the left side of the page, partially overlapping the title and authors' names.

Małgorzata Kozak
Rafał Pudełko

XII. POTENCJAŁ NIEUŻYTKOWANYCH GRUNTÓW ROLNYCH I MOŻLIWOŚCI ICH WYKORZYSTANIA

Zakład Geomatyki
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa
Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. (0-81) 4786769
e-mail: Malgorzata.Kozak@iung.pulawy.pl

1. WSTĘP

W ostatnich latach problem nieużytkowanych gruntów rolnych postrzegany jest przez pryzmat zarówno badań przyrodniczych odnoszących się często do aspektów ekologicznych, jak bioróżnorodność czy możliwości sekwestracyjne węgla, ale również jako przestrzeń potrzebna do rozwoju biogospodarki, której pozyskiwanie biomasy mogłoby funkcjonować bez ryzyka konkurencji z produkcją zdrowej żywności. Należy zaznaczyć, że zrównoważone gospodarowanie przestrzenią rolniczą ma na celu w pierwszym rzędzie zapewnienie potrzeb żywnościowych, a w dalszej kolejności wspieranie innych sektorów, np. poprzez produkcję biomasy na inne niż żywnościowe potrzeby (Lewandowski 2016). Pewien rezerwuuar i potencjał mogą stanowić w tym kontekście nieużytkowane grunty rolne.

Obecnie dostrzega się potrzebę kształtowania strategii zagospodarowania gruntów pozostających na marginesie rolnictwa, tworzących przestrzeń, w której obrany kierunek zmiany użytkowania może mieć wpływ na charakter regionów, usług ekosystemowych oraz możliwości wsparcia założeń biogospodarki. Jednak pomimo ciągłego rozwoju metod gromadzenia i zarządzania bazami danych oraz widocznego postępu w możliwości ich pozyskania, problematyczne pozostaje zinventaryzowanie nieużytkowanych gruntów rolnych i ich przestrzenne rozpoznanie.

2. PRZESTRZENNE ROZPOZNANIE NIEUŻYTKOWANYCH GRUNTÓW ROLNYCH

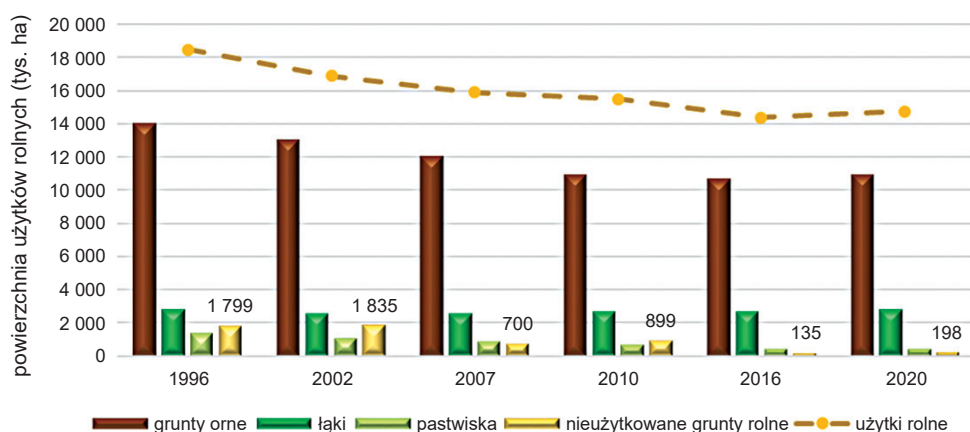
Problem nieużytkowania gruntów rolnych w Polsce zaistniał wraz z urynkowaniem gospodarki rolnej w 1990 r. Po transformacji ustrojowej użytkowanie ziemi marginalnej i części niewielkich działek rolnych położonych na terenach o lepszej przydatności rolniczej stało się nieopłacalne ze względów ekonomicznych. Uwidoczniło się to głównie w przypadku dużych państwowych gospodarstw rolnych, które w szybkim tempie zostały sprywatyzowane (Michna 1998, Michna i Rokicka 1998). Dodatkowo zmiany struktury demograficznej polskiej wsi spowodowały zmniejszenie zainteresowania kontynuowaniem działalności rolniczej w małych gospodarstwach o rozdrobnionej strukturze pól. Opisane zmiany w rolnictwie uwiidocznily się również w krajobrazie rolniczym. W wielu regionach kraju, wskutek zaprzestania użytkowania i sukcesji roślinności naturalnej, liczne działki rolne uległy trwałemu zakrzaczeniu i zadrzewieniu (Kostuch 2003).

Pomimo akcesji Polski do Unii Europejskiej, która od 2004 r. daje rolnikom możliwość wsparcia finansowego do prowadzonej działalności, nie rozwiązano w pełni kwestii porzucania gruntów rolnych, a problem niewykorzystywania dużej części przestrzeni rolniczej jest stale aktualny. Obecnie brak jest szczegółowych danych na temat faktycznej skali, regionalizacji i struktury porzucania użytkowania gruntów w Polsce. Również problematyczne jest szacowanie i śledzenie zmian powierzchni tych gruntów w czasie, związane w dużej mierze z niespójnością definicji. Dla da-

nych Głównego Urzędu Statystycznego (GUS 1996, 2002, 2010 i 2020) ze spisów rolnych z lat 1996 i 2002 użyto określenia „odłogi i ugory”, przy czym odłogi zdefiniowano następująco: „do odłogów zalicza się powierzchnie gruntów ornych nie dające plonów, które co najmniej przez 2 lata nie były uprawiane”, natomiast za ugory uznano „powierzchnie, które w danym roku były przejściowo nie obsiane (nieużytkowane rolniczo)” (GUS 2002), takie ujęcie nie oznaczało jednoznacznie porzucenia gruntów, a tylko być może czasowe ich wyłączenie z produkcji. Od 2007 r. przyjęto określenie „grunty rolne w dobrej kulturze”, odnosząc się do powierzchni gruntów, które są deklarowane w ARiMR do dopłat bezpośrednich. W tym przypadku również pośrednio możemy wnioskować o powierzchni potencjalnie porzuconych gruntów rolnych, przyjmując, że jest to różnica między powierzchnią użytków rolnych ogółem i powierzchnią użytków rolnych w dobrej kulturze. W ostatnim spisie rolnym z 2020 r., do grupy „pozostałe użytki rolne” zaliczono: użytki rolne nieużytkowane i nieutrzymywane w dobrej kulturze rolnej w dniu 1 czerwca 2020 r.

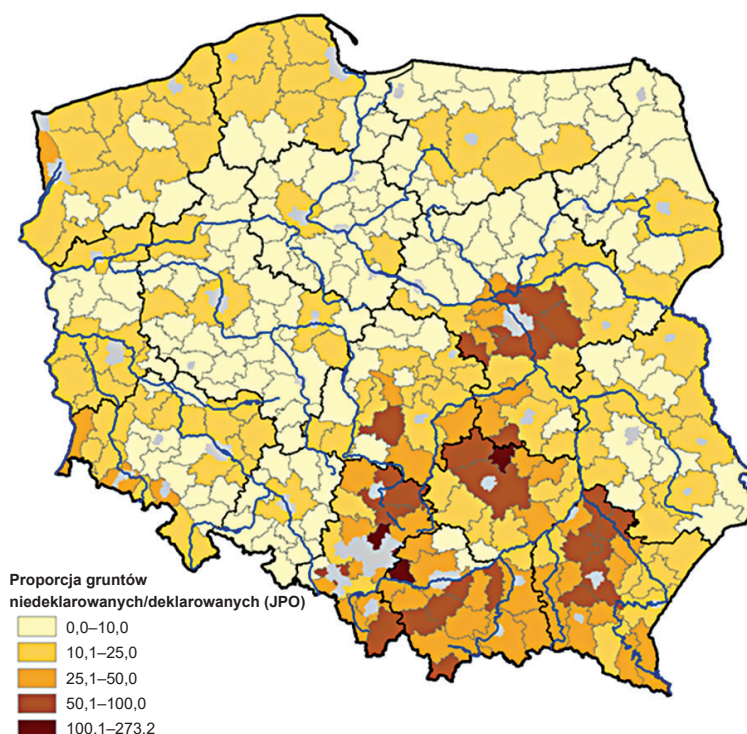
Do momentu uruchomienia systemu dopłat bezpośrednich, a co się z tym wiąże zobligowania rolników do składania deklaracji o sposobie użytkowania pól, GUS miał niewielkie możliwości oceny skali zaprzestania użytkowania rolniczego gruntów, zwłaszcza w przypadku małych gospodarstw prywatnych.

Rysunek 1 przedstawia wykres trendu zmniejszania się powierzchni użytków rolnych, który obserwuje się od początku transformacji ustrojowej. Na wykresie ujęto również przypuszczalną powierzchnię gruntów porzuconych, według obowiązującej na dany rok definicji. Największy spadek można zauważyć między latami 2002 i 2007, co można by interpretować jako pozytywny efekt uruchomienia dopłat bezpośrednich, jednak przy widocznym jednocześnie spadku powierzchni gruntów ornych, wynika to raczej z niespójności definicji. Według danych GUS (2020) obecnie szacuje się, że powierzchnia gruntów nieużytkowanych wynosi 198 tys. ha.



