

“Zrównoważone Środowisko”

Edycja: “Gospodarka o Obiegu Zamkniętym”

W roku szkolnym 2023/2024

PRODUKOWAĆ, A NIE SZKODZIĆ

czyli jak zaaplikować gospodarkę o obiegu
zamkniętym do rolnictwa województwa
śląskiego

PAWEŁ CZECH 4A

ZSO NR 1 IM. MIKOŁAJA KOPERNIKA

W KATOWICACH

SPIS TREŚCI

1. Wstęp.....	3
2. Czym jest gospodarka cyrkularna?	4
3. Rolnictwo w województwie śląskim.....	7
4. Gospodarka cyrkularna w rolnictwie	13
5. Skutki wprowadzenia gospodarki cyrkularnej	19
5.1. rachunek ekologiczny	19
5.2. rachunek ekonomiczny	22
6. Zakończenie.....	25
7. Metodologia.....	26
8. Bibliografia.....	27

1. Wstęp

W ramach tegorocznej edycji konkursu „Zrównoważone Środowisko” skupionej na temacie gospodarki o obiegu zamkniętym, zdecydowałem się napisać pracę na temat możliwości aplikacji tego typu mechanizmów do rolnictwa województwa śląskiego.

Województwo śląskie, z racji swojej historii, kojarzy się jednoznacznie z przemysłem ciężkim i wydobywczym. Takie myślenie jednak umniejsza wadze innych gałęzi gospodarki prężnie rozwijających się w regionie. Jedną z nich jest właśnie rolnictwo. Jest ono niezwykle specyficznym sektorem, który przyczynia się w ogromnej mierze do zmian klimatycznych, często pozostając poza głównym dyskursem dotyczącym antropogenicznego wpływu na atmosferę i globalne ocieplenie.

W pierwszej części (rozdziały 2 i 4) pracy postaram się omówić czym jest gospodarka cyrkularna, jak można zastosować ją w rolnictwie. Następnie (rozdział 3) dokonam charakterystyki przeciętnego pola uprawnego zlokalizowanego w województwie śląskim. Zanalizuję je pod kątem m. in. areалу, rodzaju zasiewu czy zużycia nawozów sztucznych. Charakterystyka ta posłuży mi do dalszych badań środowiskowych i ekonomicznych.

W zasadniczej części pracy (rozdział 5) znajdzie się analiza skutków wprowadzenia gospodarki o obiegu zamkniętym w województwie śląskim, w której uwzględnię zarówno aspekty środowiskowe, jak i ekonomiczne.

2. Czym jest gospodarka cyrkularna?

Spoglądając w przeszłość, łatwo można skonstatować, iż rozwój cywilizacji opierał się na linearnym wykorzystywaniu dostępnych zasobów na zasadzie: weź – wytwórz – wykorzystaj – wyrzuć¹. Jednakże wzrost konsumpcji i liczebności populacji na świecie stawia przed ludzkością wyzwanie – potencjalne wyczerpanie zasobów naturalnych. Presja odciskana na środowisko geograficzne prowadzi do zmian, które najprawdopodobniej przekroczą zakładane dziś scenariusze.

Pojawiła się więc potrzeba przeformułowania zasad gospodarowania zasobami w celu zapewnienia zrównoważonego rozwoju ludzkości. Odpowiedzią jest koncepcja gospodarki cyrkularnej (in. gospodarki o obiegu zamkniętym, ang. *circular economy*), w której podkreśla się przede wszystkim konieczność zmian na „wejściu do systemu” (tj. pobieranie i wykorzystywanie odpadów), a nie jedynie na „wyjściu z systemu” (tj. odzysk i recykling)². Duże znaczenie mają zmiany form prowadzenia działalności gospodarczej i produkcji, a także form konsumpcji.

Gospodarka cyrkularna, w odróżnieniu od wielu innych ruchów ekologicznych i środowiskowych, nie nakazuje obniżenia poziomu życia, ale wskazuje kierunki zmian, które umożliwią dalszy rozwój ekonomiczny przy poszanowaniu środowiska i ograniczeniu wywieranej na nie presji, a także przy zapewnieniu sprawiedliwszego i lokalnego rozmieszczenia miejsc pracy.

Tabela 1 Gospodarka linearna a gospodarka cyrkularna – podstawowe różnice. Opracowanie własne za: Michalak D., Rosiek K., Szyja P., *Gospodarka niskoemisyjna, gospodarka cyrkularna, zielona gospodarka. Uwarunkowania i wzajemne powiązania*, Łódź 2020, s. 59-74.

Wyszczególnienie	Gospodarka linearna	Gospodarka cyrkularna
Podstawowe zasady	Oparta na przepływach (weź – wytwórz – wykorzystaj – wyrzuć)	Oparta na zasobach, na zasadzie ich wykorzystywania i utrzymywania ich wartości
	Przyspieszenie przepływu materiałów w gospodarce jest opłacalne	Im wolniej przepływają zasoby w gospodarce, tym lepiej
	Rynek przyspiesza deprecjację produktu	Rynek wspiera utrzymywanie wartości produktów w obiegu
	Własność to podstawa działalności	Dostępność to podstawowa zasada, można użytkować bez posiadania praw własności
Internalizacja kosztów	Globalny model biznesowy umożliwia redukcję kosztów produkcji, ale są one	Lokalne modele dostarczania produktów i usług ograniczają przerzucanie

¹ Michalak D., Rosiek K., Szyja P., *Gospodarka niskoemisyjna, gospodarka cyrkularna, zielona gospodarka. Uwarunkowania i wzajemne powiązania*, Łódź 2020, s. 59-74.

² Ibidem, s. 59-74.

	przerzucane na społeczeństwo i środowisko	kosztów i odpowiedzialności na środowisko
	Znaczna część kosztów nie jest uwzględniana w rachunku ekonomicznym producentów, zwłaszcza zagospodarowania powstałych odpadów	Internalizacja kosztów zewnętrznych poprzez instrumenty polityki gospodarczej i nowe modele biznesowe, „twój odpad – mój surowiec”
	Praca to środek produkcji, element kosztów wytwórcy, wykorzystywanie taniej siły roboczej	Praca to zasób odnawialny, jedyny, którego jakość możemy podnosić
Wykorzystanie odpadów	Skupia się na poborze zasobów i deponowaniu odpadów	Skupia się na wystarczalności i wydajności materiałów i zasobów
	Wzrost gospodarczy zależny od wykorzystywania zasobów nieodnawialnych	Uniezależnienie wzrostu gospodarczego od konsumpcji ograniczonych zasobów
Produkt	Produkt jako źródło tworzenia wartości	Funkcjonalność jako źródło tworzenia wartości
	Korzyści skali w globalnych łańcuchach produkcji	Korzyści wynikające z połączenia produkcji i usługi świadczonej lokalnie
	Kreowanie potrzeb klientów	Potrzeby użytkowników wpływają na tworzenie produktów/usług
	Skłonności do lekceważenia pokonsumpcyjnej fazy produktu	Rozszerzana odpowiedzialność producenta
	Szybka utarta wartości produktu	Utrzymywanie wartości produktu
	Zaprojektowana niemożność naprawy produktu	Wydłużanie żywotności, współużytkowanie, podnoszenie atrakcyjności
Konsument	Podatność na modę, nowości	Skupienie uwagi na użyteczności, funkcjach i potrzebach
	Bierny odbiorca dostarczanych usług i dóbr, wpływa na rynek jedynie poprzez decyzję zakupu	Aktywny uczestnik procesu tworzenia dóbr i usług, które są odpowiedzią na realnie potrzeby
		Prosument – jednocześnie producent i konsument danego dobra, np. energii

Zamknięty obieg materii od lat można spotkać w rolnictwie ekologicznym, w którym ogranicza się stosowanie środków zewnętrznych i maksymalizuje użycie wewnętrzne³.

Wydaje się, że kluczowe dla sektora rolniczego staje się zamykanie obiegów (ang. *looping*), zarówno w kontekście tworzyw sztucznych, jak i w obszarze prawa, które coraz szerzej promuje recykling surowców używanych w rolnictwie. Przykłady to produkcja rur drenarskich z folii używanej do produkcji kiszonek oraz z opakowań po pestycydach.

W tym kontekście warto powołać się na proponowaną przez Radę Unii Europejskiej politykę tzw. europejskiego zielonego ładu. Ten pakiet inicjatyw ma na celu ekologiczną transformację UE, a ostatecznie – osiągnięcie neutralności klimatycznej do 2050 r⁴. Wśród licznych propozycji i założeń niezwykle istotny w kontekście niniejszej pracy jest punkt „plan działania dotyczący gospodarki o obiegu zamkniętym”:

ODDZIELENIE WZROSTU GOSPODARCZEGO OD WYKORZYSTYWANIA ZASOBÓW ORAZ PRZECHODZENIE NA SYSTEMY PRODUKCYJNE I KONSUMPCYJNE O OBIEGU ZAMKNIĘTYM MAJĄ KLUCZOWE ZNACZENIE DLA OSIĄGNIĘCIA PRZEZ UE NEUTRALNOŚCI KLIMATYCZNEJ DO 2050 R. [...] PLAN PROPONUJE PONAD 30 DZIAŁAŃ DOTYCZĄCYCH PROJEKTOWANIA ZRÓWNOWAŻONYCH PRODUKTÓW, OBIEGU ZAMKNIĘTEGO W PROCESACH PRODUKCYJNYCH ORAZ WZMOCNIENIA POZYCJI KONSUMENTÓW I NABYWCÓW PUBLICZNYCH. DZIAŁANIA BĘDĄ DOTYCZYĆ SEKTORÓW TAKICH JAK ELEKTRONIKA I INFORMATYKA, BATERIE, OPAKOWANIA, TWORZYWA SZTUCZNE, WYROBY WŁÓKIENNICZE, BUDOWNICTWO I BUDYNKI ORAZ ŻYWNOSĆ⁵.

³ Klasa A., *Gospodarka obiegu zamkniętego (GOZ) w rolnictwie i ogrodnictwie*, Olsztyn 2019, s. 2-7.

⁴ *Europejski zielony ład*, [w:] *Rada Europejska, Rada Unii Europejskiej*
<https://www.consilium.europa.eu/pl/policies/green-deal/> [dostęp: 17.03.2024].

⁵ *Ibidem*.

3. Rolnictwo w województwie śląskim

Województwo śląskie nie jest powszechnie znane ze swoich walorów rolniczych – całkiem słusznie, gdyż użytki rolne regionu zajmują ledwie 2,49% wszystkich użytków rolnych Polski, kiedy województwo śląskie stanowi 3,82% powierzchni kraju⁶ (półtorakrotna różnica!). Nie świadczy to jednak o małej relewantności użytków na badanym terytorium – jest ich aż 414,33 tys. hektarów⁷!

