

Paweł Nicia, Mariusz Dacko, Jarosław Janus, Tomasz Kowalik,
Łukasz Paluch, Jacek Pijanowski, Aleksandra Płonka,
Tomasz Wojewodzik, Paweł Zadrozny

Możliwości i bariery wykorzystania wapnowania gleb do poprawy efektywności ekonomicznej produkcji rolnej oraz ograniczania eutrofizacji wód powierzchniowych

„Europejski Fundusz Rolny na rzecz Rozwoju Obszarów Wiejskich:
Europa inwestująca w obszary wiejskie”

Operacja współfinansowana ze środków Unii Europejskiej w ramach
Schematu II Pomocy Technicznej „Krajowa Sieć Obszarów Wiejskich”
Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2014–2020

Instytucja Zarządzająca Programem Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2014–2020
– Minister Rolnictwa i Rozwoju Wsi

Podmiot odpowiedzialny za treść publikacji: Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie



**Możliwości i bariery wykorzystania
wapnowania gleb do poprawy
efektywności ekonomicznej produkcji rolnej
oraz ograniczania eutrofizacji
wód powierzchniowych**

Paweł Nicia, Mariusz Dacko, Jarosław Janus,
Tomasz Kowalik, Łukasz Paluch,
Jacek Pijanowski, Aleksandra Płonka,
Tomasz Wojewodzik, Paweł Zadrozny

Możliwości i bariery wykorzystania wapnowania gleb do poprawy efektywności ekonomicznej produkcji rolnej oraz ograniczania eutrofizacji wód powierzchniowych

Wszelkie prawa zastrzeżone. Kopiowanie, przedrukowywanie i rozpowszechnianie całości lub fragmentów niniejszej pracy bez zgody wydawcy zabronione.

Książka ta jest dziełem twórcy i wydawcy. Jeśli cytujesz jej fragmenty, nie zmieniaj ich treści i koniecznie zaznacz, czyje to dzieło, a kopiując jej część, rób to jedynie na użytek osobisty. Szanuj cudzą własność i prawo.

Sfinansowano ze środków Unii Europejskiej w ramach Schematu II Pomocy Technicznej „Krajowa Sieć Obszarów Wiejskich” Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2014–2020.

Recenzenci:

prof. dr hab. inż. Piotr Parzych,
dr hab. Andrzej Parzonko, prof. SGGW

Korekta:

Ewa Kowalczyk

Marka Homini jest częścią Wydawnictwa Benedyktynów Tyniec

ISBN: 978-83-8205-246-6

Wydanie pierwsze, Kraków 2023

© Copyright by Tyniec Wydawnictwo Benedyktynów
ul. Benedyktyńska 37, 30–398 Kraków
tel.: +48 (12) 688–52–95

Druk i oprawa:

Tyniec Wydawnictwo Benedyktynów
druk@tyniec.com.pl



MOŻLIWOŚCI I BARIERY WYKORZYSTANIA WAPNOWANIA GLEB DO POPRAWY EFEKTYWNOŚCI EKONOMICZNEJ PRODUKCJI ROLNEJ ORAZ OGRANICZANIA EUTROFIZACJI WÓD POWIERZCHNIOWYCH

Badania naukowe zostały zrealizowane w ramach projektu pt:

„Możliwości i bariery wykorzystania wapnowania gleb do poprawy efektywności ekonomicznej produkcji rolnej oraz ograniczania eutrofizacji wód powierzchniowych”

„Europejski Fundusz Rolny na rzecz Rozwoju Obszarów Wiejskich:
Europa inwestująca w obszary wiejskie”

Operacja współfinansowana ze środków Unii Europejskiej w ramach Schematu II Pomocy Technicznej „**Krajowa Sieć Obszarów Wiejskich**” **Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich** na lata 2014-2020

Instytucja Zarządzająca Programem Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2014-2020 – **Minister Rolnictwa i Rozwoju Wsi**

Spis treści

1. Wprowadzenie	11
1.1. Uzasadnienie wyboru tematu badań	11
1.2. Materiały źródłowe	16
1.3. Metodyka badań	22
1.4. Charakterystyka obiektów badań	27
2. Istota i znaczenie nawożenia gleb nawozami odkwaszającymi	39
2.1. Przyczyny i stan zakwaszenia gleb w Polsce	39
2.2. Zakwaszenie gleby jako czynnik determinujący jej jakość oraz stan środowiska	45
2.3. Rola wapnowania we współczesnej agrotechnice	49
3. Efektywność ekonomiczna nawożenia	59
3.1. Ekonomiczne aspekty wapnowania gleb	59
3.2. Pomiar rentowności i efektywności ekonomicznej gospodarstw rolnych	64
3.3. Strategie wapnowania stosowane przez towarowe gospodarstwa rolne	70
4. Wpływ nawożenia gleb w rolnictwie na eutrofizację wód. Urządzenia wodno-melioracyjne i strefy buforowe a nawożenie gleb w rolnictwie i eutrofizacja wód	77
4.1. Wymywanie składników nawozowych jako czynnik wpływający na eutrofizację wód powierzchniowych	77
4.2. Struktura przestrzenna i użytkowanie terenu jako główne determinanty procesów erozyjnych	80
4.3. Urządzenia wodno-melioracyjne a nawożenie gleb w rolnictwie i eutrofizacja wód	89
5. Zużycie nawozów w Polsce	93
5.1. Klasyfikacja i charakterystyka wybranych produktów dostępnych na polskim rynku nawozowym	93