Rys. 1. Trend w zmianach powierzchni użytków rolnych w latach 1996–2020
(opracowanie własne na podstawie danych GUS 1996, 2002, 2010 i 2020)

W jednym ze swoich opracowań Pudełko i in. (2018) kompleksowo i szczegółowo analizują to zagadnienie w skali całego kraju. Autorzy ci swoje analizy przeprowadzili na podstawie map katastralnych dla całego kraju oraz danych (w formie tabelarycznej) z ewidencji gruntów i budynków (EGiB). Grunty nieużytkowane zdefiniowano jako: działki ewidencyjne położone na gruntach rolnych, które nie są deklarowane przez rolników jako obszary produkcyjne, czyli ich właściciele nie występują do ARiMR o uzyskanie płatności bezpośrednich. Ponieważ nie była możliwa przestrzenna identyfikacja użytków rolnych w działce ewidencyjnej, wyniki stabularyzowano i odniesiono według kodów terytorialnych, do przestrzennych granic administracyjnych. Na ich podstawie powstała mapa, która daje możliwość przeglądu regionalizacji nieużytkowanych gruntów rolnych (rys. 2).



Rys. 2. Regionalizacja gruntów nieużytkowanych (Pudełko i in. 2018)

Zaprezentowane na powyższej mapie ujęcie w skali powiatów przedstawia problem nieużytkowania gruntów rolnych jako proporcję gruntów niedeklarowanych i deklarowanych do jednolitej płatności obszarowej (JPO). Obraz mapy wykazuje wyraźną regionalizację niepełnego wykorzystania potencjału rolniczej przestrzeni produkcyjnej. Wysoki stopień nieużytkowania pól dotyczy głównie obszaru południowo-wschodniej Polski, gdzie autorzy identyfikują 5 „gorących” regionów: Karpaty, północna część województw śląskiego i świętokrzyskiego, województwo

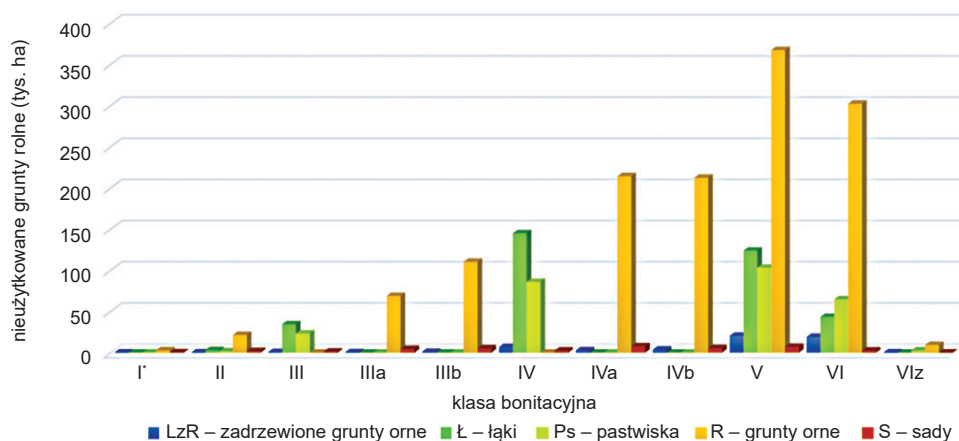
podkarpackie oraz część podmiejska województwa mazowieckiego. To właśnie na tych obszarach występują powiaty, gdzie powierzchnia nieużytkowanych gruntów rolnych przekracza 50% całkowitej powierzchni zadeklarowanej do jednolitej płatności obszarowej.

W przypadku polskich Karpat problem porzucania gruntów był szeroko opisany m.in. przez Kolečką i in. (2015 i 2017) i Jabs-Sobocińską i in. (2021). Autorzy ci w swoich badaniach przedstawiają ten region, jako obszar, który w znacznym stopniu uległ wtórnej sukcesji, głównie ze względu niekorzystnych warunków środowiskowych, jak ukształtowanie terenu (m.in. nachylenia zboczy), na które nałożyło się duże rozdrobnienie oraz małe powierzchniomowo gospodarstwa i działki.

W województwach śląskim i świętokrzyskim rozwijający się przemysł przyczynił się do zmian socjoekonomicznych, co skutkowało odpływem ludności wiejskiej i szukaniem zatrudnienia poza rolnictwem. Natomiast w obszarach podmiejskich lokalizacja nieużytkowanych gruntów rolnych na obrzeżach miast jest widoczna w całym kraju, co wskazuje na silne konflikty związane z zajmowaniem gruntów rolnych pod osadnictwo i elementy infrastruktury technicznej (Wilkin i in. 2018). Wyłączenie gruntów rolnych z przeznaczaniem pod zabudowę bywa procesem długotrwałym i odbywa się na ogół z kilkuletnim okresem wyłączenia go spod uprawy. Ta sama sytuacja może dotyczyć zmiany bądź aktualizacji w ewidencji gruntów i budynków.

W ramach pracy Pudelka i in. (2018) zbadano również warunki glebowe obszarów nieużytkowanych przez zestawienie udziału procentowego poszczególnych klas bonitacyjnych (rys. 3). Z punktu widzenia ekonomiki produkcji rolniczej grunty porzucone powinny znajdować się na glebach o najniższej jakości i na glebach marginalnych (Michna 1998, Michna i Rokicka 1998). Zgodnie z oczekiwaniami największy odsetek gruntów porzuconych przypada na gleby V i VI klasy bonitacyjnej, które ze względu na swoje naturalne warunki w wielu przypadkach mogą być przekształcane na inne rodzaje użytkowania bez poważnych konsekwencji dla rolnictwa. Jednak znaczący udział mają również lepsze klasy bonitacyjne, według szacunków 440 tys. ha gruntów ornych klas IVa i IVb, ok. 190 tys. ha gruntów ornych klas IIIa i IIIb oraz 240 tys. ha łąk i pastwisk klasy IV.

Pudelko i in. (2018) podają również, że w Polsce ponad 2,7 mln ha użytków rolnych nie jest deklarowanych przez rolników jako powierzchnia użytkowana rolniczo. Oznacza to, że tereny te zostały wydzielone lub przekształcone na inne, pozarolnicze potrzeby, bez zgłoszenia do ewidencji gruntów. Kolejnym wnioskiem wynikającym z badań jest to, że 2,03 mln ha to działki rolne o powierzchni $>0,3$ ha, na których może być prowadzona efektywna produkcja rolna. W skali kraju jest to stosunkowo duży obszar – ok. 14% ogólnej powierzchni użytków rolnych. Największym paradoksem tej sytuacji jest to, że do tej pory obszary te nie zostały poddane żadnej ocenie.



*I – gleby najlepszej jakości, II – gleby bardzo dobrej jakości, III – gleby dobrej jakości (Ł, Ps), IIIa – gleby dobrej jakości (R, S), IIIb – gleby dość dobrej jakości (R, S), IV – gleby średniej jakości (Ł, Ps; w przypadku gruntów ornych i sadów: a/lepsza, b/gorsza), V – gleby słabej jakości (Ł, Ps, R, S), VI – gleby najgorszej jakości (Ł, Ps, R, S), VIz – gleby najgorszej jakości, trwale suche lub nasiąknięte wodą/mokre (R, S)

Rys. 3. Udział klas bonitacyjnych w ogólnej powierzchni nieużytkowanych gruntów rolnych (opracowanie własne na podstawie danych tabelarycznych ewidencji gruntów i budynków (EGiB) pozyskanych z ARiMR)

3. MOŻLIWOŚCI ROZPOZNANIA ZAAWANSOWANIA SUKCESJI NATURALNEJ W KONTEKŚCIE POZYSKANIA BIOMASY – STUDIUM PRZYPADKU (GMINA PRZYWIDZ)

Oprócz przestrzennej lokalizacji i identyfikacji nieużytkowanych gruntów rolnych jedną z kluczowych kwestii w rozpoznaniu ich stanu jest zbadanie postępu procesu naturalnej sukcesji, która jest pierwszym widocznym skutkiem porzucania gruntów rolnych. Spontaniczny rozwój roślinności wtórnej na tych obszarach powoduje zmianę ich funkcji krajobrazowych i użytkowanych. Powstałe w ten sposób tereny zakrzaczeń i zadrzewień zmieniają rolniczą przestrzeń produkcyjną (rys. 4) (Kostuch 2003, Lasanta i in. 2015).

Ocena stopnia sukcesji naturalnej na działkach nieużytkowanych rolniczo stanowi ważny aspekt w kontekście przywrócenia produkcji rolnej lub konwersji tych gruntów do celów alternatywnych, między innymi do pozyskania energii OZE. Niewątpliwie przygotowanie gruntów pod każdy rodzaj inwestycji wiąże się z kosztami, a te mogą wzrosnąć, gdy na danym terenie jest duża sukcesja roślinna, zwłaszcza drzewiasta. Poznanie zasięgu i skali obszarów objętych sukcesją naturalną jest kluczową kwestią w budowaniu koncepcji zarządzania tymi gruntami, w odniesieniu do nowych funkcji, jakie mogą pełnić w strategii zrównoważonego rolnictwa i bio-gospodarki.



Rys. 4. Przykład rozwoju sukcesji naturalnej na porzuconych gruntach rolnych w latach 1997–2020 (opracowanie własne na podstawie ortofotomap z GUGiK)

Budowanie strategii biogospodarki wspierane jest również przez projekty badawcze, których realizacja pozwala na prowadzenie prac rozwojowych czy budowanie modeli zarządzania zasobami naturalnymi. W kontekście nieużytkowanych gruntów rolnych, w ramach projektów „BIOSTRATEG” realizowano w IUNG-PIB dwa projekty¹: BioMagic i TechRol. Pierwszy z nich ma na celu rozpoznanie potencjału gruntów marginalnych pod kątem produkcji biomasy z wieloletnich roślin przemysłowych (WRP), natomiast w ramach jednego z zadań w projekcie TechRol analizowano potencjał biomasy alternatywnej, w tym samosiewów na gruntach rolnych, która mogłaby wspierać OZE na poziomie gminy. Przeprowadzono lokalne badania, które pozwoliły wydzielić stopnie sukcesji naturalnej na nieużytkowanych gruntach rolnych. Jako studium przypadku wybrano gminę Przywidz.