Badany obszar wyróżnia się ogromną różnorodnością warunków naturalnych sprzyjających w mniejszym lub większym stopniu rozwojowi rolnictwa. To zróżnicowanie wynika głównie ze znacznej zmienności poszczególnych elementów środowiska geograficznego, zwłaszcza typów gleb i morfologii terenu⁸.

Województwo śląskie prezentuje wyraźną mozaikę cech fizycznych, chemicznych, wilgotności oraz zasobności gleb w składniki pokarmowe. Te zróżnicowane właściwości gleb mają bezpośredni wpływ na ich przydatność rolniczą, a także pośrednio determinują strukturę, wielkość i jakość produkcji rolniczej na tym obszarze⁹.

Niekorzystny z punktu widzenia dalszego rozwoju rolnictwa jest wysoki udział użytków rolnych w posiadaniu działek do 1 ha oraz indywidualnych gospodarstw rolnych w klasie obszarowej 1-5 ha powierzchni (łącznie 67,34% wszystkich gospodarstw)¹⁰. Średnia powierzchnia użytkowanych gruntów rolnych w województwie śląskim wynosi 8,3 ha, kiedy dla Polski wartość ta równa się 11,6 ha¹¹ (40% więcej!).

⁶ Obliczenia własne na podstawie danych Powszechnego Spisu Rolnego 2020, <https://bdl.stat.gov.pl/bdl/metadane/grupy/34?back=True> [dostęp: 16.12.2023r.].

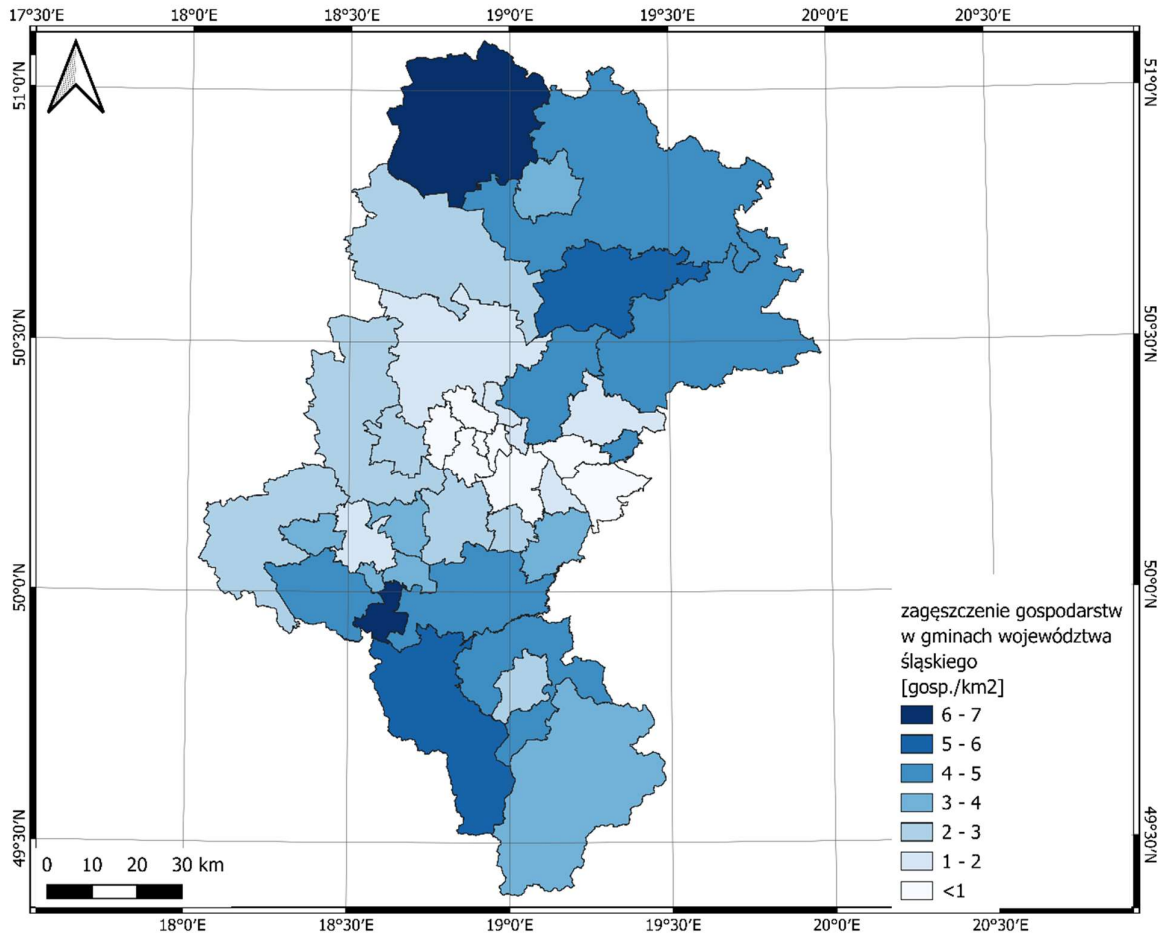
⁷ Ibidem.

⁸ Duś E., Uwarunkowania rozwoju rolnictwa w województwie śląskim, „Acta Geographica Silesiana” 2008 nr 3, s. 19-26.

⁹ Ibidem, s. 19-26.

¹⁰ Obliczenia własne na podstawie danych Powszechnego Spisu Rolnego 2020, <https://bdl.stat.gov.pl/bdl/metadane/grupy/34?back=True> [dostęp: 16.12.2023r.].

¹¹ Ibidem.

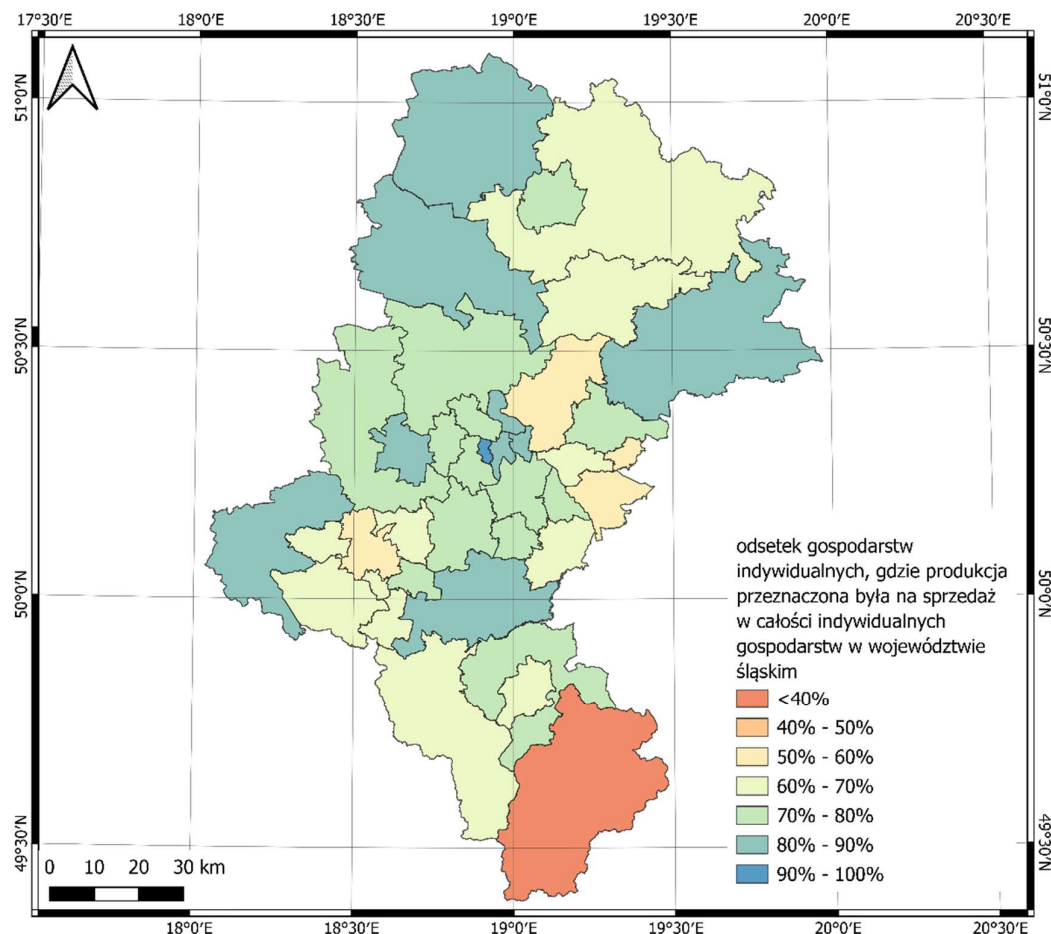


Rysunek 1 Zagęszczenie gospodarstw w gminach województwa śląskiego w 2020 r. Opracowanie własne na podstawie danych Powszechnego Spisu Rolnego 2020, <https://bdl.stat.gov.pl/bdl/metadane/grupy/34?back=True> [dostęp: 16.12.2023r.] w programie QGIS 3.30.3

Jak ukazuje rys. 1, największe zagęszczenie gospodarstw rolnych występuje w powiecie kłobuckim i w Jastrzębiu Zdroju, co, przy uwzględnieniu powierzchni jednostek administracyjnych, wskazuje na największą liczbę gospodarstw w powiecie kłobuckim.

Większość gospodarstw rolnych prowadzi jednak produkcję towarową (w odróżnieniu od produkcji samozaopatrzeniowej). Wprawdzie w powiecie żywieckim wartości ta spada poniżej 40%, to jednak w większości jednostek administracyjnych przekracza ona 60%, a miejscami (m.in. powiaty kłobucki, lubliniecki, raciborski, zawierciański) przekracza 80% (patrz: rys. 2).

Podobnie wglądają uprawy polowymi (w odróżnieniu od np. sadownictwa, upraw ogrodniczych, hodowli zwierząt) – większość powiatów badanego województwa wykazuje tutaj wysoką specjalizację.