5.2. Stan zużycia nawozów mineralnych (NPK) w Polsce	103
5.3. Stan zużycia nawozów wapniowych i wapniowo-magnezowych w Polsce	112
6. Przegląd dotychczasowych instrumentów wspierających regenerację środowiskową gleb poprzez ich wapnowanie	119
6.1. Przesłanki i narzędzia interwencji państwa w rolnictwie	119
6.2. <i>Ogólnopolski program regeneracji środowiskowej gleb poprzez ich wapnowanie</i> – założenia programowe i kryteria dostępu	123
6.3. Wsparcie finansowe nawożenia wapniowego gleb w opiniach respondentów.	127
6.4. Wsparcie wapnowania gleb a potrzeby szkoleniowe respondentów.	134
7. Wykorzystanie cyfrowych map glebowo-rolniczych oraz danych lotniczego skaningu laserowego dla identyfikacji zagrożeń związanych z eutrofizacją wód	139
7.1. Charakterystyka danych wejściowych wykorzystanych w procesie modelowania wpływu wapnowania gleb na eutrofizację wód powierzchniowych	139
7.2. Założenia metodyczne analizy wpływu wapnowania gleb na zamiany zagrożenia eutrofizacją wód powierzchniowych	145
7.3. Prezentacja wyników procesu modelowania i wynikające z niego wnioski końcowe	160
8. Bariery nawożenia gleb nawozami odkwaszającymi w opiniach rolników i pracowników instytucji otoczenia rolnictwa	169
8.1. Bariery wapnowania w opinii rolników	169
8.2. Bariery wapnowania w opinii pracowników instytucji otoczenia rolnictwa.	173
8.3. Identyfikacja determinant i barier wapnowania – próba ujęcia modelowego.	176
9. Efektywność ekonomiczna gospodarstw rolnych o różnym poziomie nawożenia wapniowego gleb	183
9.1. Wysokość dochodu rolniczego w gospodarstwach o różnym poziomie wapnowania gleb	183
9.2. Wyniki ekonomiczne gospodarstw towarowych, specjalizujących się w uprawach polowych w zależności od zastosowanych strategii wapnowania	188
9.3. Znaczenie kompleksowości nawożenia dla osiągniętych wyników ekonomicznych.	194

9.4. Znaczenie wapnowania dla efektów produkcji roślinnej w gospodarstwach specjalizujących się w produkcji polowej – próba ujęcia modelowego	200
Podsumowanie	205
Bibliografia	219
Spis tabel, wykresów, rysunków, map	231

1. Wprowadzenie

1.1. Uzasadnienie wyboru tematu badań

Gleba stanowi jeden z najważniejszych elementów rolniczej przestrzeni produkcyjnej. To od właściwości chemicznych i fizycznych gleby zależą w dużej mierze ilość i jakość płodów rolnych. Właściwości gleb uprawnych limitują nie tylko opłacalność produkcji rolniczej, ale również wpływają na obciążenie środowiska naturalnego, szczególnie wód powierzchniowych znajdujących się w pobliżu upraw rolnych [Hillel 2012, Mocek 2015]. Na terenie Polski wśród gleb wykorzystywanych rolniczo przeważają, podatne na zakwaszenie gleby lekkie i bardzo lekkie, które wytworzyły się z bezwęglanowych osadów polodowcowych. Brak węglanów w skałach macierzystych przekłada się na odczyn gleb.

Dane Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowego Instytutu Badawczego (IUNG-PIB) wskazują, że ponad 2/3 gleb w Polsce charakteryzuje się odczynem kwaśnym i silnie kwaśnym. Tymczasem dla większości roślin uprawianych w Polsce optymalne wartości pH gleby powinny zawierać się w zakresie 6,5 do 7,5 [Bednarek i inni 2004]. Stąd jednym z podstawowych narzędzi umożliwiających podniesienie efektywności ekonomicznej gospodarstw rolnych jest zabieg wapnowania. Działania związane z podniesieniem efektywności ekonomicznej gospodarstw rolnych oraz ograniczeniem eutrofizacji wód powierzchniowych, w tym wapnowanie, wpisują się w *Strategiczny Plan dla Wspólnej Polityki Rolnej na lata 2023–2027*, który został zatwierdzony przez Komisję Europejską 31 sierpnia 2022 r. [*Plan Strategiczny dla Wspólnej... 2022*]. Plan ten opiera się na realizacji 9 celów szczegółowych:

- wspieranie godziwych dochodów gospodarstw i odporności sektora rolnictwa w całej Unii Europejskiej (UE) w celu zwiększenia długoterminowego bezpieczeństwa żywnościowego oraz różnorodności w rolnictwie, a także zapewnienia stabilności ekonomicznej produkcji rolnej w UE,
- zwiększenie zorientowania na rynek i konkurencyjność gospodarstw, zarówno w perspektywie krótkoterminowej, jak i długoterminowej,

w tym większe ukierunkowanie na badania naukowe, technologię i cyfryzację,

- poprawa pozycji rolników w łańcuchu wartości,
- przyczynianie się do łagodzenia zmiany klimatu i przystosowywania się do niej, w tym poprzez redukcję emisji gazów cieplarnianych i zwiększenie sekwestracji węgla, a także promowanie zrównoważonej energii,
- wspieranie zrównoważonego rozwoju i efektywnego zarządzania zasobami naturalnymi, takimi, jak woda, gleba i powietrze, w tym poprzez ograniczenie uzależnienia od produktów chemicznych,
- przyczynianie się do zatrzymania i odwrócenia procesu utraty różnorodności biologicznej, wzmacnianie usług ekosystemowych oraz ochrona siedlisk i krajobrazów,
- przyciąganie i wspieranie młodych rolników i innych nowych rolników oraz ułatwienie zrównoważonego rozwoju przedsiębiorczości na obszarach wiejskich,
- promowanie zatrudnienia, równości płci, w tym udziału kobiet w rolnictwie, włączenia społecznego i rozwoju lokalnego na obszarach wiejskich, w tym biogospodarki o obiegu zamkniętym i zrównoważonego leśnictwa,
- poprawa reagowania rolnictwa w krajach Unii Europejskiej na potrzeby społeczne dotyczące żywności i zdrowia, w tym na wysokiej jakości, bezpiecznej i pożywnej żywności produkowanej w sposób zrównoważony, ograniczenie marnowania żywności, jak również poprawa dobrostanu zwierząt i zwalczanie oporności na środki przeciwdrobnoustrojowe.

Poprawa efektywności ekonomicznej gospodarstw może być realizowana na wielu płaszczyznach. Warunkiem wyjściowym jest jednak poprawa jakości rolniczej przestrzeni produkcyjnej w zakresie parametrów gleb, które stanowią podstawę produkcji rolnej. To od jakości gleb wykorzystywanych przez rolników zależy m.in. jakość i ilość wytwarzanych płodów rolnych, opłacalność produkcji rolnej oraz jej wpływ na środowisko. Jakość gleby określa klasyfikacja bonitacyjna gleb, której zasady zostały określone w Rozporządzeniu Rady Ministrów z dnia 12 września 2012 r. w sprawie gleboznawczej klasyfikacji gruntów [Dz. U. 2012 poz. 1246]. Najważniejsze właściwości, które bezpośrednio wpływają na jakość gleby to między innymi skład granulometryczny gleb, zawartość próchnicy oraz odczyn gleby [Smreczak i inni 2017].

Rolnik w trakcie zabiegów agrotechnicznych może do pewnego stopnia wpływać na niektóre właściwości gleby. O ile trudno jest zmienić skład gra-

nulometryczny (jest to także nieopłacalne z ekonomicznego punktu widzenia), to podczas uprawy, dzięki zastosowaniu odpowiedniego płodozmianu i nawożenia organicznego, w dłuższej perspektywie czasowej, można utrzymać lub zwiększyć ilość próchnicy w glebie. Jednak najłatwiej i najszybciej, w trakcie zabiegów agrotechnicznych rolnik może zoptymalizować odczyn gleby poprzez zastosowanie zabiegu jej wapnowania. Dostosowanie odczynu gleby do potrzeb uprawianych roślin umożliwia poprawę efektywności ekonomicznej prowadzonej produkcji. W warunkach kwaśnego odczynu gleby, znacząco obniża się zarówno ilość, jak i jakość płodów rolnych, zwłaszcza roślin wrażliwych na zakwaszenie gleb, w tym zbóż, których uprawa jest związana z zapewnieniem bezpieczeństwa żywnościowego kraju. Przy założeniu, że rolnicy nie mają możliwości zmiany składu granulometrycznego gleb oraz podniesienia w nich zawartości próchnicy, to odczyn gleby będzie stanowił element bezpośrednio wpływający na wysokość plonów i opłacalność produkcji rolnej. Zakwaszenie gleb nie tylko wpływa negatywnie na efektywność ekonomiczną gospodarstw rolnych, ale w istotny sposób oddziałuje na środowisko. Kwaśny odczyn gleb użytkowanych rolniczo może powodować ograniczenie zdolności kompleksu sorpcyjnego do zatrzymywania mikro- i makroelementów wnoszonych do gleby wraz z nawozami mineralnymi, wymywanie składników nawozowych do wód, zwiększenie fitoprzyswajalności metali ciężkich, a także zmniejszenie aktywności różnych grup mikroorganizmów glebowych odpowiedzialnych za rozkład materii organicznej i jej odkładanie w postaci próchnicy.

Skala problemu zakwaszenia gleb uprawianych jest bardzo duża. W Polsce zaledwie 0,5% powierzchni użytków rolnych to gleby orne najlepsze, zaliczane do I klasy bonitacyjnej, które gwarantują uzyskanie pewnych plonów przy minimalnych nakładach na zabiegi agrotechniczne i nawożenie, w tym na wapnowanie. Niestety znaczna większość gleb użytkowanych przez rolników to gleby kwaśne, klasyfikowane w gorszych klasach bonitacyjnych, które wymagają większej ilości zabiegów agrotechnicznych, także systematycznego wapnowania. Znaczenie utrzymania optymalnego odczynu gleby w uprawach poszczególnych grup roślin było wielokrotnie poruszane zarówno w literaturze naukowej, popularnonaukowej w Polsce, jak i na świecie [Pierre i Scarseth 1931, Mehlich 1942, Pondel i inni 1991, Siuta 1974, Fotyma i Zięba 1988, Curyło 1996, Bednarek i Lipiński 1996, Dobrzański i Zawadzki 1995, Lipiński 2005, Filipek i inni 2015].