¹BIOSTRATEG3/344128/12/NCBR/2017

Projekt TechRol – Studium przypadku: gmina Przywidz

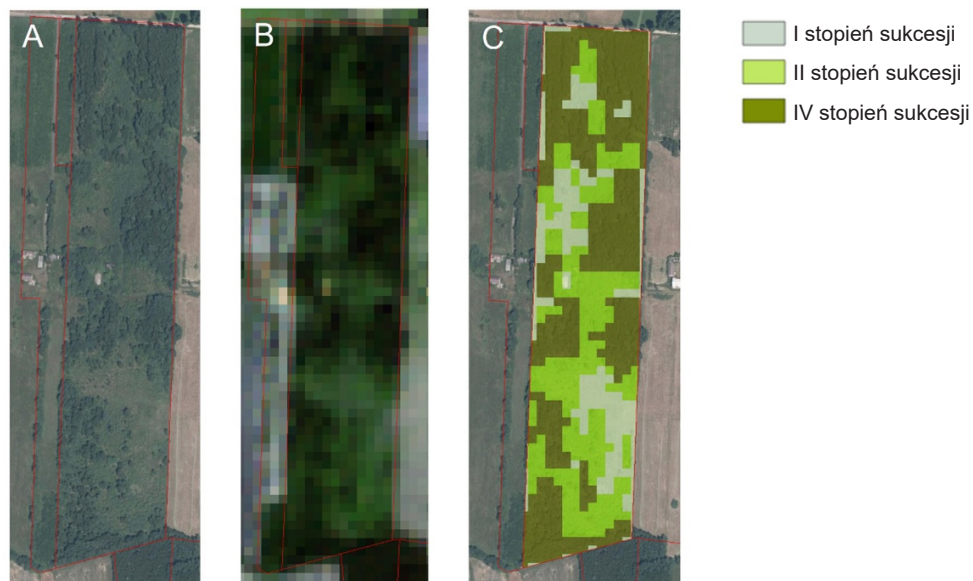
W ramach studium przypadku opracowano analizę dostępności i potencjału biomasy pozyskanej z sukcesji naturalnej na nieużytkowanych gruntach rolnych gminy Przywidz. Jest to gmina wiejska położona w centralnej części województwa pomorskiego, w powiecie gdańskim. W pierwszym kroku na podstawie baz danych pozyskanych z ARiMR wytypowano działki ewidencyjne, które mogą być potencjalnie nieużytkowane. Kierowano się założeniem, że działki ewidencyjne, w obrębie których występują użytki rolne o powierzchni $>0,3$ ha niezgłoszone do systemu ARiMR, są gruntami odłogowanymi (Pudełko i in. 2018). W gminie Przywidz istnieje 1 016 takich działek ewidencyjnych o łącznej powierzchni 1 530 ha, przy czym niewykorzystana przestrzeń rolnicza w obrębie tych działek stanowi 898 ha. Są to obszary zaklasyfikowane według EGiB jako użytki: R (rolne), S (sady), Ł (łąki), Ps (pastwiska). Wśród nich przeważają głównie grunty orne V (238 ha) i IVb (236 ha) klasy bonitacyjnej. W ich obrębie stwierdzono różne rodzaje użytkowania terenu. W celu oszacowania powierzchni gruntów poddanych sukcesji naturalnej oraz wstępnego rozpoznania jej stopnia wykorzystano dane teledetekcyjne, takie jak: ortofotomapa (geoportal GUGiK), dane satelitarne (Google Satellite) oraz obrazy Sentinel 2. Zobrazowania z dwóch źródeł wykonane w różnych terminach pozwoliły na ewentualną weryfikację poprawności klasyfikacji. W obrębie poszczególnych działek wydzielono obszary z zasięgiem stopnia sukcesji (rys. 5–6).

Stopień sukcesji na każdej z działek rolnych określono w 5-stopniowej skali:

- I. Pojedyncze krzewy: występujące w izolacji, nie tworzą lokalnych skupisk, pokrycie terenu poniżej 5% powierzchni działki rolnej;
- II. Związła roślinność krzaczasta: tworząca skupiska, pojedyncze drzewa;
- III. Związła roślinność krzaczasta i zadrzewienia: zwarte zakrzaczenia;
- IV. Zadrzewienia dość zwarte lub przy granicy rolno-leśnej;
- V. Związła roślinność drzewiasta (zbliżona do lasu).



Rys. 5. Rozpoznane stopnie sukcesji naturalnej na podstawie ortofotomap
(<https://www.geoportal.gov.pl/>)



Rys. 6. Przykład sklasyfikowanych obszarów sukcesji naturalnej dla działki;
 A – ortofotomapa, B – Sentinel-2 RGB (czerwiec), C – wynik klasyfikacji na podstawie obrazowań
 Sentinel 2 [opracowanie własne na podstawie A – geoportal.gov.pl; B – Sentinel 2 RGB;
 C – The European Space Agency (Copernicus Sentinel 2)]

Dane zebrane za pomocą technik teledetekcyjnych nie przekazują nam bezpośredniej informacji o ilości biomasy nadziemnej. Jednak dzięki ich odpowiedniemu przetworzeniu oraz zastosowaniu różnych zmiennych w postaci wskaźników teledetekcyjnych (bazujących na relacjach odbicia fal elektromagnetycznych) lub cech przestrzennych (np. zmiennych topograficznych i klimatycznych), a następnie włączeniu ich do modeli, możemy szacować parametry biomasy. Należy zaznaczyć, że obecnie niewiele opracowań podejmuje temat szacowania biomasy z obszarów objętych sukcesją wtórną. Różnorodność gatunkowa spontanicznie wkraczającej roślinności oraz jej nierównomierne zagęszczenie stwarza problem w przyjęciu odpowiednich wielkości przeliczeniowych (Bucha i in. 2021). Pokazane w tabeli 1 scenariusze gospodarowania na nieużytkowanych gruntach rolnych zakładają ekstensywny sposób użytkowania gruntów na tym obszarze głównie z powodu niskiej jakości gruntów. Nie zakładano transformacji tych gruntów w kierunku rolnictwa intensywnego również ze względu na walory krajobrazowe gminy.

Dla modelu zarządzania tym rodzajem zasobów przyjęto poniżej zdefiniowane scenariusze interwencji, które dopasowano głównie do stopnia sukcesji.

Tabela 1

Scenariusze gospodarowania na nieużytkowanych gruntach rolnych z sukcesją naturalną
(opracowanie własne w ramach projektu TechRol)

Stopień sukcesji	Możliwa ilość pozyskania biomasy	Scenariusz interwencji
I. Pojedyncze krzewy, roślinność trawiasta	ok. $2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$	wykaszenie ekstensywne roślinności trawiastej
II. Roślinność krzaczasta tworząca skupiska, pojedyncze drzewa	ok. $2,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$	wykaszenie ekstensywne roślinności trawiastej z udziałem zakrzaceń
III. Zwięzła roślinność krzaczasta i zadrzewienia występujące w kępach	$6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ dla I roku $2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ dla kolejnych lat	1 wariant wykaszenie i karczowanie roślinności krzewiastej i niskich drzew; wysoki uzysk biomasy będzie możliwy tylko dla jednego roku, w kolejnych latach ilość będzie odpowiadała dla 1 lub 2 stopnia
		2 wariant nie pozyskuje się biomasy, umożliwiając rozwój sukcesji do stopnia IV i V; taki wariant zakłada się dla gruntów o najłabszej – VI klasie bonitacyjnej
IV. Zadrzewienia dość zwięzłe z udziałem zakrzaceń np. wzdłuż granicy rolno-leśnej	-	nie pozyskuje się biomasy umożliwiając rozwój sukcesji do stopnia IV i V; taki wariant zakłada się dla gruntów o najłabszej – VI klasie bonitacyjnej
V. Zwięzła roślinność drzewiasta (zbliżona do lasu)	$6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$	pozyskanie biomasy ma charakter pielęgnacyjny: zbiór drewna wyschniętego, np. przewróconych drzew, przycinanie przyrostów, obumarłych gałęzi

Wynikiem badań było oszacowanie potencjału teoretycznego biomasy z samosiewów na poziomie gminy (tab. 2), w tym przypadku wynosi on 1 672 t biomasy pozyskanej z 547 ha, która może być wykorzystana na cele OZE.

Opisany model pozyskania biomasy z samosiewów wraz z opracowanymi w ramach ww. projektu modelami logistyki obornika i słomy odniesiono do rzeczywistych potrzeb energetycznych gminy oraz potencjału produkcji OZE. Wynikiem przeprowadzonych prac badawczo-rozwojowych była m.in. analiza zmian krajobrazu według założonych scenariuszy oraz ocena efektów środowiskowych wdrażania technologii i infrastruktury OZE w obiekcie pilotażowym (w gminie Przywidz). Szersze rezultaty projektu w postaci map przedstawione są w formie geoportalu (<https://geoportal.biogospodarka.iung.pl/>).