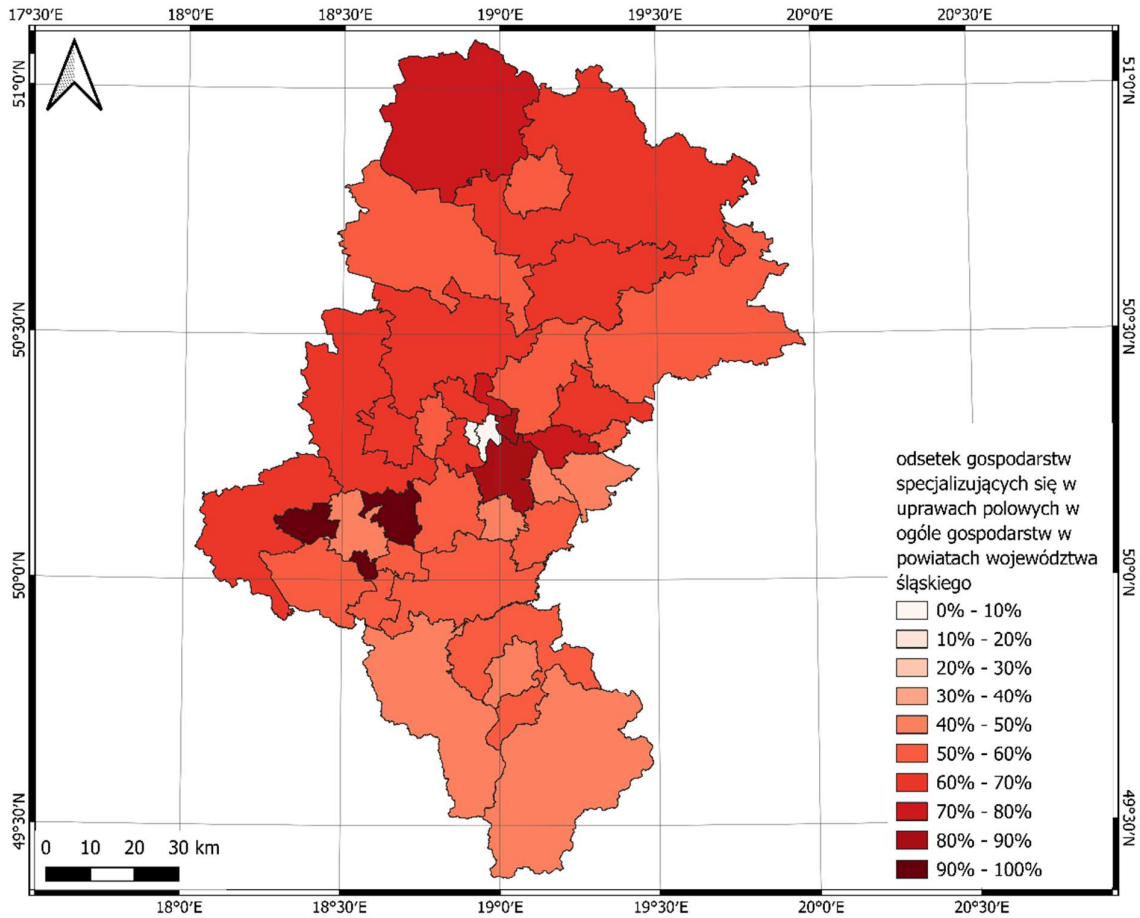
Rysunek 2 Odsetek gospodarstw indywidualnych, gdzie produkcja przeznaczona była na sprzedaż w całości indywidualnych gospodarstw w województwie śląskim w 2020 r. Opracowanie własne na podstawie danych Powszechnego Spisu Rolnego 2020, <https://bdl.stat.gov.pl/bdl/metadane/grupy/34?back=True> [dostęp: 16.12.2023r.] w programie QGIS 3.30.3

Pod względem struktury zbiorów na prowadzenie wysuwają się zboża (wśród których pszenica, żyto i pszenżyto stanowią 60,6%), ziemniaki, buraki cukrowe, rzepak i rzepik. Wyraźnie zarysowuje się jednak dominacja tych pierwszych nad pozostałymi uprawami. W 2020 roku w województwie śląskim 76,8% powierzchni zasiewów stanowiły zboża, kiedy dla Polski wartość ta wyniosła 68,1%¹² (czyli prawie 9 punktów procentowych mniej!).

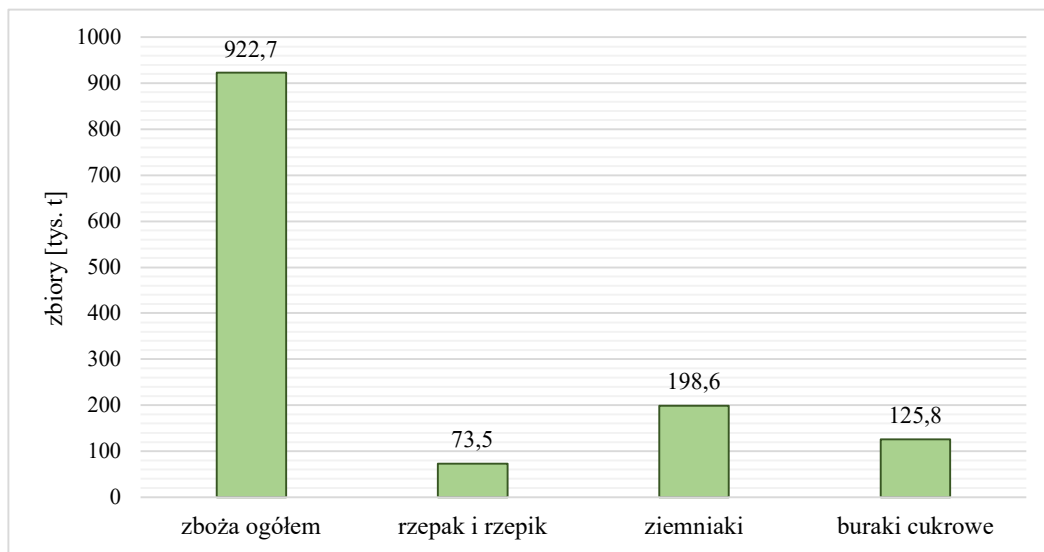
Następnym ważnym aspektem użytkowania gruntów w województwie śląskim, jak w każdym rozwiniętym regionie świata, jest zużycie nawozów mineralnych. Średnio na badanym obszarze zużywa się 125,8 kg/ha (wartość ogólnopolska: 130,5 kg/ha), z czego 52% stanowią nawozy azotowe¹³.

¹² Obliczenia własne na podstawie danych Powszechnego Spisu Rolnego 2020, <https://bdl.stat.gov.pl/bdl/metadane/grupy/34?back=True> [dostęp: 16.12.2023r.].

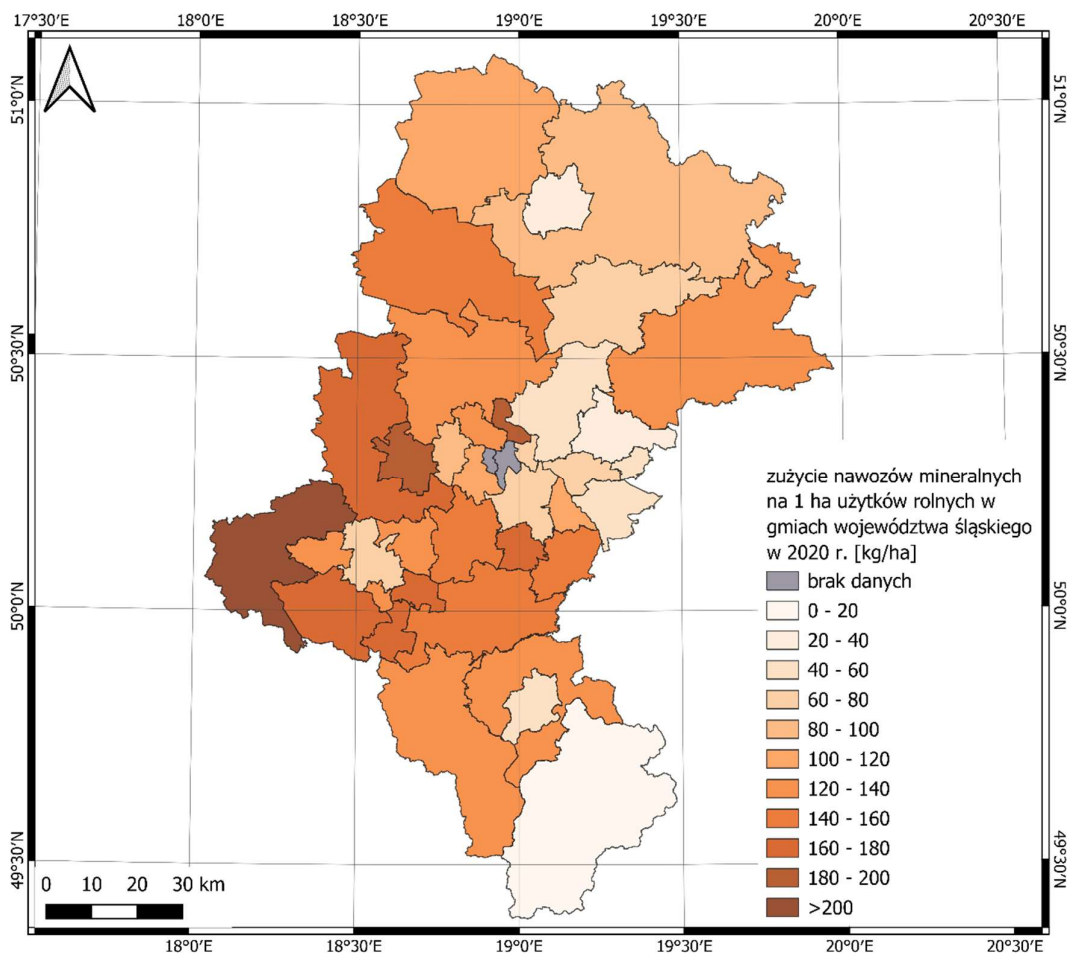
¹³ Ibidem.



Rysunek 3 Odsetek gospodarstw specjalizujących się w uprawach polowych w ogóle gospodarstw w powiatach województwa śląskiego w 2020 r. Opracowanie własne na podstawie danych Powszechnego Spisu Rolnego 2020, <https://bdl.stat.gov.pl/bdl/metadane/grupy/34?back=True> [dostęp: 16.12.2023r.] w programie QGIS 3.30.3



Wykres 1 Zbiory najważniejszych ziemiopłodów rolnych w 2022 r. w województwie śląskim. Opracowanie własne na podstawie danych GUS.