Szeroko zakrojone badania wpływu nawożenia odkwaszającego na gleby przeprowadzono w dużej skali w Polsce, w latach 70. i 80. XX. wieku [Boguszewski 1980, Fotyma i Zięba 1988]. Badania te zaowocowały opu-

blikowaniem podstawowych zaleceń nawozowych, obejmujących także odkwaszanie gleb. Pomimo, że zakwaszenie gleb jest istotnym problemem ekonomicznym i środowiskowym związanym z produkcją roślinną w Polsce, to zabiegi wapnowania nie są stosowane systematycznie przez wszystkich rolników, a poziom wapnowania jest ciągle zbyt niski. Nie wszyscy rolnicy wdrożyli do swoich praktyk nawyk kontrolowania pH gleb w stacjach chemiczno-rolniczych. Potwierdzają to wyniki *Powszechnego Spisu Rolnego 2020* oraz relatywnie niski poziom wykorzystania środków finansowych w ramach *Ogólnopolskiego programu regeneracji środowiskowej gleb poprzez ich wapnowanie* w latach 2019–2020. Zoptymalizowanie odczynu gleb, na których prowadzona jest produkcja roślinna, pozwoliłoby rolnikom łatwiej wpisać się w cele *Planu Strategicznego dla Wspólnej Polityki Rolnej na lata 2023–2027* poprzez:

- zwiększenie efektywności ekonomicznej gospodarstw rolnych,
- poprawę konkurencyjności gospodarstw na rynku,
- wspieranie zrównoważonego rozwoju w aspekcie ochrony wód powierzchniowych,
- przyczynienie się do zahamowania procesu utraty bioróżnorodności biologicznej wywołanej zanieczyszczeniami ze źródeł rolniczych.

Zwiększenie wysokości i jakości plonów spowodowałoby również zwiększenie bezpieczeństwa żywnościowego w kraju. Podniesienie poziomu nawożenia odkwaszającego ma także niebagatelne znaczenie w związku z regulacjami, jakie planowane są do wprowadzenia w ramach koncepcji tzw. Europejskiego Zielonego Ładu zakładającego m.in. obniżenie poziomu nawożenia mineralnego o 20,0% oraz zużycia pestycydów o 50,0%. Dzięki identyfikacji barier ograniczających wapnowanie możliwe będzie zaproponowanie rozwiązań wspierających stosowanie przez rolników nawozów w uprawach rolnych.

Próba identyfikacji barier związanych z niskim poziomem stosowania przez rolników nawozów odkwaszających bazowała na analizie danych Głównego Urzędu Statystycznego (GUS) oraz wyników *Powszechnego Spisu Rolnego 2020*. W Polsce istnieje silne zróżnicowanie przestrzenne produkcji roślinnej i jej intensywności. Bardzo zróżnicowany jest również poziom nawożenia gleb, zarówno mineralnego, jak i nawożenia odkwaszającego. Największe ilości nawozów wapniowych w 2020 r. zastosowano w województwie opolskim (średnio 146,5 kg CaO/ha UR), natomiast najniższe w małopolskim (średnio 52,4 kg CaO/ha UR). Duże zróżnicowanie wielkości nawożenia mineralnego (NPK) i odkwaszającego w poszczególnych regionach Polski uwarunkowane jest ich potencjałem glebowym, wie-

dzą i przyzwyczajeniami rolników oraz charakterystyką rozłogów gruntów rolnych.

Biorąc pod uwagę genezę gleb użytkowanych rolniczo w Polsce, brak węglanów w większości ich skał macierzystych oraz intensywność upraw należy bezsprzecznie stwierdzić, że ilości w jakich stosuje się nawozy odkwaszające są zbyt niskie, aby zapewnić odpowiednie warunki do uzyskania znacznie wyższych plonów płodów rolnych o dobrej jakości. Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach (IUNG-PIB) szacuje, że zapotrzebowanie krajowego rolnictwa na wapno wynosi około 31 mln t CaO, czyli przeciętnie około 2 t CaO/ha UR w skali roku. Oznacza to, że ilości nawozów wapniowych stosowanych przez rolników w Polsce są od kilkunastu do ponad 38-krotnie mniejsze niż być powinny.

Bardzo niskie zainteresowanie bezpłatnym programem wapnowania w ramach *Ogólnopolskiego programu regeneracji środowiskowej gleb poprzez ich wapnowanie* potwierdza Krajowa Stacja Chemiczno-Rolnicza (KSChR) w Warszawie. Według danych z dnia 08 lutego 2022 r. całkowita ilość wniosków złożonych w ramach bezpłatnego programu wapnowania gleb w latach 2019–2021 wyniosła 34 094. Ta ilość stanowi niewielki odsetek z zarejestrowanych w Polsce 1 317 000 gospodarstw rolnych. Powyższe dane wskazują, że należy zidentyfikować czynniki, które ograniczają wykorzystanie przez rolników nawożenia gleb nawozami wapniowymi. Należy również zaproponować sposób rozwiązania tego problemu.