Tabela 2

Zestawienie powierzchni gruntów odłogowanych według stopnia sukcesji naturalnej w gminie Przywidz (opracowanie własne w ramach projektu TechRol)

Stopień sukcesji naturalnej					
Powierzchnia (ha)					
stopień I	stopień II	stopień III	stopień IV	stopień V	suma
125,1	110,3	158,1	121,1	33,0	547,5
Szacowany potencjał biomasy (t)					
250,2	275,75	948,6*	-	198	1672,6

*wariant 1 dla pierwszego roku (tab. 1)

W zakresie identyfikacji nieużytkowanych gruntów rolnych pojawiają się coraz większe możliwości dostępu do wielu baz danych oraz rozwijane są techniki teledetekcyjne dające możliwość analiz na większą skalę. Jak wynika z przeglądowej publikacji Gogi i in. (2019), w celu identyfikacji i analizy nieużytkowanych gruntów rolnych na przełomie dwóch dekad stosowanych było wiele danych satelitarnych. Jak wykazują powyżsi autorzy, zobrażenia satelitarne pochodzące z programów Landsat, Terra Aqua i SPOT zostały zidentyfikowane jako najczęściej wykorzystywane źródła danych z satelitów z czujnikami optycznymi, a Envisat-ASAR i RADARSAT-2 zostały zidentyfikowane jako źródła danych z satelitów z czujnikami mikrofalowymi. Natomiast w ostatnich latach coraz szersze zastosowanie mają dane Sentinel-1 i Sentinel-2. Potencjał możliwości w wykorzystaniu tych danych upatruje się w ich ogólnodostępnym charakterze oraz względnie dobrej rozdzielczości – 10 m dla czterech podstawowych kanałów (Red, Green, Blue, NIR). Wykorzystując tzw. serie czasowe zobrażeń satelitarnych, jesteśmy w stanie śledzić dynamikę zmian sukcesji naturalnej w wieloletnim okresie. Również dane LIDAR-owe, wprowadzając trzeci wymiar w postaci pomiaru wysokości obiektu, mogą być bardzo przydatne do określania struktury wysokościowej roślinności i oceny potencjału ilości biomasy (Sačkov i in. 2020).

Poza pozyskaniem do badań danych teledetekcyjnych nieodzowną częścią jest rozpoznanie badanych obiektów w terenie. Na podstawie dotychczasowych badań terenowych prowadzonych w IUNG-PIB wydzielono trzy główne klasy sukcesji naturalnej ze względu na jej zaawansowanie:

I klasa sukcesji – obszary z przewagą roślin wczesnego stadium sukcesji, gdzie oprócz roślinności trawiastej zidentyfikowano pojawianie się innych roślin wieloletnich, takich jak m.in.: nawłóć (*Solidago L.*), wrotycz pospolity (*Tanacetum vulgare L.*) (rys. 7).



Rys. 7. Klasa 1 sukcesji. Zdjęcia wykonane na nieużytkowanych gruntach rolnych podczas badań terenowych dla różnych lokalizacji i w różnych terminach (fot. M. Kozak)

II klasa sukcesji – obszary, na których oprócz roślin ruderalnych, takich jak nawłóć (*Solidago* L.) czy wrotycz pospolity (*Tanacetum vulgare* L.) występują krzewy, np. w postaci jeżyny (*Rubus* L.), tarniny (*Prunus spinosa* L.) oraz pojedyncze samosiewy drzew (rys. 8).



Rys. 8. Klasa 2 sukcesji. Zdjęcia wykonane na nieużytkowanych gruntach rolnych podczas badań terenowych dla różnych lokalizacji i w różnych terminach (fot. M. Kozak)

III klasa sukcesji – obszary, na których występują wieloletnie drzewa, zwarte zakrzaczenia, zaawansowana sukcesja, w niektórych przypadkach tereny te mogą odpowiadać definicji gruntów zalesionych (rys. 9).



Rys. 9. Klasa 3 sukcesji. Zdjęcia wykonane na nieużytkowanych gruntach rolnych podczas badań terenowych dla różnych lokalizacji i w różnych terminach (fot. M. Kozak)

4. MOŻLIWOŚCI ZAGOSPODAROWANIA NIEUŻYTKOWANYCH GRUNTÓW ROLNYCH

Występowanie w przestrzeni rolniczej porzuconych gruntów rolnych w zależności od interesariuszy jest różnie oceniane, przede wszystkim ze względu na wielorakie funkcje, które mogą pełnić w przestrzeni rolniczej.

Podobnie jak trudno jest ocenić jednoznacznie proces porzucania gruntów rolnych, tak samo trudne są decyzje, w jaki sposób nimi zarządzać. Bell i in. (2020) zidentyfikowali trzy główne kategorie strategii, które są podejmowane w procesie zarządzania nieużytkowanymi gruntami rolnymi w odniesieniu do ich nowych funkcji:

1. Naturalność:
 - kontrolowana wtórna sukcesja,
 - naturalna sukcesja bez ingerencji człowieka;
2. Wielofunkcyjność:
 - rolnictwo ekstensywne, rolnictwo hobbystyczne (tradycyjna, drobna produkcja żywności),
 - agroturystyka;

3. Produktywność:

- zrównoważone rolnictwo produkcyjne,
- bioenergia i odnawialne źródła energii, w tym produkcja wieloletnich roślin przemysłowych (WPR).

Zidentyfikowane w przestrzeni nieużytkowane grunty rolne oraz ich ocena pod kątem stanu sukcesji naturalnej i warunków glebowych mogą być podstawą do zaproponowania strategii ich zagospodarowania. Na przykład przywracanie nieużytkowanych gruntów rolnych do produkcji ma uzasadnienie wówczas, gdy warunki glebowe oraz inne czynniki przyrodnicze nie limitują znacznie uzyskanych plonów i zmiana użytkowania ma uzasadnienie ekonomiczne. Sam proces odłogowania, jak pokazały badania Kozak i Pudełko (2021), nie zmienia znacząco warunków glebowych, przez co taka konwersja nie wiąże się z podejmowaniem przez rolnika kosztownych zabiegów agrotechnicznych (głównie ponadnormatywnego nawożenia). Kluczowa może być jednak kwestia stopnia zaawansowania sukcesji naturalnej. Można założyć możliwość przywrócenia opuszczonych gruntów do produkcji rolnej wyłącznie przy wykorzystaniu sprzętu i wysiłków rolnika – w takim przypadku dedykuje się obszary z 1. i 2. klasą sukcesji naturalnej oraz dobrymi glebami. Niemniej jednak w przypadku nawet dojrzałej sukcesji istnieje możliwość przywrócenia tych gruntów do użytkowania rolniczego. Umożliwia to z formalnego punktu widzenia art. 83f ust. 1 pkt 3b ustawy o ochronie przyrody (Dz.U.2023.0.1336), który zezwala na usunięcie zadrzewień bez zezwolenia w przypadku przywracania gruntów do użytkowania rolniczego. Możliwe jest również przywrócenie opuszczonych gruntów do produkcji rolnej poprzez pozyskanie biomasy z działek o zaawansowanej sukcesji roślinnej w celach zarobkowych (rys. 10). Takie usługi są obecnie dostępne na rynku, jednak w tym przypadku istotna jest dostępność logistyczna tych obszarów.



Rys. 10. Likwidacja samosiewów przez firmę Quercus (fot. udostęp. przez firmę Quercus)

W ramach projektu BioMagic potencjał nieużytkowanych gruntów rolnych rozpatrywano pod kątem możliwości wykorzystania ich pod uprawę nieżywnościowych wieloletnich roślin przemysłowych (WPR). W ramach zadania 1. zdefiniowano grunty marginalne, które mogą być wykorzystane do tego celu bez ryzyka zagrożenia dla upraw żywnościowych. Ustalono następujące kryteria marginalności gruntów, które mogą być przeznaczone dla produkcji biomasy lignocelulozowej z wieloletnich roślin:

- glebowe – klasa gleb ornych: IVa, IVb, V, VI;
- użytkowanie – działka ewidencyjna (wg klasyfikacji EGİB) nie jest użytkowana rolniczo;
- działka jest poza systemem dopłat bezpośrednich;
- powierzchnia – działka ewidencyjna posiada łącznie powierzchnię >30 arów gruntów ornych i/lub trwałych użytków zielonych; w przypadku scenariusza intensywnej produkcji powierzchnia działki rolnej powinna być >1 ha;
- warunki meteorologiczne – dla klas 5. i 6. średnie opady roczne >500 mm.

Potencjał teoretyczny – do określenia potencjału teoretycznego użyto wyznaczonych przez Pudelko i in. (2018) nieużytkowanych gruntów ornych klasy IVa, IVb, V i VI o znanym rozmieszczeniu przestrzennym. Założono, że klasy IVa i IVb są odpowiedniejsze do wzrostu i plonowania wierzby (*Salix* L.), a klasy V i VI przypisano miskantowi (*Miscanthus*).