Rysunek 4 Zużycie nawozów mineralnych na 1 ha użytków rolnych w gminach województwa śląskiego w 2020 r. Opracowanie własne na podstawie danych Powszechnego Spisu Rolnego 2020, <https://bd1.stat.gov.pl/bdl/metadane/grupy/34?back=True> [dostęp: 16.12.2023r.] w programie QGIS 3.30.3

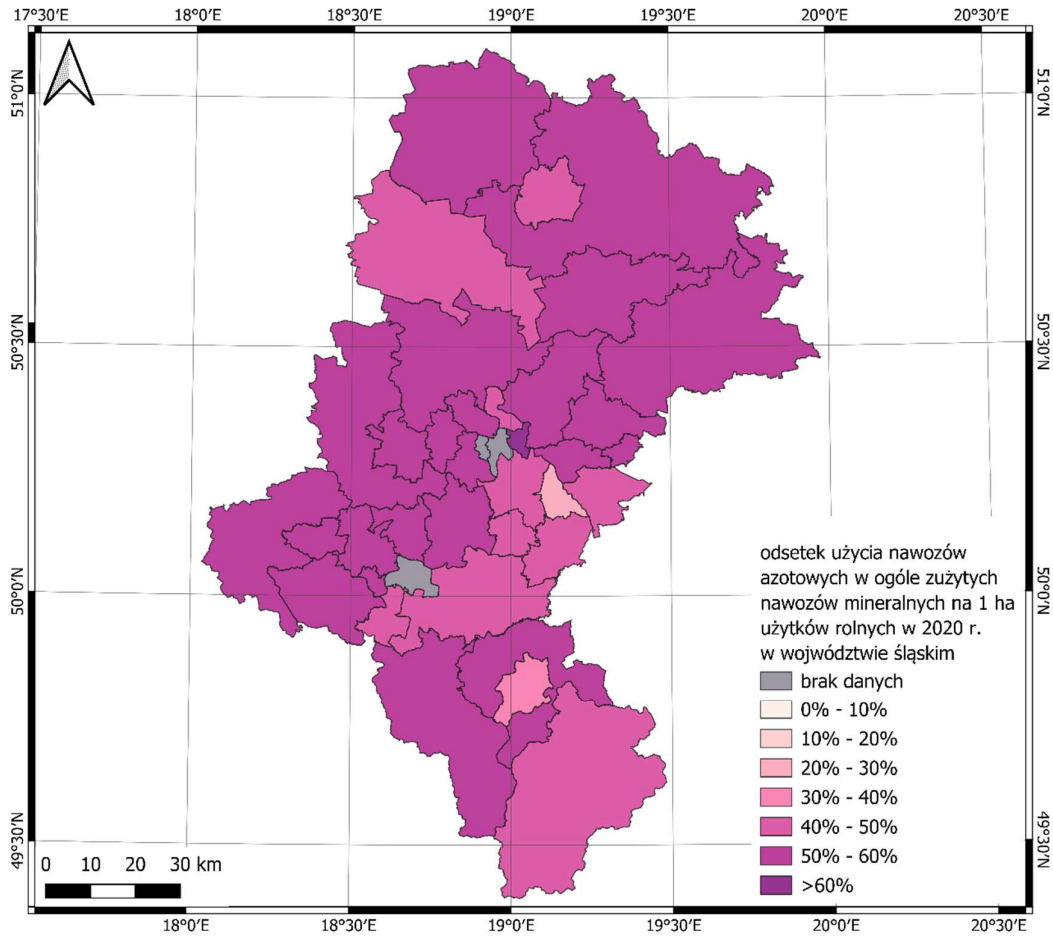
Zużycie nawozów sztucznych wykazuje znaczną zmienność pomiędzy poszczególnymi powiatami (odchylenie standardowe równe 55,8 – to 44% wartości średniej!), natomiast odsetek zużycia nawozów azotowych wykazuje wszędzie zbliżoną wartość ok. 50% (odchylenie standardowe równe 6,89)¹⁴.

Znamy już zatem przeciętne (oczywiście mocno uśrednione) pole uprawne w województwie śląskim, dla którego będziemy mogli przeprowadzić dalszą analizę i wyciągać wnioski. Taki użytk rolny:

- ma około 8 hektarów powierzchni,
- jest nastawiony na sprzedaż swoich plonów,
- uprawia pszenicę i inne zboża,

¹⁴ Obliczenia własne na podstawie danych Powszechnego Spisu Rolnego 2020, <https://bd1.stat.gov.pl/bdl/metadane/grupy/34?back=True> [dostęp: 16.12.2023r.].

- zużywa rocznie 125,8 kg/ha nawozów mineralnych (czyli łącznie lekko ponad 1 000 kg na jedno pole uprawne), z czego większość to nawozy azotowe.



Rysunek 5 Odsetek użycia nawozów azotowych w ogóle zużytych nawozów mineralnych na 1 ha użytków rolnych w 2020 r. w województwie śląskim. Opracowanie własne na podstawie danych Powszechnego Spisu Rolnego 2020, <https://bdl.stat.gov.pl/bdl/metadane/grupy/34?back=True> [dostęp: 16.12.2023r.] w programie QGIS 3.30.3

4. Gospodarka cyrkularna w rolnictwie

Jak podaje w swojej pracy dr Juan Velasco-Muñoz, adaptując gospodarkę obiegu zamkniętego do rolnictwa istnieją trzy podstawowe aspekty, które należy wziąć pod uwagę:

1. efektywne wykorzystanie zasobów i optymalizacja procesów w taki sposób, aby zmniejszyć wykorzystanie zasobów i zapobiegać marnotrawstwu,
2. środowiskowe, gospodarcze i społeczne zrównoważenie długookresowe (ang. *long term sustainability*),
3. systemy regeneracyjne, które umożliwiają zamknięcie cykli odżywczych (ang. *nutrient loops*) i minimalizują ubytki składników pokarmowych¹⁵.

Dr Velasco-Muñoz podaje zatem dalej definicję gospodarki cyrkularnej w sektorze rolnictwa jako:

ZESTAW DZIAŁAŃ MAJĄCYCH NA CELU NIE TYLKO ZAPEWNIENIE ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU GOSPODARCZEGO, ŚRODOWISKOWEGO I SPOŁECZNEGO W ROLNICTWIE POPRZECZ PRAKTYKI, KTÓRE DĄŻĄ DO WYDAJNEGO I SKUTECZNEGO WYKORZYSTANIA ZASOBÓW NA WSZYSTKICH ETAPACH ŁAŃCUCHA WARTOŚCI, ALE TAKŻE ZAGWARANTOWAĆ REGENERACJĘ I BIORÓŻNORODNOŚĆ W AGRO-EKOSYSTEMACH [ANG. *AGRO-ECOSYSTEMS – PRZYP. P.C.*] I OTACZAJĄCYCH JE EKOSYSTEMACH¹⁶.

W przypadku rolnictwa, dość szczególnej działalności gospodarczej człowieka, tworzenie obiegu zamkniętego oznacza przede wszystkim:

- wzmocnienie kapitału naturalnego,
- optymalizację (jednak NIE maksymalizację) wydajności zasobów naturalnych,
- efektywne wykorzystanie odpadów,
- promocja instrumentów ekonomicznych zachęcających do składowania odpadów,
- promocja modelu „produkt końcowy z jednej branży – surowcem początkowym w innej branży”,
- wprowadzanie bardziej ekologicznych technologii produkcji¹⁷.

Istnieje wiele zabiegów technologicznych pozwalających dążyć do „naturalizacji” produkcji rolnej, a tym samym zamykania obiegów w gospodarce. Podstawowym narzędziem jest korzystanie z biomasy odpadowej i nawozów organicznych w miejscu sztucznych nawozów mineralnych.

Wyraźnie zarysowuje się zbieżność gospodarki cyrkularnej w sektorze rolnictwa z ekologiczną uprawą gruntów ornych, ponieważ przyświecają im jednakowe idee: ograniczanie

¹⁵ Velasco-Muñoz F. i in., *Circular economy in agriculture. An analysis of the state of research based on the life cycle*, “Sustainable Production and Consumption” 2022 nr 34, s. 259.

¹⁶ Ibidem, s. 259.

¹⁷ Klasa A., *Gospodarka obiegu zamkniętego (GOZ) w rolnictwie i ogrodnictwie*, Olsztyn 2019, s. 2-7.

antropesji i antropizacji środowiska przyrodniczego (w tym emisji zanieczyszczeń) i optymalizacja wykorzystywania terenów.

Biogospodarka to gałąź, w której lądowe (i morskie) zasoby biologiczne, w tym odpady, wykorzystuje się jako wsad w produkcji żywności, pasz oraz do produkcji przemysłowej i wytwarzania energii¹⁸.

Biomasa jest uznawana za źródło o zerowej emisji dwutlenku węgla, gdyż zakłada się, że ilość tego związku wydzielona podczas spalania jest równoważna ilości, którą roślina wbudowuje w swoje tkanki w trakcie kolejnego okresu wegetacji. W związku z tym można stwierdzić, że biomasa i biopaliwa tworzą zamknięty obieg węgla. Nie jest to stwierdzenie zupełnie prawdziwe, ponieważ produkcja roślinna często zużywa paliwa kopalne oraz zmienia sposób użytkowania ziemi, jednak na potrzeby niniejszej pracy uznamy je za paliwo o zerowym bilansie węglowym¹⁹.

Jak zbadała dr Nadia Palmieri ze współpracownikami lokalne, niewielkie elektrownie na biomasę sytuowane blisko pól oliwkowych we Włoszech wykazało pozytywny wpływ na środowisko i gospodarkę:

WYNIKI POKAZAŁY ŚRODOWISKOWĄ I EKONOMICZNĄ WYKONALNOŚĆ [ANG. *FEASIBILITY* – PRZYP. P.C.] MODELU GOSPODARKI O OBIEGU ZAMKNIĘTYM PRZEKSZTAŁCAJĄCEGO ODPADY ROLNICZE W ENERGIĘ ELEKTRYCZNĄ. PONADTO WYNIKI WYKAZAŁY PODOBNY WSPÓŁCZYNNIK EKOEFEKTYWNOŚCI [ANG. *ECOEFFICIENCY* – PRZYP. P.C.] ZARÓWNO FIRMY ZBIERAJĄCEJ PLONY, JAK I ELEKTROWNI, KTÓRE DOSTARCZAJĄ ODPOWIEDNIO BIOPALIWO STAŁE I ENERGIĘ. WYNIKI TE PODKREŚLIŁY STABILNĄ RÓWNOWAGĘ WE WSPÓŁCZYNNIKU EKOEFEKTYWNOŚCI DWÓCH ELEMENTÓW TWORZĄCYCH ŁAŃCUCH DOSTAW ENERGII. EMISJE CO₂ GENEROWANE PRZEZ BADANY ŁAŃCUCH ENERGETYCZNY, W PRZELICZENIU NA MWH WYPRODUKOWANEJ ENERGII, BYŁY NIŻSZE NIŻ TE GENEROWANE PRZEZ DUŻE ELEKTROWNIE OPALANE BIOMASĄ LUB WĘGLEM (>500 MW). WYNIK TEN JEST Z PEWNOŚCIĄ UWARUNKOWANY FAKTEM, ŻE KRÓTKI ŁAŃCUCH DOSTAW SPRZYJA NIEWIELKIEJ ILOŚCI KROKÓW I NIEWIELKIEJ ODLEGŁOŚCI²⁰.