W podjętych przez pracowników Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie badaniach wyróżnić można trzy cele szczegółowe:

- poznanie opinii rolników oraz pracowników instytucji okołorolniczych na temat możliwości i barier stosowania nawozów wapniowych,
- próba oceny efektywności ekonomicznej gospodarstw towarowych w zależności od stosowanego poziomu nawożenia gleb nawozami wapniowymi oraz identyfikacja czynników w największym stopniu oddziałujących na wyniki ekonomiczne tych gospodarstw,
- opracowanie metodyki modelu informatycznego umożliwiającego badanie wpływu wapnowania gleb na eutrofizację wód powierzchniowych (dla zadanego obszaru w skali wsi lub fragmentu wsi stanowiącego zlewnię określonego cieku wodnego lub wód stojących).

Realizacji celu głównego oraz celów szczegółowych towarzyszyła próba znalezienia odpowiedzi na następujące pytania badawcze:

- Jakie czynniki powodują, iż obecny poziom wapnowania gleb nie jest wystarczający?
- Jaki jest obecnie poziom wiedzy wśród rolników i pracowników instytucji okołorolniczych na temat efektów wapnowania gleb?

- Czy znane są rolnikom i pracownikom instytucji okołorolniczych programy wspierające wapnowanie gleb?
- Jakie są czynniki, wskutek których rolnicy nie wykorzystują w satysfakcjonującym stopniu programu wsparcia wapnowania gleb?
- W jaki sposób na przyszłość gospodarstw rolnych wpłynie realizacja założeń koncepcji Europejskiego Zielonego Ładu (EZŁ)?

W podjętych badaniach założono, że dzięki identyfikacji czynników, które wpływają na niski poziom stosowania przez rolników nawozów wapniowych, możliwe będzie wyeliminowanie lub ograniczenie tego zjawiska. W wyniku realizacji założonych w badaniach celów oraz promocji ich wyników powinno nastąpić zwiększenie wykorzystania nawozów wapniowych (również wapniowo-magnezowych) do odkwaszania gleb użytkowanych rolniczo. Kluczowe efekty realizacji badań będą miały charakter długofalowy i wielopłaszczyznowy, a uzyskane wyniki badań powinny przyczynić się do:

- zwiększenia wiedzy rolników i pracowników instytucji okołorolniczych oraz decydentów na temat znaczenia zabiegu wapnowania gleb i jego wpływu na poprawę efektywności ekonomicznej prowadzenia działalności rolniczej oraz wpływu wapnowania gleb na poprawę jakości środowiska, co pozwoli zweryfikować poziom wapnowania gleb użytkowanych rolniczo oraz stosowanych dotychczas narzędzi służących poprawie tej sytuacji,
- identyfikacji barier oraz możliwości zwiększenia poziomu wapnowania gleb, a tym samym poprawy efektywności ekonomicznej funkcjonowania gospodarstw rolnych oraz jakości wód gruntowych,
- dostarczenia wytycznych do konstrukcji nowych, skuteczniejszych programów regeneracji środowiskowej gleb poprzez ich wapnowanie.

1.2. Materiały źródłowe

Biorąc pod uwagę założone cele badawcze oraz zakres podjętych prac koniecznych do ich realizacji, niezbędnym było skorzystanie z licznych źródeł informacji, zarówno o charakterze wtórnym, jak i pierwotnym. W ramach przeprowadzonych badań dokonano analizy danych pierwotnych i wtórnych, ponieważ skonfrontowanie tych dwóch źródeł danych dostarczyło pełniejszego obrazu badanego zjawiska. Prace prowadzono w układzie dwustopniowym, opartym o studia literaturowe oraz badania empiryczne. Pierwszą i zarazem wyjściową płaszczyznę warunkującą zakres przedmiotowy, podmiotowy i przestrzenny prowadzonych badań stanowiła analiza

polskiej i zagranicznej literatury przedmiotu, w tym wykorzystanie danych wtórnych. Analiza danych wtórnych w naukach społecznych jest takim sposobem prowadzenia czynności badawczych, który polega na ponownym analizowaniu danych surowych, zastanych i uprzednio zarchiwizowanych oraz zebranych przez innych autorów w ramach ich projektów badawczych [Hinds i inni 1997, Corti i Thompson 2007, Bartnikowska i inni 2017].

Punktem wyjścia przygotowania i realizacji badań w obszarze wykorzystania danych wtórnych były wyniki przeprowadzonego w 2020 r. Powszechnego Spisu Rolnego. Ponadto, w szerokim zakresie wykorzystano materiały publikowane przez instytuty badawcze, instytucje otoczenia rolnictwa, w tym Agencję Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa, Stacje Chemiczno-Rolnicze oraz statystykę publiczną (Główny Urząd Statystyczny i Wojewódzkie Urzędy Statystyczne). Podstawowym źródłem informacji były także dane pozyskane z Polskiego FADN, gromadzone i administrowane przez Instytut Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej – Państwowy Instytut Badawczy (IUNG-PIB) w Warszawie. Dla potrzeb prowadzonych badań wyselekcjonowano podmioty o powierzchni minimum 1 ha UR, dla których dostępne były standardowe dane produkcyjno-ekonomiczne nieprzerwanie w okresie 2010–2020.