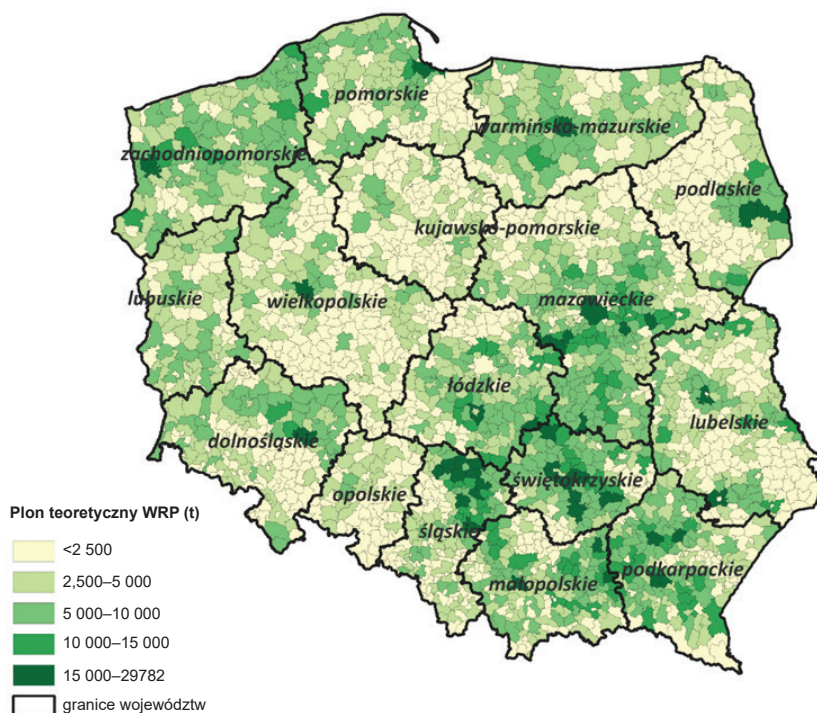
Całkowity potencjał teoretyczny plonowania roślin wieloletnich w Polsce oszacowano na ok. 9,6 mln t·rok⁻¹ (tab. 3). Jego przestrzenny rozkład przedstawia rysunek 11.

Uprawa roślin wieloletnich na gruntach marginalnych zwykle wywołuje sceptycyzm wśród interesariuszy, którzy są zaniepokojeni długoterminowym zaangażowaniem i ryzykiem dla bioróżnorodności. Z drugiej strony uprawy jednoroczne są postrzegane przez wszystkie kategorie interesariuszy jako bardzo obiecujące możliwości we wszystkich kategoriach i wskaźnikach wpływu. Mogą one ułatwiać dywersyfikację dochodów i oferować inteligentne, zrównoważone opcje upraw poprzez płodozmian, agroleśnictwo itp. (Panoutsou i in. 2022).

Tabela 3

Plonowanie wybranych wieloletnich roślin przemysłowych według klas bonitacyjnych (Jędrejek i in. b.d.)

Plon (t s.m. · ha ⁻¹ · rok ⁻¹) na klasie bonitacyjnej			
wierzba (<i>Salix</i> L.)		miskantus (<i>Miscanthus</i>)	
IVa	IVb	V	VI
14,0	12,0	8,0	3,5



Rys. 11. Przestrenny rozkład teoretycznego plonu wieloletnich roślin przemysłowych
(<https://geoportal.biogospodarka.iung.pl/>)

Należy zwrócić uwagę również na zagospodarowanie nieużytkowanych gruntów rolnych w kontekście środowiskowym. Odłogowanie gruntów w aspekcie ekologicznym jest korzystne z racji wzrostu stopnia naturalności krajobrazu, rozszerzenia obszarów objętych autonomicznym działaniem procesów przyrodniczych. Wraz z postępem sukcesji wtórnej stają się istotnym elementem osnowy ekologicznej, przyczyniając się do wzmacniania struktur przyrodniczych. W niektórych przypadkach taka zmiana może przynieść skutek przywrócenia dawnego ekosystemu lub nadanie mu zupełnie nowych funkcji krajobrazowych czy użytkowych. Według niektórych badaczy zadrzewienia powstałe na skutek spontanicznej sukcesji są dużo bogatsze w elementy cenne przyrodniczo niż nasadzenia monokulturowe iglaków (Krysiak 2011). Naturalna sukcesja tworzy również korytarze ekologiczne, dzięki pokrywie roślinnej zapobiega erozji gleb, zwiększa sekwestrację węgla w glebie (Navarro i Pereira 2012). Może być także ostoją bioróżnorodności na obszarach intensywnie użytkowanych rolniczo wraz z ograniczeniem emisji zanieczyszczeń obszarowych pochodzących z terenów rolniczych (głównie związki azotu i fosforu). Występowanie w przestrzeni rolniczej nieużytkowanych gruntów rolnych jest często postrzegane w kontekście potencjalnych możliwości łagodzenia zmian klimatu. Związane jest to głównie z sekwestracją dwutlenku węgla (CO_2) w glebie, ale rów-

niez z rozwijającą się na tych terenach sukcesją naturalną (Kazlauskaite-Jadzeviciene i in. 2019).

Z drugiej strony niekontrolowana sukcesja może być zagrożeniem dla bioróżnorodności biologicznej terenów otwartych i występujących tam gatunków, np. poprzez wkraczanie roślin inwazyjnych, tym samym powodując utratę krajobrazów kulturowych (van der Zanden i in. 2017).

Problemem, o którym rzadko się wspomina przy temacie nieużytkowanych gruntów rolnych, jest kwestia często nieuregulowanych praw własności, które mogą utrudniać przepływ gruntów między właścicielami i ich zagospodarowanie. O ile można budować strategię zagospodarowania takich gruntów, o tyle ostateczną decyzję w tej kwestii podejmuje prawny właściciel działki. W momencie, gdy trudno jest wyłonić prawowitego właściciela, pojawia się problem z możliwością jakichkolwiek zmian (Chądzyński i in. 2020).

5. PODSUMOWANIE

Zagadnienie nieużytkowanych gruntów rolnych stanowi od lat przyczynek do dyskusji na temat właściwego wykorzystania rolniczej przestrzeni produkcyjnej oraz oceny potencjału gruntów pozostających na marginesie rolnictwa w kontekście rozwoju biogospodarki. Skutki rozpoczętego w latach 90. procesu porzucania gruntów rolnych są wciąż widoczne w przestrzeni rolniczej. Również spodziewane zmiany po przystąpieniu Polski do struktur UE w 2004 r. nie przyniosły widocznego procesu przywracania gruntów odłogowanych do produkcji rolniczej, a jedynie zahamowały trend porzucania gruntów. Co więcej, późniejsze rozwiązania w zakresie biogospodarki, promujące wzrost udziału biomasy w miksie energetycznym, nie zmieniły obserwowanej sytuacji. Chociaż dyrektywa (UE) 2023/2413 (Dz.U. UE L 2023/2413) zobowiązała państwa UE do zwiększenia zrównoważonego wykorzystania biomasy, nie znalazło to odzwierciedlenia w odpowiednich przepisach krajowych, które zapewniłyby wymierne wsparcie rolnikom i docelowym odbiorcom produkowanej biomasy. Spowodowało to brak reakcji ze strony przemysłu i energetyki, co mogłoby doprowadzić do stworzenia stabilnego rynku biomasy i umożliwić odzyskanie odłogów pod produkcję tego surowca lub, alternatywnie, wznowienie produkcji żywności. Z drugiej strony bezpieczeństwo żywnościowe kraju oraz popyt żywności na rynkach międzynarodowych wskazuje na potrzebę racjonalnego wykorzystania przestrzeni rolniczej. W tym wypadku wciąż duży potencjał zagospodarowania istnieje dla nieużytkowanych gruntów rolnych. Aby skutecznie zarządzać terenami opuszczonymi na poziomie krajowym i lokalnym, niezbędna jest zarówno identyfikacja i ewidencja tego typu terenów jak też ocena stanu sukcesji roślinnej (potencjalny surowiec biomasy) oraz planowanie przyszłego zagospodarowania. Plany rozwoju kształtują się zazwyczaj na podstawie strategii, które kierują i wspierają, także finansowo, inicjatywy lokalne. Problemem, o którym rzadko się wspomina przy temacie nieużytkowanych gruntów rolnych jest kwestia często nie-

uregulowanych praw własności, które mogą utrudniać, przepływ gruntów między właścicielami i ich zagospodarowanie. O ile można budować strategię zagospodarowania takich gruntów, o tyle ostateczną decyzję w tej kwestii podejmuje prawny właściciel działki. W momencie, gdy trudno jest wyłonić prawowitego właściciela, pojawia się problem z możliwością jakichkolwiek zmian (Chądzyński i in. 2020).