Stąd wynika pierwsza możliwość zagospodarowania odpadów rolniczych – jako biopaliwo w spalarniach w celu uzyskania energii.

Główny problem przy uprawie pszenicy (a to największy areal upraw w Śląskiem) stanowi brak azotu w glebie w postaci przystępnej roślinom²¹. Pierwiastek ten, aby być wchłanianym, musi występować w związkach NH₄⁺ lub NO₃⁻ (są one wyjątkowo podatne na rozpuszczanie i wypłukiwanie, przez co bardzo nietrwałe). W ekosystemach naturalnych azot powstaje w wyniku

¹⁸ Krzyżaniak M., *Ocena cyklu życia (LCA) jako narzędzie określania wpływu produkcji rolniczej na środowisko*, Olsztyn 2019, s. 7-9.

¹⁹ Ibidem, s. 7-9.

²⁰ Palmieri N. i in., *Circular Economy Model: Insights from a Case Study in South Italy*, "Sustainability" 2020 nr 12, s. 8-9.

²¹ *Pszenice po tegorocznej zimie – wiosenne nawożenie azotem*, <https://www.agro.basf.pl/pl/serwisy/doradztwo-i-informacje/pszenice-po-tegorocznej-zimie-wiosenne-nawozenie-azotem.html> [dostęp: 27.12.2023].

rozkładu szczątków organicznych w glebie lub na jej powierzchni (a nie jak w przypadku wielu innych mikro- i makroskładników – z rozpadu minerałów)²².

Aby utrzymywać poziom azotu w glebie, koniecznym jest więc zastosowanie jednej z trzech możliwości:

- pozwolić szczątkom organicznym rozkładać się na polu,
- stosować nawozy mineralne/organiczne zawierające przystępną formę azotu,
- zastosować gatunki roślin żyjących w symbiozie z bakteriami wyspecjalizowanymi w przechwytywaniu azotu z powietrza, np. koniczyna, groch, fasola.

Pierwsza z nich oczywiście jest niemożliwa do realizacji w przypadku rolnictwa nastawionego na produkcję żywności. Pozostaje nam stosowanie nawozów lub uprawa roślin żyjących w symbiozie z bakteriami zdolnymi do przechwytywania pierwiastkowego azotu z atmosfery (dalej nazywane: rośliny symbiotyczne) takimi jak *Rhizobium* czy *Bradyrhizobium*²³.

Ponadto stosowanie nawozów organicznych zapewnia roślinom uprawnym makro- i mikroskładniki²⁴ odżywcze niezbędne do wzrostu. Stosowanie nawozów pochodzenia roślinnego zwiększa i stabilizuje zasoby węgla organicznego w glebie, co jest kluczowym atrybutem jakości gleby. Utrzymuje również napowietrzenie i wilgotność gleby oraz promuje wzrost mikroorganizmów glebowych²⁵.

Wadą z punktu widzenia rolnictwa precyzyjnego²⁶ (ang. *precision agriculture*) nawozów organicznych jest jednak ich powolne uwalnianie w procesach rozkładu (nawozy organiczne uwalniają mikro- i makroskładniki praktycznie natychmiastowo)²⁷.

Odzysk i ponowne wykorzystanie biomasy pochodzącej z odpadów poźniwnych (ang. *post-harvest*) z produkcji roślinnej stanowi alternatywę dla wykorzystania pierwiastków w postaci mineralnej do nawożenia, zmniejszając zużycie nieodnawialnych surowców. Istnieją różne metody wykorzystania biomasy, takie jak kompostowanie, fermentacja beztlenowa oraz różnorakie metody przetwarzania termicznego, takie jak spalanie, zgazowanie i piroliza²⁸. Wybór jednej lub

²² Hillel D., *Gleba w środowisku*, Warszawa 2012, ss. 344.

²³ Ibidem, ss. 344.

²⁴ Rozróżnienie na makroskładniki (węgiel, wodór, tlen, azot, fosfor, potas, siatkę, wapń i magnez) oraz mikroskładniki (m.in. żelazo, cynk, molibden, nikiel) wynika z ilości danego pierwiastka potrzebnej przeciętnej roślinie do wzrostu (tylko tych pierwszych dziewięć jest potrzebnych w dużych ilościach). Więcej informacji: Hillel D., *Gleba w środowisku*, Warszawa 2012, ss. 344.

²⁵ Velasco-Muñoz F. i in., *Circular economy in agriculture. An analysis of the state of research based on the life cycle*, "Sustainable Production and Consumption" 2022 nr 34, s. 264.

²⁶ Więcej o rolnictwie precyzyjnym: Igras J., *Nowoczesne systemy nawożenia roślin z zastosowaniem rolnictwa precyzyjnego*, [w:] *Dobre praktyki rolnicze w nawożeniu użytków rolnych*, red. J. Igrasa, Radom 2013, s. 46-50.

²⁷ Velasco-Muñoz F. i in., *Circular economy in agriculture. An analysis of the state of research based on the life cycle*, "Sustainable Production and Consumption" 2022 nr 34, s. 264.

²⁸ Piroliza to rozkład cząsteczek związku chemicznego pod wpływem podwyższonej temperatury bez obecności tlenu lub innego utleniacza. W skali przemysłowej celem pirolizy materiałów organicznych jest przetwarzanie surowców do użytecznych form energii, recykling surowcowy oraz wytwarzanie półproduktów.

drugiej metody zależy od zastosowanego materiału, możliwości jego wykorzystania i celu przetwarzania. Celem kompostowania jest uzyskanie materiału, który można wykorzystać jako dodatek do gleby, kontroli erozji, rozrostu miąższości warstwy próchnicznej i rekultywacji gleby²⁹.

Jak udało się udowodnić dr Antoniowi Cortésowi w swoim artykule dla „Environmental Pollution”:

WYKAZANO MOŻLIWOŚĆ STOSOWANIA KOMPOSTU JAKO NAWOZU ORGANICZNEGO W UPRAWACH KUKURYDZY, POMIDORÓW I TRUSKAWEK UNIKAJĄC STOSOWANIA NAWOZÓW MINERALNYCH. WYNIKI TEJ ANALIZY WYKAZAŁY, ŻE PROFIL ŚRODOWISKOWY [ANG. ENVIRONMENTAL PROFILE – PRZYP. P.C.] OCENIANYCH UPRAW POPRAWIŁ SIĘ ZNACZNIE PRAWIE WSZYSTKICH KATEGORIACH WPŁYWU [NA ŚRODOWISKO PRZYRODNICZE – PRZYP. P.C.]. PRACA TA POKAZUJE, IŻ KOMPOSTOWANIE JEST ODPOWIEDNIM SPOSOBEM UZYSKIWANIA PRODUKTÓW Z ODPADÓW ZGODNIE Z ZASADAMI GOSPODARKI O OBIEGU ZAMKNIĘTYM³⁰.

Przede wszystkim należy więc maksymalizować efektywność używania nawozów (zarówno tych organicznych, jak i mineralnych) i dokładnie dostosowywać dawkę produktu do prawdziwych potrzeb rośliny (ograniczenie marnotrawstwa – patrz: rolnictwo precyzyjne). Następnie należy zbierać powstałe odpadki i niewykorzystaną biomasę i wykorzystać w celu wytworzenia bionawozu czy biopaliwa.

Również Marek Zieliński z Państwowego Instytutu Badawczego, po przeanalizowaniu serii badań mierzących oddziaływanie poszczególnych typów użytków rolnych na środowisko wysuwa takie wnioski:

ANALIZA WYKAZAŁA, ŻE GOSPODARSTW ŁAGODZĄCYCH POSTĘPUJĄCE ZMIANY KLIMATU NALEŻY UPATRYWAĆ WŚRÓD GOSPODARSTW ROZWOJOWYCH, KTÓRE W PORÓWNANIU DO GOSPODARSTW POZOSTAŁYCH [...] MIAŁY KIEROWNIKÓW ŚWIADOMYCH NEGATYWNEGO WPŁYWU PROWADZONEJ PRODUKCJI ROŚLINNEJ NA ZASOBY PRÓCHNICZY W GLEBIE. POWOŁUJĄC SIĘ NA TĘ WIEDZĘ, ZWIĘKSZAŁY ZASOBNOŚĆ GLEBY W SUBSTANCJE POKARMOWE I ULEPSZAŁY JE STRUKTURĘ, STOSUJĄC SUBSTYTUTY NAWOŻENIA [...] W POSTACI SPREPAROWANEJ SŁOMY I NAWOZÓW ZIELONYCH³¹.

W dalszej pracy, z racji ograniczonych możliwości i obszerności tematu, analizować będą tylko jeden z wariantów wprowadzenia gospodarki o obiegu zamkniętym w rolnictwie tj. ograniczenie zużycia nawozów sztucznych na rzecz zachowania resztek organicznych (dalej:

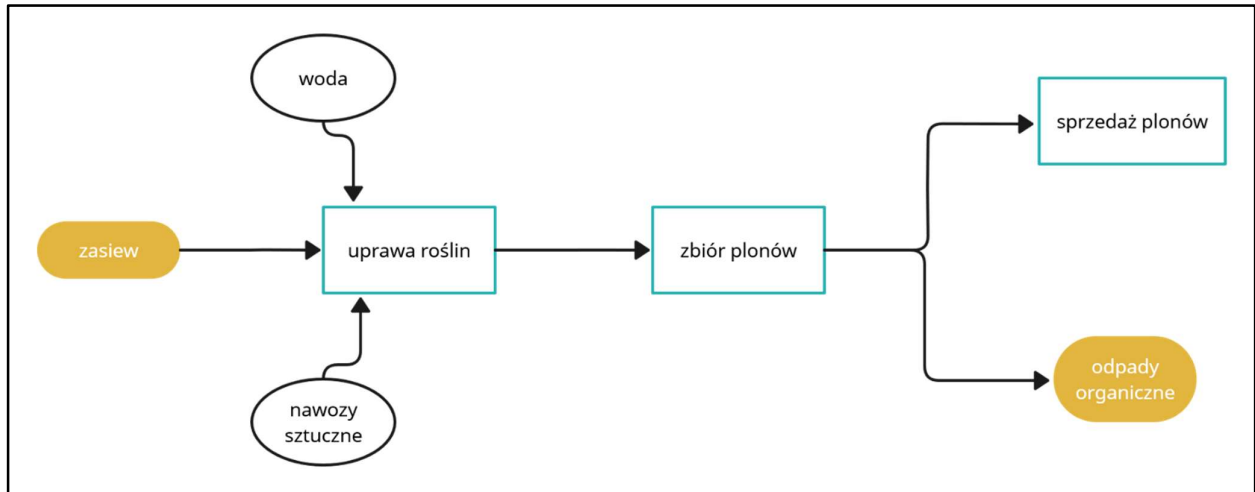
Za: *Przemysłowe laboratorium technologii chemicznej IB: piroliza węgla i biomasy*, [w:] *Katedra Inżynierii Procesowej i Technologii Materiałów Polimerowych i Węglowych Politechniki Wrocławskiej*, https://iptm.pwr.edu.pl/fcp/VGBUKOQtTKlQhbx08SlkAVgBeUTgtCgg9ACFDCwgCFiFPFRYqCl5tDXdAGHpEQVgQaxMDOCAEDgMdLA5fRE0OPxZSBw/154/public/gmw_dydaktyka/pltrnw_piroliza.pdf [dostęp: 17.03.2024].