Druga płaszczyzna badawcza, obejmująca kwestie poznania opinii rolników oraz pracowników instytucji okołorolniczych na temat możliwości i barier stosowania nawozów wapniowych, wymagała pozyskania danych pierwotnych. Zbieranie danych ze źródeł pierwotnych było najbardziej pracochłonnym etapem procesu badawczego. Dane pierwotne są informacjami, które zostają zebrane w określonym celu lub na użytek konkretnego projektu badawczego. Charakteryzują się oryginalnością, niepowtarzalnością informacji oraz niedostępnością dla innych jednostek. Służą zwykle do szczegółowego opisu badanego zagadnienia. Źródła te mają charakter empiryczny, gdyż opierają się na empirycznych metodach badawczych [Kisiel 2000]. Zbieranie danych ze źródeł pierwotnych odbywa się zwykle „w terenie”, czyli tam, gdzie te źródła się znajdują. Do źródeł pierwotnych zalicza się ludzi i rzeczy (tj. zjawiska i zdarzenia), a dane zbiera się z tych źródeł przez pomiar ich cech [Kaczmarczyk 2014].

Na potrzeby realizacji operacji i przyjętych w niej celów badawczych zaprojektowane zostały dwa kwestionariusze ankiet, tj.:

- kwestionariusz ankiety „Możliwości i bariery stosowania nawozów wapniowych według rolników” (zwany dalej: Ankieta 1),
- kwestionariusz ankiety „Możliwości i bariery stosowania nawozów wapniowych według ekspertów” (zwany dalej: Ankieta 2).

Kwestionariusz ankiety „Możliwości i bariery stosowania nawozów wapniowych według rolników” (Ankieta 1) adresowany był do właścicieli gospodarstw rolnych zlokalizowanych w przyjętych do badań powiatach (w ramach 4 wytypowanych województw). Ankieta składała się z kilku części. W treści kwestionariusza zamieszczono pytania pozwalające na charakterystykę respondenta i jego gospodarstwa (tzw. metryczka) oraz na dokonanie ogólnej oceny badanych gospodarstw. Kluczową część kwestionariusza stanowiły pytania z zakresu dotychczasowych praktyk podejmowanych przez respondentów w aspekcie badania odczynu i wapnowania gleby, a także ich wiedzy na temat efektów i korzyści płynących z niniejszych zabiegów.

Istotną część ankiety poświęcono identyfikacji czynników ograniczających lub utrudniających stosowanie nawozów wapniowych w gospodarstwach. W kwestionariuszu zwrócono uwagę na znajomość obecnie dostępnego programu wsparcia stosowania nawozów wapniowych oraz identyfikację czynników (barier) ograniczających wapnowanie. Podjęto również próbę identyfikacji i oceny wpływu otoczenia (instytucji współpracujących bezpośrednio z rolnikami) na propagowanie stosowania nawozów wapniowych. Element dopełniający badania rolników stanowiły pytania pozwalające na pozyskanie materiału badawczego umożliwiającego wskazanie, w jaki sposób na przyszłość gospodarstw rolnych wpłynie realizacja założeń koncepcji Europejskiego Zielonego Ładu.

Kwestionariusz ankiety „Możliwości i bariery stosowania nawozów wapniowych wg ekspertów” (Ankieta 2) adresowano z kolei do pracowników instytucji okołorolniczych (tzw. ekspertów). Do udziału w badaniu ankietowym zaproszono przede wszystkim pracowników ośrodków doradztwa rolniczego (ODR), terenowych jednostek Agencji Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa (ARiMR), samorządów terytorialnych, terenowych jednostek Państwowej Inspekcji Ochrony Roślin i Nasiennictwa, jednostek Wód Polskich oraz nauczycieli szkół rolniczych, działających na wyznaczonym obszarze badawczym, tj. po 2 powiaty z 4 przyjętych do badań województw. Konstrukcja tego kwestionariusza ankiety była podobna do Ankiety 1, dzięki czemu możliwe było dokonanie porównań (rolnik-ekspert) w obrębie analizowanych obszarów badawczych.

Zawarte w kwestionariuszu zagadnienia dotyczyły m.in. kwestii oceny przez respondentów praktyk podejmowanych przez lokalnych rolników w aspekcie badania odczynu i wapnowania gleby, identyfikacji czynników ograniczających lub utrudniających stosowanie nawozów wapniowych przez rolników oraz znajomości i poglądów ekspertów nt. konstrukcji *Ogólnopolskiego programu regeneracji środowiskowej gleb poprzez ich wapnowa-*

nie. Analogicznie, respondenci z tej grupy badawczej zostali też poproszeni o udzielenie odpowiedzi na pytania dotyczące oceny wpływu otoczenia instytucjonalnego na informowanie i propagowanie stosowania nawozów wapniowych wśród rolników. Wprowadzone różnice w konstrukcji kwestionariusza wynikały głównie z konieczności dostosowania pytań do zakresu sprawowanych przez eksperta obowiązków służbowych. Badania ankietowe prowadzone wśród ekspertów, jako z założenia mniej liczne, stanowiły źródło wiedzy uzupełniającej, cennej z punktu widzenia prowadzonych badań.