6. LITERATURA

1. Bell S.M., Barriocanal C., Terrer C., Rosell-Melé A.: Management opportunities for soil carbon sequestration following agricultural land abandonment. *Environmental Science & Policy*, 2020, **108**: 104-111; DOI: 10.1016/j.envsci.2020.03.018
2. BIOmagic mapy potencjałów produkcji biomasy na gruntach marginalnych – Repozytorium publiczne IUNG – Biogospodarka; <https://geoportal.biogospodarka.iung.pl/> (dostęp 11.10.2024).
3. Bucha T., Papčo J., Sačkov I., Pajtík J., Sedliak M., Barka I., Feranec J.: Woody above-ground biomass estimation on abandoned agriculture land using Sentinel-1 and Sentinel-2 data. *Remote Sensing*, 2021, **13**(13), 2488; DOI: 10.3390/rs13132488
4. Chądzyński M., Daniłowska A., Gruziel K., Maśniak J.: Ekonomiczne i instytucjonalne aspekty rynku ziemi rolniczej w Polsce. Wydawnictwo SGGW, 2020, ss. 138.
5. geoportal.gov.pl; https://mapy.geoportal.gov.pl/imap/Imgp_2.html?gpmmap=gp0 (dostęp 19.01.2026).
6. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2023/2413 z dnia 18 października 2023 r. zmieniająca dyrektywę (UE) 2018/2001, rozporządzenie (UE) 2018/1999 i dyrektywę 98/70/WE w odniesieniu do promowania energii ze źródeł odnawialnych oraz uchylająca dyrektywę Rady (UE) 2015/652 (Dz.U. UE L 2023/2413).
7. Goga T., Feranec J., Bucha T., Rusnák M., Sačkov I., Barka I., Kopecká M., Papčo J., O'ahel' J., Szatmári D., Pazúr R., Sedliak M., Pajtík J., Vladovič J.: A review of the application of remote sensing data for abandoned agricultural land identification with Focus on Central and Eastern Europe. *Remote Sensing*, 2019, **11**(23), 2759; DOI: 10.3390/rs11232759
8. GUS 1996. Bank Danych Lokalnych Powszechny Spis Rolny. Powierzchnia i użytkowanie gruntów w 1996 r. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 1996.
9. GUS 2002. Bank Danych Lokalnych Powszechny Spis Rolny. Powierzchnia gruntów wg rodzaju gospodarstwa i grup obszarowych użytków rolnych w 2002 r. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2002.
10. GUS 2010. Bank Danych Lokalnych Powszechny Spis Rolny. Użytkowanie gruntów w 2010 r. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2010.
11. GUS 2020. Bank Danych Lokalnych Powszechny Spis Rolny. Użytkowanie gruntów w 2020 r. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2020.
12. Jab s-Sobocińska Z., Affek A.N., Ewiak I., Nita M.D.: Mapping mature post-agricultural forests in the Polish Eastern Carpathians with archival remote sensing data. *Remote Sensing*, 2021, **13**(10), 2018; DOI: 10.3390/rs13102018
13. Ję d r e j e k A., Kozak M., Pudełko R. (b.d.) WP1. Identyfikacja i potencjał gruntów marginalnych do produkcji biomasy WPR w Polsce; https://platforma.biogospodarka.iung.pl/wp-content/uploads/2021/02/Geoportal_biomagic_opis.pdf
14. Kazlauskaitė-Jadzeviciene A., Tripolskaja L., Volungevicius J., Baksienė E.: Impact of land use change on organic carbon sequestration in Arenosol. *Agricultural and Food Science*, 2019, **28**(1): 9-17; DOI: 10.23986/afsci.69641

15. K o l e c k a N., Kozak J., Kaim D., Dobosz M., Ginzler C., Psomas A.: Mapping secondary forest succession on abandoned agricultural land with LiDAR point clouds and terrestrial photography. *Remote Sensing*, 2015, **7**(7): 8300-8322; DOI: 10.3390/rs70708300
16. K o l e c k a N., Kozak J., Kaim D., Dobosz M., Ostafin K., Ostapowicz K., Wężyk P., Price B.: Understanding farmland abandonment in the Polish Carpathians. *Applied Geography*, 2017, **88**: 62-72; DOI: 10.1016/j.apgeog.2017.09.002
17. K o s t u c h R.: Sukcesja roślinna na odłogowanych gruntach ornych. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 2003, t. 3, **2**(8): 57-78.
18. K o z a k M., Pudelko R.: Impact assessment of the long-term fallowed land on agricultural soils and the possibility of their return to agriculture. *Agriculture*, 2021, **11**(2), 148; DOI: 10.3390/agriculture11020148
19. K r y s i a k S.: Fallow lands in the landscapes of central Poland–Spatial, typological and ecological aspects. 2011, **31**(6–1): 89-96.
20. L a s a n t a T., Nadal-Romero E., Arnáez J.: Managing abandoned farmland to control the impact of re-vegetation on the environment. The state of the art in Europe. *Environmental Science & Policy*, 2015, **52**: 99-109; DOI: 10.1016/j.envsci.2015.05.012
21. L e w a n d o w s k i M.: Designing the Business Models for Circular Economy—Towards the Conceptual Framework. *Sustainability*, 2016, **8**(1), 43; DOI: 10.3390/su8010043
22. M i c h n a W.: Racjonalizacja wykorzystania gleb marginalnych (Raport końcowy). IERiGŻ, 1998.
23. M i c h n a W., Rokicka W.: Gleby niskiej jakości, ich rolnicze wykorzystanie i marginalizacja ekonomiczna. *Racjonalizacja użytkowania gleb marginalnych*. 1998.
24. N a v a r r o L.M., Pereira H.M.: Rewilding abandoned landscapes in Europe. *Ecosystems*, 2012, **15**(6): 900-912; DOI: 10.1007/s10021-012-9558-7
25. Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 25 maja 2023 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o ochronie przyrody (Dz.U. z 2023 r. poz. 1336); <https://lexlege.pl/ustawa-o-ochronie-przyrody/art-83f/> (dostęp 23.07.2024).
26. P a n o u t s o u C., von Cossel M., Ciria P., Ciria C.S., Baraniecki P., Monti A., Zanetti F., Dubois J.L.: Social considerations for the cultivation of industrial crops on marginal agricultural land as feedstock for bioeconomy. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 2022, **16**(5): 1319–1341; DOI: 10.1002/bbb.2376
27. P u d e ł k o R., Kozak M., Jędrejek A., Gałczyńska M., Pomianek B.: Regionalisation of unutilised agricultural area in Poland. *Polish Journal of Soil Science*, 2018, **51**(1), 119; DOI: 10.17951/pjss.2018.51.1.119
28. S a č k o v I., Barka I., Bucha T.: Mapping Aboveground Woody Biomass on Abandoned Agricultural Land Based on Airborne Laser Scanning Data. *Remote Sensing*, 2020, **12**(24), 4189; DOI: 10.3390/rs12244189
29. TechRol – Repozytorium publiczne IUNG – Biogospodarka; <https://geoportal.biogospodarka.iung.pl/> (dostęp 11.10.2024).
30. Ustawa z dnia 16 kwietnia 2004 r. o ochronie przyrody (Dz.U.2023.0.1336); <https://lexlege.pl/ustawa-o-ochronie-przyrody/art-83f/> (dostęp 19.01.2026).
31. v a n d e r Z a n d e n E.H., Verburg P.H., Schulp C.J.E., Verkerk P.J.: Trade-offs of European agricultural abandonment. *Land Use Policy*, 2017, **62**: 290-301; DOI: 10.1016/j.landusepol.2017.01.003
32. W i l k i n J., Hałasiewicz A., Jadczyżyn T., Jasiński J., Korta G., Milczarek-Andrzejewska D., Taszakowski J., Bański J.: Ziemia ginącym i podlegającym degradacji zasobem rolnictwa i obszarów wiejskich. Fundacja na rzecz Rozwoju Polskiego Rolnictwa (FDPA), Warszawa 2018.

PRIORYTETOWE KIERUNKI WSPIERANIA BIOGOSPODARKI W KONTEKŚCIE WPR W POLSCE

Streszczenie

Słowa kluczowe: biogospodarka, rolnictwo zrównoważone, zmiany klimatu, biomasa rolnicza, Europejski Zielony Ład, adaptacja do zmian klimatu, gospodarka o obiegu zamkniętym, biowęgiel, straty i odpady żywnościowe, obszary wiejskie, produkty mikrobiologiczne, rolnictwo

Monografia poświęcona jest zagadnieniom biogospodarki w kontekście rolnictwa, obszarów wiejskich oraz wyzwań wynikających ze zmian klimatu i transformacji w kierunku zrównoważonego rozwoju. Jej celem jest kompleksowe przedstawienie znaczenia biogospodarki jako kluczowego elementu polityk rozwojowych Unii Europejskiej (UE) oraz wskazanie możliwości jej wdrażania w Polsce, ze szczególnym uwzględnieniem sektora rolnego i rolno-spożywczego.

W początkowych rozdziałach omówiono cele i znaczenie biogospodarki, a także dokonano przeglądu strategii jej rozwoju na obszarach wiejskich w wybranych państwach członkowskich UE, takich jak Włochy, Hiszpania, Niemcy i Litwa. Analiza ta pozwala na identyfikację dobrych praktyk oraz zróżnicowanych podejść do wykorzystania zasobów biologicznych w rozwoju regionalnym. Istotnym punktem odniesienia dla dalszych rozważań są założenia i cele Europejskiego Zielonego Ładu, które wyznaczają ramy dla transformacji systemów produkcji żywności i gospodarowania zasobami naturalnymi.

Kolejne rozdziały koncentrują się na roli rolnictwa w zrównoważonej biogospodarce oraz jego adaptacji do zmian klimatu. Przedstawiono zarówno aktualnie obserwowane, jak i prognozowane skutki zmian klimatycznych, a także strategie adaptacyjne stosowane w UE i w Polsce. Szczególną uwagę poświęcono typom i kategoriom adaptacji oraz praktycznym rozwiązaniom umożliwiającym zwiększenie odporności rolnictwa na niekorzystne warunki środowiskowe.

Znaczną część monografii zajmuje analiza biomasy pochodzenia rolniczego. Omówiono biomasę wykorzystywaną na cele żywnościowe, w tym produkcję zbóż, roślin strączkowych, oleistych, buraka cukrowego, ziemniaka oraz owoców i warzyw, a także nowoczesne metody przechowywania, przygotowania do obrotu i pakowania produktów roślinnych. Oddzielny rozdział poświęcono biomasie odpadowej i ubocznej przemysłu spożywczego, obejmującej zarówno produkty pochodzenia roślinnego, jak i zwierzęcego, z uwzględnieniem skali strat żywności oraz możliwości ich waloryzacji.

W dalszej części pracy przedstawiono możliwości pozyskiwania i recyklingu składników odżywczych oraz materii organicznej z sektora rolniczego, w tym wykorzystanie pofermentu, kompostowania oraz biowęgla. Szczegółowo omówiono zagadnienia związane z produkcją biowęgla w małych gospodarstwach rolnych, jego definicje, wymagania jakościowe, źródła substratów, metody wytwarzania oraz zastosowanie w produkcji rolniczej.