²⁹ Ibidem, s. 264.

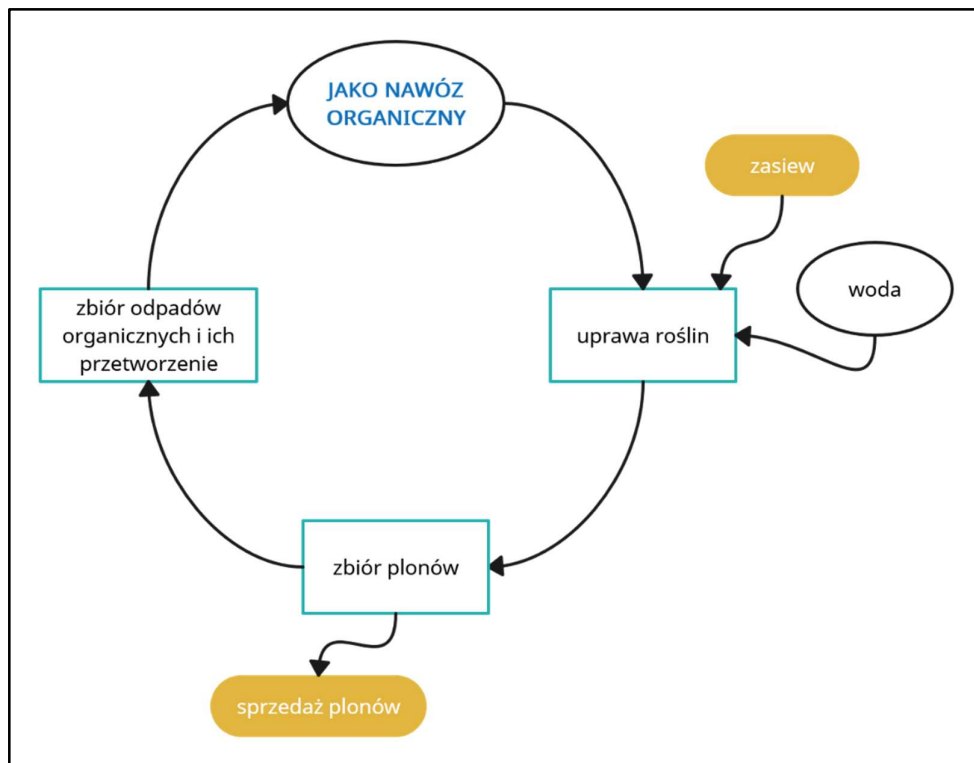
³⁰ Cortés A. i in., *Environmental assessment of viticulture waste valorisation through composting as a biofertilisation strategy for cereal and fruit crops*, „Environmental Pollution” 2020 nr 264, s. 7.

³¹ Zieliński M., *Możliwości oddziaływania gospodarstw specjalizujących się w uprawie zbóż, roślin oleistych i białkowych na zmiany klimatu*, [w:] *Z badań nad rolnictwem społecznie zrównoważonym (20). Wybrane zagadnienia zrównoważonego rozwoju rolnictwa*, red. J. Zegar, Warszawa 2013, s. 121-122.

odpady organiczne) pozostałych po zbiorach w celu produkcji naturalnego nawozu w procesie kompostowania. Zmianę gospodarki linearnej na cyrkularną przedstawiają rysunki 6 i 7:



Rysunek 6 Uproszczony schemat linearnej gospodarki rolnej z wyszczególnieniem odpadów organicznych. Opracowanie własne w programie Creately.



Rysunek 7 Uproszczony schemat cyrkularnej gospodarki rolnej z wyszczególnieniem odpadów organicznych. Opracowanie własne w programie Creately.

Dalsza analiza odbywać się będzie na dwóch równoległych płaszczyznach ściśle odnoszących się do potrzeb i warunków województwa śląskiego: ekologicznej (środowiskowej) oraz ekonomicznej. Pierwsza z nich obejmie emisje gazów cieplarnianych, które towarzyszą powstawaniu nawozów sztucznych. Druga natomiast zawrze potencjalne koszty poniesione przez rolnika w celu wprowadzenia gospodarki cyrkularnej oraz zyski wynikające z braku konieczności zakupu nawozów sztucznych.

5. Skutki wprowadzenia gospodarki cyrkularnej

5.1. rachunek ekologiczny

Niestety z powodu braku udostępniania tak szczegółowych danych przed Główny Urząd Statystyczny (np. danych dotyczących ilości czystego azotu w kilogramie nawozu azotowego czy ilości zastosowanych środków ochrony roślin), niemożliwym dla mnie pozostaje wyliczenie całkowitego śladu węglowego z uprawy jednego hektara przeciętnego pola w województwie śląskim.

Mimo to, dokładne przeanalizowanie wzoru na ślad węglowy (patrz: rozdział 7) pozwala stwierdzić, iż $\dot{S}W_{\text{wytworzenia nawozu azotowego}}$ jest jedyną wartością która ulegnie zauważalnej zmianie przy wprowadzeniu nawozów organicznych (z odpadów rolniczych) – celem zmiany nie jest bowiem zmniejszenie dostępnej ilości azotu w glebie, lecz zmiana jej proveniencji. Tak więc F_{SN} (tj. ilość czystego azotu z nawozów mineralnych) ulegnie zmniejszeniu, jednak F_{ON} (tj. ilość czystego azotu z nawozów naturalnych) ulegnie proporcjonalnemu zwiększeniu. Możemy zatem wyprowadzić wzór w postaci:

$$\dot{S}W = \dot{S}W_{\text{wytworzenia nawozu}} + \alpha$$

gdzie α jest stałą wartością zależną od zawartości azotu z nawozów, ilości zużytych środków ochrony roślin, zużycia paliwa w maszynach rolniczych itp.

Koniecznością zatem staje się opieranie na śladzie węglowym generowanym tylko i wyłącznie w procesie wytwarzania używanych nawozów sztucznych. Współczynnik emisji EF (patrz: rozdział 7) wynosi w tym wypadku 6,209³², zatem:

$$\dot{S}W_{\text{wytworzenia nawozu azotowego}} = 6,209 * 65,42 = 406,19 \text{ [kg CO}_2\text{-ekw/ha]}$$

Wynika stąd, iż każdego roku jeden hektar pola uprawnego w województwie śląskim emituje 406 kilogramów ekwiwalentu dwutlenku węgla tylko i wyłącznie spowodowanych produkcją nawozu azotowego! A jest to tylko część emisji gazów cieplarnianych z pola uprawnego (Tomasz Żyłowski, po przeprowadzeniu dokładnych badań, otrzymał w ten sposób ledwie 21,6% śladu węglowego dla pól kukurydzy³³).

Jak wykazał dr Antonio Cortés (patrz: rozdział 5), możliwe jest prowadzenie upraw z pełnym zaprzestaniem użycia nawozów mineralnych na rzecz nawozów organicznych. Zdając

³² Zakładając, iż nawozem jest saletra amonowa. Wartość za: *BioGrace – List of Additional Standard Values* https://www.biograce.net/img/files/BioGrace_additional_standard_values_-_version_1_-_Public.pdf [dostęp: 29.12.2023].

³³ Żyłowski T., i in., *Ocena możliwości ograniczenia śladu węglowego w uprawie kukurydzy na ziarno*, „Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu”, 2018 nr 4, ss.7.

sobie sprawę z małego prawdopodobieństwa wprowadzenia tego typu upraw z dnia na dzień we wszystkich gospodarstwach rolnych, rozważę tutaj trzy scenariusze:

- gospodarka linearna – zużycie 65,42 kg nawozów sztucznych na hektar pola uprawnego (obecne zużycie w Śląskiem),
- gospodarka cyrkularno-linearna – redukcja zużycia nawozów sztucznych o 70% do 19,6 kg/ha,
- gospodarka cyrkularna (idylliczna, w praktyce nieosiągalna w skali województwa) – redukcja zużycia nawozów sztucznych do zera.

Tabela 2 Porównanie wariantu linearnego, cyrkularno-linearnego i cyrkularnego dla nawozów azotowych.
Opracowanie własne.

wariant	linearny	cyrkularno-linearny	cyrkularny
zużycie nawozów mineralnych [kg/ha]	65,42	19,6	0
ślad węglowy [kg CO ₂ -ekw/ha]	406,19	121,7	0
ekwiwalent ³⁴	Przejazd jednej osoby 29 013 km pociągiem	Przejazd jednej osoby 8 693 km pociągiem	–

Uwzględniając średni areal upraw wynoszący 8 ha (patrz: rozdział 3) oraz zakładając cyrkularno-linearny wariant gospodarki rolnej, rocznie można by zmniejszyć ślad węglowy jednego gospodarstwa o:

$$\Delta \dot{S}W_{\text{cyrkularno-linearny (azot)/pole}} = (406,19 - 121,7) * 8 = 2\,275,92 \text{ [kg CO}_2\text{-ekw]}$$

A dla całego województwa:

$$\Delta \dot{S}W_{\text{cyrkularno-linearny (azot)/województwo}} = (406,19 - 121,7) * 372\,213,53 = 105\,891\,027,15 \text{ [kg CO}_2\text{-ekw]}$$

Co oznacza, iż w skali całego województwa śląskiego, przyjmując wariant cyrkularno-linearny (tj. ograniczając zużycie nawozów azotowych o 70%), ograniczono by emisję o prawie 106 tysięcy ton ekwiwalentu dwutlenku węgla rocznie!

³⁴ Wartość 14g/km za: *Jak ograniczyć swój ślad węglowy*, [w:] Unia Europejska https://youth.europa.eu/get-involved/sustainable-development/how-reduce-my-carbon-footprint_pl [dostęp: 30.12.2023].