Wybór sposobu przeprowadzenia badań ankietowych wśród rolników i pracowników instytucji okołorolniczych został dostosowany do warunków lokalnych panujących w wybranych obszarach badawczych. Dotychczasowe doświadczenia autorów wskazują, iż potencjalni respondenci niechętnie biorą udział w badaniach, gdy są do nich zapraszani przez osoby obce. Trudno również oczekiwać otwartości i chęci wzięcia udziału w badaniach prowadzonych przez Internet w przypadku osób w starszym wieku oraz osób aktywnych zawodowo. Dlatego zdecydowano się na wykorzystanie w prowadzonych badaniach autorytetu liderów lokalnych, takich jak sołtysi, samorządowcy, delegaci izb rolniczych czy nauczyciele szkół rolniczych. Osoby takie są zazwyczaj obdarzone zaufaniem społeczności lokalnych, więc ich zaangażowanie w przeprowadzenie badań przy wykorzystaniu papierowego formularza ankiety stanowiło istotny czynnik sukcesu prowadzonych wywiadów (w szczególności dużego odsetka wypełnionych formularzy ankiet). Badania ankietowe przeprowadzono wśród:

- właścicieli gospodarstw rolnych (rolników) – łącznie rozdysponowano około 1 000 formularzy Ankiety 1, z czego wypełnionych i zwróconych organizatorom badań zostało 486, a do dalszych analiz po weryfikacji poprawności wypełnienia zakwalifikowano 443,
- pracowników instytucji okołorolniczych (tzw. ekspertów) – łącznie rozdysponowano około 500 formularzy Ankiety 2, a do dalszych analiz po weryfikacji poprawności wypełnienia wykorzystano 325.

Realizacja założonych celów badawczych wymagała zastosowania kilkietapowego schematu doboru obiektów badań. Zgodnie z przyjętymi założeniami punkt wyjścia dla przeprowadzenia badań terenowych (ankietowych) oraz analiz statystyczno-ekonomicznych w ujęciu przestrzennym, stanowiły cztery regiony/województwa: małopolskie, opolskie, podkarpackie, zachodniopomorskie. Regiony te charakteryzują się zdecydowanie odmiennymi uwarunkowaniami środowiskowymi, strukturalnymi i historycznymi, co istotnie wzbogaciło spektrum przeprowadzonych badań oraz poszerzyło możliwość analiz i wnioskowania. Jak wynikało z analiz prezen-

towanych w podrozdziale 1.4. są to również województwa znacznie zróżnicowane pod względem poziomu nawożenia wapniowego. W 2020 r. województwa małopolskie i podkarpackie należały do regionów o najniższych dawkach stosowanych nawozów wapniowych (odpowiednio 51,7 kg oraz 71,9 kg CaO na ha UR). Na drugim biegunie uplasowało się województwo opolskie, w którym średni poziom tego typu nawożenia był najwyższy i wynosił 144,4 kg CaO na ha UR. W województwie zachodniopomorskim średnia dawka CaO na ha UR wynosiła natomiast 97,3 kg [Nicia i inni 2022].

Dla uzyskania większego stopnia szczegółowości przyjęto, że do badań terenowych (ankietowych) wytypowane zostaną po dwa powiaty zlokalizowane na obszarze wyżej wymienionych województw. W każdym z regionów wybrano zatem po jednym z powiatów charakteryzujących się relatywnie wysokim oraz niskim poziomem nawożenia wapniowego (CaO). W procedurze wyboru powiatów uwzględniono również inne czynniki, tj.: sposób użytkowania gruntów, strukturę użytków rolnych, czy możliwości logistyczne przeprowadzenia badań ankietowych. Zakres przestrzenny analiz warunkowany był także dostępnością informacji publikowanych w ramach ogólnodostępnych baz statystyki masowej (GUS), jak również wynikał z przepisów określających możliwości publikowania wyników badań opracowanych na podstawie informacji gromadzonych w ramach europejskiego systemu zbierania danych rachunkowych z gospodarstw rolnych (FADN). Uwzględniając wyżej wymienione kryteria do jednostek samorządu terytorialnego, w których przeprowadzono badania terenowe (ankietowe) zaliczono powiaty: oświęcimski oraz nowosądecki (województwo małopolskie), prudnicki oraz opolski (województwo opolskie), jarosławski oraz jasielski (województwo podkarpackie), łobeski oraz drawski (województwo zachodniopomorskie).