Monografia porusza również problematykę produkcji roślin strączkowych i wysokobiałkowych surowców paszowych w Polsce, analizując ich znaczenie w płodozmianie, potencjał plonowania, poziom produkcji oraz systemy wsparcia. Uzupełnieniem tych rozważań jest ocena krajowych zasobów biomasy pochodzenia rolniczego, w tym produktów ubocznych, słomy, biomasy z użytków zielonych, produkcji zwierzęcej oraz sadownictwa.

Ostatni rozdział poświęcono potencjałowi nieużytkowanych gruntów rolnych oraz możliwościom ich zagospodarowania na cele biogospodarki. Przedstawiono metody identyfikacji takich gruntów, ocenę zaawansowania sukcesji naturalnej oraz kierunki ich wykorzystania, poparte studium przypadku.

Całość monografii stanowi interdyscyplinarne opracowanie ukazujące biogospodarkę jako istotny element transformacji rolnictwa i obszarów wiejskich, łączący cele środowiskowe, gospodarcze i społeczne, a jednocześnie wskazujący konkretne rozwiązania możliwe do wdrożenia w warunkach polskich.

PRIORITY DIRECTIONS FOR SUPPORTING THE BIOECONOMY IN THE CONTEXT OF THE CAP IN POLAND

Summary

Keywords: bioeconomy, sustainable agriculture, climate change, agricultural biomass, European Green Deal, climate change adaptation, circular economy, biochar, food losses and waste, rural areas

The monograph presents the bioeconomy in the context of agriculture, rural areas, and the challenges arising from climate change and the transition towards sustainable development. It aims to provide a comprehensive overview of the significance of the bioeconomy as a key element of the European Union's development policies and to identify opportunities for its implementation in Poland, focusing particularly on the agricultural and agri-food sectors.

The initial chapters discuss the objectives and importance of the bioeconomy and review strategies for its development in rural areas in selected EU Member States, such as Italy, Spain, Germany and Lithuania. This analysis allows for the identification of good practices and diverse approaches to the use of biological resources for regional development. A crucial point of reference for further consideration are the assumptions and objectives of the European Green Deal, setting the framework for the transformation of food production systems and management of natural resources.

The following chapters focus on the role of agriculture in a sustainable bioeconomy and its adaptation to climate change. They present both the currently observed and projected effects of climate change, as well as adaptation strategies used in the European Union and Poland. Particular emphasis is placed on types and categories of adaptation and practical solutions that enable increasing the resilience of agriculture to adverse environmental conditions.

A significant part of the monograph is devoted to the analysis of agricultural biomass. This part discusses biomass used for food purposes, covering the production of cereals, legumes, oilseeds, sugar beet, potatoes, fruit and vegetables, as well as modern methods of storage, preparation for marketing and packaging of plant products. A separate chapter is devoted to waste and by-product biomass from the food industry, including both plant and animal products, taking into account the scale of food losses and possibilities for their valorisation.

The rest of the monograph presents the possibilities of obtaining and recycling nutrients and organic matter from the agricultural sector, including the use of digestate, compost and biochar. The production of biochar on small farms has been discussed in detail, covering definitions, quality requirements, substrate sources, production methods, and finally its use in agricultural production.

The monograph also addresses the legume and high-protein feed production in Poland, analysing their importance in crop rotation, yield potential, production levels and available support systems. These considerations are supplemented by an assessment of national agricultural biomass resources, including by-products, straw, grassland biomass, animal production and fruit growing.

The last chapter is devoted to the potential of unused agricultural land and the possibilities of its use for bioeconomy purposes. It presents methods for identifying such areas, assessing the progress of natural succession and directions for its use, supported by a case study.

The monograph as a whole is an interdisciplinary study presenting the bioeconomy as a crucial element of the transformation of agriculture and rural areas, combining environmental, economic and social objectives, while at the same time indicating solutions possible for implementing in Polish conditions.

WSKAZÓWKI DLA AUTORÓW

W serii wydawniczej IUNG „**Monografie i Rozprawy Naukowe**” publikowane są recenzowane prace o charakterze monografii i oryginalne rozprawy naukowe z zakresu agronomii oraz ochrony i kształtowania środowiska rolniczego.

Wydruk tekstu do recenzji czcionką 11 p., z odstępem 1,5-wierszowym.

Przygotowanie do druku:

- tekst i tabele w programie Word, wersja 6.0 lub wyższa
- czcionka – Times New Roman
- układ pracy: spis treści, wstęp, metodyka, omówienie wyników i dyskusja, wnioski lub podsumowanie, literatura, streszczenie
- objaśnienia tabel, podpisy i opisy do rysunków oraz streszczenie pracy wraz ze słowami kluczowymi w językach polskim i angielskim

tekst

- czcionka – 11 p. (spis pozycji literatury – 9 p.)
- wcięcie akapitowe – 0,5 cm

tabele

- podział na wiersze i kolumny (z funkcji tworzenia tabel)
- szerokość dokładnie 13 cm (tabele w pionie) lub 19 cm (tabele w poziomie)
- czcionka 9 p., pojedyncze odstępy międzywierszowe
- umieszczone w oddzielnych plikach

rysunki

- czarno-białe
- wykresy w programie Word lub Excel
- wymiary w zakresie 13 cm × 19 cm
- dołączony wydruk w odpowiednich wymiarach, bardzo dobrej jakości, na białym papierze lub na folii
- w podpisach czcionka 9 p.
- na dyskiecie w oddzielnych plikach

jednostki miary

- system SI
- jednostki zapisywać potęgowo (np. t·ha⁻¹)

literatura

- spis literatury w układzie alfabetycznym wg nazwisk autorów, w kolejności: nazwisko (pismo rozstrzelone), pierwsza litera imienia, tytuł pracy, miejsce publikacji: tytuł wydawnictwa (wg ogólnie przyjętych skrótów tytułów czasopism), rok, numer (pismo pogrubione), strony
- cytowanie w tekście – jako nazwisko autora (autorów) i rok wydania (w nawiasach okrągłych).

Pracę do recenzji należy składać w 2 egzemplarzach. Po recenzji oryginalny egzemplarz recenzowany i ostateczną wersję pracy, uwzględniającą uwagi recenzenta i redaktora, należy dostarczyć do Redakcji w 1 egzemplarzu oraz na dyskiecie (lub przesłać e-mailem) na adres:

Dział Komunikacji Nauki
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24–100 Puławy
e-mail: kmikulska@iung.pulawy.pl

W serii wydawniczej IUNG „**Monografie i Rozprawy Naukowe**” ukazały się następujące pozycje:

1. Adam Harasim – *Kompleksowa ocena plodozmianów z różnym udziałem roślin zbożowych i okopowych*. Puławy, 2002.
2. Stanisław Wróbel – *Określenie potrzeb nawożenia buraka cukrowego mikroelementami*. Puławy, 2002.
3. Janusz Podleśny – *Studia nad oddziaływaniem światła laserowego na nasiona, wzrost i rozwój roślin oraz plonowanie łubinu białego (*Lupinus albus* L.)*. Puławy, 2002.
4. Czesław Józefaciuk, Anna Józefaciuk, Eugeniusz Nowocień, Rafał Wawer – *Przeciwerozyjne zagospodarowanie zlewni wyżynnej potoku Grodarz z uwzględnieniem ograniczania występowania powodzi*. Puławy, 2002.
5. Jerzy Książak – *Dynamika gromadzenia składników pokarmowych w organach roślin tradycyjnych i samokończących odmian bobiku w okresie od kwitnienia do dojrzałości pełnej*. Puławy, 2002.
6. Franciszek Pistelok – *Analiza zależności pomiędzy zanieczyszczeniem ze źródeł komunalnych a jakością powierzchniowych wód płynących na obszarach silnie zurbanizowanych na przykładzie zlewni Górnej Wisły*. Puławy, 2002.
7. Ewa Stanisławska-Głubiak – *Analiza wybranych czynników determinujących efekty dolistnego nawożenia molibdenem w uprawie rzepaku ozimego*. Puławy, 2003.
8. Kazimierz Noworolnik – *Wpływ wybranych czynników agrotechnicznych na plonowanie jęczmienia jarego w różnych warunkach siedliska*. Puławy, 2003.
9. Teresa Doroszewska – *Krzyżowanie oddalone i transformacja genetyczna w uzyskiwaniu odporności tytoniu (*Nicotiana tabacum* L.) na wirusa Y ziemniaka (PVY)*. Puławy, 2004.
10. Eugeniusz K. Chylek – *Uwarunkowania procesu modernizacji rolnictwa i obszarów wiejskich w Polsce*. Puławy, 2004.
11. Zbigniew Samoń – *Studia nad metodami energooszczędnego suszenia chmielu*. Puławy, 2004.
12. Ryszard Weber – *Zmienność plonowania odmian pszenicy ozimej w zależności od przedplonu i sposobu uprawy roli*. Puławy, 2004.
13. Janusz Igras – *Zawartość składników mineralnych w wodach drenarskich z użytków rolnych w Polsce*. Puławy, 2004.
14. Mariusz Kucharski – *Odporność chwastów na herbicydy z grupy inhibitorów fotosyntezy PSII na polach uprawnych południowo-zachodniej Polski*. Puławy, 2005.
15. Maria J. Król – *Azospirillum – asocjacyjne bakterie wiążące wolny azot*. Puławy, 2006.
16. Jerzy Grabiński – *Studia nad potencjałem allelopatycznym żyta ozimego*. Puławy, 2006.
17. Krzysztof Domaradzki – *Efektywność regulacji zachwaszczenia zbóż w aspekcie ograniczenia dawek herbicydów oraz wybranych czynników agroekologicznych*. Puławy, 2006.
18. Anna Stochmal – *Flawonoidy lucerny siewnej (*Medicago sativa* L.) – budowa chemiczna, właściwości spektralne, zawartość w zależności od odmiany i terminu zbioru*. Puławy, 2007.
19. Tomasz Stuczyński – *Assessment and modelling of land use change in Europe in the context of soil protection*. Puławy, 2007.
20. Jolanta Korzeniowska – *Potrzeby nawożenia pszenicy cynkiem, miedzią i borem w warunkach glebowo-klimatycznych Polski*. Puławy, 2008.
21. Maria J. Król, Janusz Smagacz – *Rozkład resztek pozbiorowych w glebie*. Puławy, 2008.
22. Agnieszka Klimkowicz-Pawlas – *Oddziaływanie wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych na siedliskową funkcję gleby*. Puławy, 2009.