Analogicznie możemy przeprowadzić rozumowanie dla nawozów fosforowych i potasowych³⁵:

$$\acute{S}W_{\text{wytworzenia nawozu fosforowego}} = 1,527 * 23,8 = 36,34 \text{ [kg CO2-ekw/ha]}$$

$$\Delta\acute{S}W_{\text{cyrkuralno-l (fosfor)/pole}} = (36,34 - 10,9) * 8 = 203,52 \text{ [kg CO2-ekw]}$$

$$\acute{S}W_{\text{wytworzenia nawozu potasowego}} = 0,308 * 36,5 = 11,24 \text{ [kg CO2-ekw/ha]}$$

$$\Delta\acute{S}W_{\text{cyrkuralno-linearny (potas)/pole}} = (11,24 - 3,37) * 8 = 62,96 \text{ [kg CO2-ekw]}$$

Dzięki czemu możemy wyznaczyć ślad węglowy od całkowitego zużycia nawozów sztucznych dla województwa śląskiego:

$$\acute{S}W_{\text{wytworzenia nawozu}} = \sum \acute{S}W_i$$

gdzie $i \in \{\text{nawozy azotowe, nawozy fosforowe, nawozy potasowe}\}$

$$\acute{S}W_{\text{wytworzenia nawozu}} = 406,19 + 36,34 + 11,24 = 453,77 \text{ [kg CO2-ekw/ha]}$$

Tabela 3 Porównanie wariantu linearnego, cyrkularno-linearnego i cyrkularnego dla nawozów sztucznych (potasowych, azotowych i fosforowych). Opracowanie własne.

wariant	liniarny	cyrkularno-linearny	cyrkularny
zużycie nawozów mineralnych [kg/ha]	125,8 ³⁶	37,74	0
ślad węglowy [kg CO ₂ - ekw/ha]	453,77	136,13	0
ekwiwalent ³⁷	Przejazd jednej osoby 32 412 km pociągiem	Przejazd jednej osoby 9 724 km pociągiem	–

Zatem jesteśmy w stanie wyliczyć różnicę w emitowanych gazach, która wyniknęłaby z zastosowania wariantu gospodarki cyrkularno-linearnej w województwie śląskim, uwzględniając wszystkie typy nawozów sztucznych:

³⁵ Dane dotyczące współczynnika emisji (dla wodorofosforanu amonu = 1,527; dla chlorku potasu = 0,308) za: BioGrace – List of Additional Standard Values https://www.biograce.net/img/files/BioGrace_additional_standard_values_-_version_1_-_Public.pdf [dostęp: 29.12.2023].

³⁶ Za Powszechnym Spisem Rolnym ująłem nawozy azotowe, fosforowe i potasowe, pomijając nawozy wapniowe. Wszystkie dane za BDL GUS.

³⁷ Wartość 14g/km za: Jak ograniczyć swój ślad węglowy, [w:] Unia Europejska https://youth.europa.eu/get-involved/sustainable-development/how-reduce-my-carbon-footprint_pl [dostęp: 30.12.2023].

$$\Delta\dot{S}W_{\text{cyrkularno-linearne/pole}} = (453,77 - 136,13) * 8 = 2\,541,11 \text{ [kg CO}_2\text{-ekw]}$$

$$\begin{aligned}\Delta\dot{S}W_{\text{cyrkularno-linearne/województwo}} &= (453,77 - 136,13) * 372\,213,53 \\ &= 118\,229\,905,7 \text{ [kg CO}_2\text{-ekw]}\end{aligned}$$

Roczna redukcja śladu węglowego przy zmniejszeniu zużycia nawozów sztucznych do 30% wyniosłaby aż 118 tysięcy ton ekwiwalentu dwutlenku węgla!

Poza zanieczyszczeniem powietrza, szkodliwe substancje dostają się również do zasobów wód gruntowych przyczyniając się do eutrofizacji (przeżyźnienia) powodując intensywny rozwój toksycznych zakwitów glonów w ciekach i zbiornikach wodnych. Najczęstszą przyczyną zanieczyszczeń wód azotem ze źródeł rolniczych jest zbyt duże użycie nawozów sztucznych, jak również nawożenie w nieodpowiednim momencie grożącym nadmiernym wymywaniem, w szczególności gdy gleba jest przemarznięta lub pokryta śniegiem³⁸.

Niestety, bez przeprowadzenia szczegółowych badań lub dostępu do wyników takich badań, niemożliwym jest ocenienie przeze mnie wpływu stosowania nawozów sztucznych na zanieczyszczenie wód gruntowych i cieków wodnych.

5.2. rachunek ekonomiczny

Rezygnacja z używania sztucznych nawozów jest nie tylko korzystna środowiskowo, ale również może okazać się korzystna finansowo, pod warunkiem, iż zostaną spełnione warunki cyrkularności gospodarki, co pozwoli na zachowanie żyzności gleby i zahamowanie jej nadmiernego wyjąłowania z makro- i mikroskładników.

Poniżej zaprezentowana zostanie uproszczona analiza finansowa przejścia z gospodarki linearnej na gospodarkę cyrkularną lub cyrkularno-linearne (patrz: podrozdział 6.1.).

W analizie podjęto poniższe założenia:

- cena nawozu azotowego brutto w sprzedaży detalicznej: 1 832,27 zł / 1 000 kg³⁹;
- cena nawozu potasowego brutto w sprzedaży detalicznej: 2 365,81 zł / 1 000 kg⁴⁰;
- cena nawozu fosforowego brutto w sprzedaży detalicznej: 2 946,05 / 1 000 kg⁴¹;

³⁸ Wardal W., *Przyczyny skażenia wód azotem ze źródeł rolniczych*, Minikowo 2019, s. 3-7.

³⁹ *Nawozy grupy azoty*, [w:] nawozy.eu <https://nawozy.eu/nawozy/azotowe/doglebowe/saetrzak-27-standard> [dostęp: 1.01.2024]; *Saetrzak 27 Standard*, [w:] cenynawozow.pl <https://www.cenynawozow.pl/nawozy/saetrzak-27-standard/> [dostęp: 1.01.2024].

⁴⁰ *Sól potasowa*, [w:] cenynawozow.pl <https://www.cenynawozow.pl/nawozy/sol-potasowa/> [dostęp: 1.01.2024].

⁴¹ *Super fos dar 40*, [w:] cenynawozow.pl <https://www.cenynawozow.pl/nawozy/super-fos-dar-40/> [dostęp: 1.01.2024].

- ilość odpadów organicznych = połowa plonów zebranych z pola uprawnego, co daje 1,775 t/ha, co z kolei daje 2 535,7 l/ha⁴²;
- koszt kompostownika: 255 zł za kompostownik o pojemności 1 050 l⁴³.

Można teraz wyliczyć koszt nawożenia jednego hektara pola uprawnego w województwie śląskim (patrz: rozdział 7):

$$KC = 119,87 + 70,12 + 86,35 = 276,34 \text{ [zł/ha]}$$

Oczywiście jest to tylko część kosztów związanych z nawożeniem pola nawozami sztucznymi. Poza wytworzeniem, nawóz zależy jeszcze rozprowadzić (czyli koszty maszyn rozprowadzających środki oraz paliwa do ich zasilania), jednak wydatki te będą zbliżone przy produkcji nawozów organicznych z odpadów rolniczych, dlatego nie zostały uwzględnione w analizie.

Dla jednego, średniego pola otrzymujemy wartość:

$$KC_{pole} = 276,34 * 8 = 2 210,72 \text{ [zł]}$$

Tabela 4 koszt całkowity nawożenia i zmiana kosztu nawozów sztucznych w wariantach: linearnym, cyrkularno-linearnym i cyrkularnym. Opracowanie własne.

wariant	koszt całkowity nawożenia sztucznego [zł/ha]	zmiana kosztu sposobu nawożenia ⁴⁴ [zł/ha]
linearny	276,34	-
cyrkularno-linearny z rozłożeniem kosztu zakupu kompostownika na 5 lat	346,49	70,15
cyrkularno-linearny z rozłożeniem kosztu zakupu kompostownika na 10 lat	269,94	-6,4
cyrkularno-linearny z rozłożeniem kosztu zakupu kompostownika na 15 lat	244,44	-31,9
cyrkularno-linearny (bez kosztów kompostownika)	193,44	-82,9

⁴² *Przetwarzanie bioodpadów zbieranych selektywnie* <https://t.ly/AvJI0> [dostęp: 05.01.2024].

⁴³ *Kompostownik ogrodowy*, [w:] *Folks.pl* <https://www.floks.pl/kompostownik-maxisilo-1100-10501-czarny,id523.html> [dostęp: 1.01.2024].

⁴⁴ Wartość dodatnia oznacza ZWIĘKSZENIE kosztów poniesionych przez rolnika w skali roku, natomiast wartość ujemna oznacza ograniczenie kosztów.

cyrkularny (bez kosztów kompostownika)	0	-276,34
--	---	---------

Przekształcając wzór na zmianę kosztu nawozów sztucznych ($\Delta KS_{\text{cyrkularno-linearne}}$, patrz: rozdział 7) można otrzymać funkcję w zależności od liczby x lat, na które rozkładamy koszty zakupu kompostownika w następującej postaci:

$$KC(x) = -\frac{765}{x} + 82,9$$

Która to funkcja zeruje się dla x wynoszącego 9,23 – co oznacza, iż dopiero po założeniu, iż będziemy spłacać zakup kompostownika przez 9 lat i 3 miesiące, wychodzimy na „zero” i płacimy przez ten okres tyle samo co płacilibyśmy za zakup nawozów sztucznych.

W rzeczywistości zakup kompostownika może „blokować” decyzję rolnika o wprowadzeniu gospodarki cyrkularnej. Konieczna jest interwencja państwa w celu dofinansowania rolników „zrównoważonych” bądź obciążenia dodatkowymi kosztami (tj. podatkami) rolników niekorzystających z tego typu instalacji. Jak podaje prof. Józef Zegar:

WARTOŚĆ OPTIMUM PRYWATNEGO – MIKROEKONOMICZNEGO – NIE POKRYWA SIĘ Z WARTOŚCIĄ OPTIMUM SPOŁECZNEGO – MAKROEKONOMICZNEGO. CELE MOGĄ ZE SOBĄ RYWALIZOWAĆ O ZASOBY, A ŚCIŚLEJ MÓWIĄC, DĄŻENIE DO REALIZACJI CELÓW PRYWATNYCH NA OPTYMALNYM POZIOMIE DOKONUJE SIĘ W WALCE KONKURENCYJNEJ O OGRANICZONE ZASOBY – TAKŻE PRZYRODNICZE (NATURALNE). [...] ZATEM DĄŻĄC DO DOBROBYTU SPOŁECZNEGO W WARUNKACH OGRANICZONOŚCI ZASOBÓW BIOSFERY, TRZEBA INTERNALIZOWAĆ EFEKTY ZEWNĘTRZNE, CO WYMAGA INTERWENCJI INSTYTUCJI POLITYCZNYCH – RZĄDU. CHODZI O TWORZENIE WARUNKÓW BRZEGOWYCH DLA DECYZJI AUTONOMICZNYCH PODMIOTÓW⁴⁵.