23. Janusz Czaban – *Fitogeniczne dodatki do paszy świń ze szczególnym uwzględnieniem ich roli jako zamienników antybiotykowych stymulatorów wzrostu*. Puławy, 2009.
24. Maria J. Król – *Bakterie endofityczne*. Puławy, 2009.
25. Ryszard Weber – *Przydatność uprawy konserwującej w rolnictwie zrównoważonym*. Puławy, 2010.
26. Józefa Harasim, Adam Harasim – *Produkcyjność mieszanek pastwiskowych z udziałem koniczyny białej (*Trifolium repens* L.) w różnych warunkach siedliskowych*. Puławy, 2010.
27. Maria J. Król – *Bakterie utleniające siarkę elementarną i redukujące siarczany*. Puławy, 2010.
28. Andrzej Doroszewski – *Skład spektralny promieniowania jako czynnik kształtujący pokrój i plon pszenicy*. Puławy, 2011.
29. Jerzy Bieńkowski – *Wielokryterialna analiza możliwości zrównoważonego rozwoju gospodarstw rolniczych z uwzględnieniem czynników środowiskowych i ekonomicznych*. Puławy, 2011.
30. Hanna Gołębiowska – *Dynamika występowania flory segetalnej w uprawie kukurydzy na Dolnym Śląsku w latach 1972–2008 i obecne możliwości jej regulacji*. Puławy, 2011.
31. Maria J. Król – *Przemiany mikrobiologiczne żelaza w glebie*. Puławy, 2011.
32. Franciszek Woch, Krzysztof Wierzbicki, Andrzej Eymontt, Anna Dziadkiewicz-Ilkowska, Alina Syp, Jerzy Kopiński, Czesław Pietruch, Mirosław Nierubca, Antoni Miklewski, Piotr Maśloch – *Efektywność gospodarcza i ekonomiczna scalania gruntów w Polsce*. Puławy, 2011.
33. Maria J. Król – *Przemiany mikrobiologiczne fosforu w glebie*. Puławy, 2012.
34. Adam Harasim – *Ocena produkcji roślinnej na gruntach ornych w gospodarstwie rolniczym w ujęciu długookresowym*. Puławy, 2012.
35. Mariusz Matyka – *Produkcyjne i ekonomiczne aspekty uprawy roślin wieloletnich na cele energetyczne*. Puławy, 2013.
36. Beata Feledyn-Szewczyk – *Wpływ użytkowania gruntów na różnorodność gatunkową flory segetalnej*. Puławy, 2013.
37. Anna Podleśna – *Studia nad rolą siarki w kształtowaniu gospodarki mineralnej oraz wielkości i jakości plonu wybranych roślin uprawnych*. Puławy, 2013.
38. Mariola Staniak – *Reakcja wybranych gatunków i odmian traw pastewnych na niedobory wody w glebie*. Puławy, 2013.
39. Rafał Pudelko – *Ocena potencjałów biomasy ubocznej i odpadowej w UE-27 i Szwajcarii oraz ich regionalizacja*. Puławy, 2013.
40. Jerzy Kozyra – *Wpływ prognozowanych zmian temperatury powietrza na fenologię zbóż ozimych w Polsce*. Puławy, 2013.
41. Zofia Kołozsko-Chomentowska – *Przyrodnicze i organizacyjno-ekonomiczne uwarunkowania rozwoju rodzinnych gospodarstw rolnych w województwie podlaskim*. Puławy, 2013.
42. Maria J. Król – *Przemiany mikrobiologiczne potasu, magnezu, manganu i wapnia w glebie*. Puławy, 2013.
43. Ryszard Weber, Włodzimierz Kita – *Zagrożenia i sposoby ograniczania chorób fuzaryjnych i mikotoksyn w zbożach kukurydzy*. Puławy, 2014.
44. Anna Józefaciuk, Eugeniusz Nowocień, Rafał Wawer – *Erozja gleb w Polsce – skutki środowiskowe i gospodarcze, działania zaradcze*. Puławy, 2014.
45. Piotr Gradziuk – *Możliwości wykorzystania słomy na cele energetyczne oraz prognoza do 2030 roku*. Puławy, 2015.

46. Anna M. Gajda – *Mikrobiologiczne i biochemiczne wskaźniki jakości gleb pod pszenicą ozimą w zależności od systemu uprawy*. Puławy, 2015.
47. Jolanta Bojarszczuk, Jerzy Księżak, Jerzy Kopiński, Piotr Kozera – *Ocena organizacji produkcji i efektywności wykorzystania powierzchni paszowej w gospodarstwie wyspecjalizowanym w chowie bydła mlecznego*. Puławy, 2015.
48. Anna Józefaciuk, Eugeniusz Nowocień, Rafał Wawer – *Rozwój, skutki i występowanie erozji wąwozowej w Polsce oraz metody zagospodarowania wąwozów*. Puławy, 2016.
49. Anna Gałązka, Małgorzata Łyszcz, Barbara Abramczyk, Jarosław Grządziel, Karolina Furtak, Janusz Czaban, Anna Pikulicka – *Bioróżnorodność środowiska glebowego – przegląd parametrów i metod w analizach różnorodności biologicznej gleby*. Puławy, 2016.
50. Maria J. Król, Janusz Smagacz – *Przegląd enzymów drobnoustrojów*. Puławy, 2016.
51. Franciszek Woch, Eugeniusz Nowocień, Alina Bochniarz – *Ocena zmian terenów rolnych obszarów wiejskich pod wpływem wybranych działań Wspólnej Polityki Rolnej Unii Europejskiej*. Puławy, 2016.
52. Elżbieta Harasim, Mariola Staniak, Beata Feledyn-Szewczyk, Adam K. Berbeć, Jarosław Stalenga – *Wpływ różnych praktyk rolniczych na różnorodność flory na gruntach ornych*. Puławy, 2017.
53. Anna Brinken, Janusz Podleśny, Wacław Strobel – *Mieszanki łubinowo-zbożowe w uprawie i ich wartość żywieniowa*. Puławy, 2017.
54. Anna Kocira – *Biostymulatory w uprawie soi jako czynnik determinujący cechy biometryczne, plon i skład chemiczny nasion*. Puławy, 2017.
55. Jerzy Kopiński – *Bilans azotu brutto – agrośrodowiskowy wskaźnik oddziaływania rolnictwa na środowisko. Opis metodyki i omówienie wyników bilansu na poziomie NUTS-0 (Polska) i NUTS-2 (województwa)*. Puławy, 2017.
56. Bożena Smreczak – *Biodostępność wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) w glebach*. Puławy, 2018.
57. Anna Józefaciuk, Eugeniusz Nowocień, Rafał Wawer – *Erozja wietrzna w Polsce*. Puławy, 2018.
58. Jerzy Księżak, Jolanta Bojarszczuk, Anna Gałązka, Jacek Niedźwiecki, Karolina Gawryjolek, Leszek Lenc, Małgorzata Jeske, Ewa Czyż, Maria Król – *Badania nad uprawą kukurydzy (*Zea mays* L.) w wieloletniej kulturze i zmianowaniu*. Puławy, 2018.
59. Janusz Smagacz – *Konserwująca uprawa roli – tendencje rozwoju i znaczenie we współczesnym rolnictwie*. Puławy, 2018.
60. Elżbieta Harasim – *Studia nad plonowaniem, jakością ziarna i opłacalnością produkcji ozimej formy pszenicy zwyczajnej i twardej*. Puławy, 2018.
61. Beata Kołodziej – *Przestrzenno-czasowe zmiany właściwości gleby technogenicznej na terenie pogórnym*. Puławy, 2020.
62. Adam Harasim, Mariusz Matyka – *Ocena zmian warunków produkcji roślinnej i ich następstw w gospodarstwie rolnym w ujęciu długookresowym*. Puławy, 2020.
63. Sylwia Siebielec, Monika Kozieł, Małgorzata Woźniak, Grzegorz Siebielec – *Mikroorganizmy solubilizujące fosforany – znaczenie w rolnictwie i remediacji*. Puławy, 2021.
64. Anna Podleśna, Bartosz Narolski – *Efektywność plonotwórcza siarki i azotu w produkcji żyta jarego*. Puławy, 2021.
65. Jan Jadczyzyn – *Ocena rolnictwa na obszarach problemowych w Polsce*. Puławy, 2022.
66. Anna Gałązka, Janusz Podleśny (red.) – *Preparaty mikrobiologiczne w rolnictwie i ochronie środowiska*. Puławy, 2024..

ISBN 978-83-7562-442-7
Publikacja elektroniczna