⁴⁵ Zegar J., *Konkurencyjność celów ekologicznych i ekonomicznych w rolnictwie*, [w:] *Z badań nad rolnictwem społecznie zrównoważonym (20). Wybrane zagadnienia zrównoważonego rozwoju rolnictwa*, red. J. Zegar, Warszawa 2013, s. 44.

6. Zakończenie

Jak starałem się udowodnić w tej pracy, wprowadzenie gospodarki o obiegu cyrkularnym nie jest zadaniem prostym, jako iż składa się na nią całe *variété* idei i pomysłów. Jednakże jest to gospodarka, ku której powinniśmy dążyć za wszelką cenę w celu redukcji antropogenicznych zmian klimatu.

Rolnictwo jest szczególnym sektorem gospodarki, który emituje znaczne ilości zanieczyszczeń, w tym gazów cieplarnianych. Jediną realną metodą wprowadzenia gospodarki cyrkularnej wydaje się być ograniczenie użycia nawozów sztucznych. W zamian należy ukierunkować się na przetwórstwo organicznych odpadów rolniczych, co pozwoli utrzymać stały poziom próchnicy w glebie. Pomimo niewielkiego łącznego areалу upraw w województwie śląskim, emitują one rokrocznie setki tysięcy ton ekwiwalentu dwutlenku węgla, którego redukcja pozwoli dążyć do gospodarki przyjaznej środowisku.

Niestety w celu wprowadzenia tego typu działalności rolniczej konieczne są spore wydatki, m.in. zakup kompostownika. Aby uczynić ekologiczne rozwiązanie opłacalnym dla rolnika, należy subsydiować nabycie niezbędnego sprzętu, odciążyć takiego rolnika z części podatków lub zwiększyć podatki ekologiczne u rolników niekorzystających z GoZ.

Nie należy również zapominać o czysto „marketingowym” spojrzeniu na temat – przy wprowadzeniu gospodarki cyrkularnej w Śląskiem tutejsze płody rolne mogą stać się bardziej konkurencyjne na rynku, przy uwzględnieniu wzrastającej wrażliwości społecznej na kwestie klimatyczne.

7. Metodologia

Użyte w pracy wzory i zależności:

Ślad węglowy⁴⁶:

$$\dot{S}W = \left(\sum EF * ilość \right) + E_{N_2O}$$

gdzie:

EF – współczynnik emisji [kg CO₂-ekw / kg];

E_{N₂O} – bezpośrednie emisje N₂O z gleby mineralnej:

$$E_{N_2O} = (F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{SOM}) * EF_1$$

gdzie:

F_{SN} – ilość czystego azotu z nawozów mineralnych [kg N/ha];

F_{ON} – ilość azotu z nawozów naturalnych [kg N/ha];

F_{CR} – ilość azotu dostarczanego przez szczątki roślinne [kg N/ha];

F_{SOM} – azot mineralizowany w związku z utratą węgla z glebowej materii organicznej [kg N/ha];

EF₁ – frakcja azotu tracona w postaci podtlenku azotu = 0,01.

Koszt nawozów dla jednego hektara pola uprawnego:

$$KC = K_{azot} + K_{potas} + K_{fosfor}$$

gdzie:

KC – koszt całkowity produkcji nawozów dla jednego hektara pola uprawnego [zł/ha];

K_{azot} – koszt produkcji nawozów azotowych dla jednego hektara pola uprawnego [zł/ha];

K_{potas} – koszt produkcji nawozów potasowych dla jednego hektara pola uprawnego [zł/ha];

K_{fosfor} – koszt produkcji nawozów fosforowych dla jednego hektara pola uprawnego [zł/ha].

Zmiana kosztu sposobu nawożenia w przypadku gospodarki cyrkularno-linearnej z uwzględnieniem zakupu kompostownika w rozłożeniu na x lat:

$$\Delta KS_{cyrkularno-linearne} = KC_{pole} * 0,7 + K_{kompostownik} * \frac{1}{x}$$

gdzie:

K_{kompostownik} – koszt zakupu kompostownika [zł];

KC_{pole} – koszt całkowity nawozów sztucznych dla całego, średniego pola [zł];

x – liczba lat, na którą rozkładamy koszty zakupu kompostownika.

Ponadto korzystałem z danych udostępnianych przez Bank Danych Lokalnych Głównego Urzędu Statystycznego (głównie zaczerpniętych z Powszechnego Spisu Rolnego 2020), które opracowywałem w programach GIS 3.30.3 oraz Excel.

⁴⁶ Żyłowski T., *Ślad węglowy w uprawie kukurydzy na ziarno*, Lubią 2018; Żyłowski T., i in., *Ocena możliwości ograniczenia śladu węglowego w uprawie kukurydzy na ziarno*, „Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu”, 2018 nr 4, ss.7.

8. Bibliografia

- BioGrace – List of Additional Standard Values*
https://www.biograce.net/img/files/BioGrace_additional_standard_values_-_version_1_-_Public.pdf [dostęp: 29.12.2023].
- Cortés A. i in., *Environmental assessment of viticulture waste valorisation through composting as a biofertilisation strategy for cereal and fruit crops*, “Environmental Pollution” 2020 nr 264.
- Duś E., Uwarunkowania rozwoju rolnictwa w województwie śląskim, „Acta Geographica Silesiana” 2008 nr 3.
- Europejski zielony ład*, [w:] Rada Europejska, Rada Unii Europejskiej
<https://www.consilium.europa.eu/pl/policies/green-deal/> [dostęp: 17.03.2024].
- Hillel D., *Gleba w środowisku*, Warszawa 2012.
- Igras J., *Nowoczesne systemy nawożenia roślin z zastosowaniem rolnictwa precyzyjnego*, [w:] *Dobre praktyki rolnicze w nawożeniu użytków rolnych*, red. J. Igrasa, Radom 2013.
- Jak ograniczyć swój ślad węglowy*, [w:] Unia Europejska https://youth.europa.eu/get-involved/sustainable-development/how-reduce-my-carbon-footprint_pl [dostęp: 30.12.2023].
- Klasa A., *Gospodarka obiegu zamkniętego (GOZ) w rolnictwie i ogrodnictwie*, Olsztyn 2019.
- Kompostownik ogrodowy*, [w:] Folks.pl <https://www.floks.pl/kompostownik-maxisilo-1100-10501-czarny.id523.html> [dostęp: 1.01.2024].
- Krzyżaniak M., *Ocena cyklu życia (LCA) jako narzędzie określania wpływu produkcji rolniczej na środowisko*, Olsztyn 2019.
- Michalak D., Rosiek K., Szyja P., *Gospodarka niskoemisyjna, gospodarka cyrkularna, zielona gospodarka. Uwarunkowania i wzajemne powiązania*, Łódź 2020.
- Nawozy grupy azoty*, [w:] nawozy.eu <https://nawozy.eu/nawozy/azotowe/doglebowe/saletrzak-27-standard> [dostęp: 1.01.2024].
- Palmieri N. i in., *Circular Economy Model: Insights from a Case Study in South Italy*, “Sustainability” 2020 nr 12.
- Powszechny Spis Rolny 2020, <https://bdl.stat.gov.pl/bdl/metadane/grupy/34?back=True> [dostęp: 16.12.2023].
- Przemysłowe laboratorium technologii chemicznej IB: piroliza węgla i biomasy*, [w:] *Katedra Inżynierii Procesowej i Technologii Materiałów Polimerowych i Węglowych Politechniki Wrocławskiej*, https://iptm.pwr.edu.pl/fcp/VGBUKOQtTKIQhbx08SlkAVgBeUTgtCgg9ACFDCwgCFiFPFRYqCI5tDXdAGHpEQVgQaxMDOCAEDgMdLA5fRE0OPxZSBw/154/public/gmw_dydaktyka/pltrnw_piroliza.pdf [dostęp: 17.03.2024].
- Przetwarzanie bioodpadów zbieranych selektywnie* <https://t.ly/AvJI0> [dostęp: 05.01.2024].
- Pszenice po tegorocznej zimie – wiosenne nawożenie azotem,
<https://www.agro.basf.pl/pl/serwisy/doradztwo-i-informacje/pszenice-po-tegorocznej-zimie-wiosenne-nawozenie-azotem.html> [dostęp: 27.12.2023].
- Saletrzak 27 Standard*, [w:] cenynawozow.pl <https://www.cenynawozow.pl/nawozy/saletrzak-27-standard/> [dostęp: 1.01.2024].
- Sól potasowa*, [w:] cenynawozow.pl <https://www.cenynawozow.pl/nawozy/sol-potasowa/> [dostęp: 1.01.2024].
- Super fos dar 40*, [w:] cenynawozow.pl <https://www.cenynawozow.pl/nawozy/super-fos-dar-40/> [dostęp: 1.01.2024].
- Velasco-Muñoz F. i in., *Circular economy in agriculture. An analysis of the state of research based on the life cycle*, “Sustainable Production and Consumption” 2022 nr 34.

- Wardal W., *Przyczyny skażenia wód azotem ze źródeł rolniczych*, Minikowo 2019.
- Zegar J., *Konkurencyjność celów ekologicznych i ekonomicznych w rolnictwie*, [w:] *Z badań nad rolnictwem społecznie zrównoważonym (20). Wybrane zagadnienia zrównoważonego rozwoju rolnictwa*, red. J. Zegar, Warszawa 2013.
- Zieliński M., *Możliwości oddziaływania gospodarstw specjalizujących się w uprawie zbóż, roślin oleistych i białkowych na zmiany klimatu*, [w:] *Z badań nad rolnictwem społecznie zrównoważonym (20). Wybrane zagadnienia zrównoważonego rozwoju rolnictwa*, red. J. Zegar, Warszawa 2013.
- Żyłowski T., i in., *Ocena możliwości ograniczenia śladu węglowego w uprawie kukurydzy na ziarno*, „Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu”, 2018 nr 4.
- Żyłowski T., *Ślad węglowy w uprawie kukurydzy na ziarno*, Lubań 2018.