Do badań zaproszono właścicieli gospodarstw rolnych zlokalizowanych w wytypowanych, dobranych w sposób celowy powiatach. Struktura respondentów analizowana z punktu widzenia niniejszego kryterium kształtowała się dosyć podobnie i obejmowała kilkanaście procent rolników reprezentujących dany obszar terytorialny. Najwięcej, bo aż 74 respondentów pochodziło z powiatu prudnickiego, stanowiąc tym samym 17,1% całej próby badawczej. Najmniejszy udział w badaniach, wynoszący 11,0% ogółu ankietowanych stanowili rolnicy reprezentujący powiaty: łobeski, opolski i oświęcimski. Analizując liczbę właścicieli gospodarstw rolnych biorących udział w badaniach w stosunku do liczby wszystkich gospodarstw w poszczególnych powiatach należy podkreślić, iż najwięcej rolników z regionu reprezentowali respondenci z powiatu łobeskiego (4,7% ogółu gospo-

darstw), następnie z powiatu prudnickiego (3,5% ogółu gospodarstw) oraz z powiatu drawskiego (3,3% ogółu gospodarstw). W pozostałych powiatach udział ten wynosił od 2,0% do 0,4%. Analizując respondentów pod względem stażu pracy, a tym samym doświadczenia można było zauważyć, iż dominujący udział w próbie stanowili rolnicy prowadzący swoje gospodarstwa od 21 do 40 lat. Duży odsetek stanowili rolnicy deklarujący staż pracy w gospodarstwie nie przekraczający 20 lat (łącznie 53,0%), z czego aż blisko 1/5 wskazała, iż pracuje w rolnictwie nie dłużej niż 10 lat.

Najliczniejszą grupę respondentów w próbie badawczej ekspertów stanowili pracownicy urzędów gmin (37,0%) zajmujący się bezpośrednio kwestiami rolnictwa i obszarów wiejskich. Relatywnie wysoki odsetek badanych stanowili także eksperci z ośrodków doradztwa rolniczego (ODR) oraz pracownicy tzw. innych instytucji branżowych, w tym głównie nauczyciele/praktycy ze szkół rolniczych. Warto w tym miejscu podkreślić, iż w badaniach wzięli udział przedstawiciele wszystkich założonych w procesie badawczym instytucji okołorolniczych. Ważnym elementem charakteryzującym badaną populację ekspertów było kryterium stażu pracy w danej instytucji. Długoletnie doświadczenie zawodowe pozwala bowiem na szersze spektrum postrzegania analizowanej problematyki przez respondenta, a dla badacza jest źródłem cennych informacji i spostrzeżeń. Z tego punktu widzenia struktura analizowanej próby ukształtowała się zadowalająco. Blisko 1/4 respondentów deklarowała długi staż pracy przekraczający 20 lat. Równie wysoki odsetek respondentów charakteryzował się bogatym doświadczeniem zawodowym obejmującym od 11 do 20 lat pracy.

Wyniki badań ankietowych przeprowadzonych wśród 433 rolników i 325 ekspertów zostały uzupełnione informacjami pochodzącymi z wywiadów pogłębionych. W trakcie wyjazdów terenowych oprócz badań ankietowych prowadzono również rozmowy z wybranymi pracownikami instytucji okołorolniczych i rolnikami, mające na celu głębsze poznanie badanego zjawiska. Na potrzeby wywiadów pogłębionych opracowano dwa oddzielne zestawy pytań. Główną oś rozmowy z ekspertami obejmowały następujące kwestie:

- Jaki Pani/Pana zdaniem jest obecnie poziom wiedzy wśród rolników na temat efektów wapnowania gleb?
- Jaki Pani/Pana zdaniem jest obecnie poziom wiedzy wśród pracowników instytucji okołorolniczych na temat efektów wapnowania gleb?
- Czy Pani/Pana zdaniem znane są rolnikom i pracownikom instytucji okołorolniczych programy wspierające wapnowanie gleb?

- Jakie są Pani/Pana zdaniem czynniki, wskutek których rolnicy nie wykorzystują w satysfakcjonującym stopniu programów wsparcia wapnowania gleb?
- W jaki sposób Pani/Pana zdaniem na przyszłość gospodarstw rolnych wpłynie realizacja założeń koncepcji Europejskiego Zielonego Ładu?
- Czy wedle Pani/Pana dotychczasowych doświadczeń i obserwacji w rozmowach z rolnikami w ramach konsultacji/doradztwa poruszany jest temat wapnowania?
- Czy wedle Pani/Pana dotychczasowych doświadczeń i obserwacji rolnicy często pytają o wysokość dawek nawozów odkwaszających i częstotliwość tego zabiegu?
- Czy w ostatnich 5 latach Instytucja, którą Pani/Pan reprezentuje organizowała szkolenia na których omawiano tematykę wapnowania gleb?
- Czy szkolenia związane z tematyką wapnowania są potrzebne i czy rolnicy Pani/Pana zdaniem będą nimi zainteresowani?

Zestaw zagadnień stanowiących główny schemat wywiadów z rolnikami obejmował pytania:

- Co sądzi Pani/Pan o potrzebach wapnowania gleby?
- Jak często badała/ł Pani/Pan gleby pod kątem potrzeb ich wapnowania (pomiar pH gleby wraz z określeniem potrzeb wapnowania w stacji chemiczno-rolniczej)?
- Czy według Pani/Pana procedura ubiegania się o dofinansowanie do wapnowania gleb jest łatwa i prosta dla rolnika?
- Jakie czynniki Pani/Pana zdaniem wpływają na to, że nie stosuje się nawożenia odkwaszającego?

1.3. Metodyka badań

W celu identyfikacji barier nawożenia gleb nawozami odkwaszającymi zastosowano tabele przestawne oraz model drzewa klasyfikacyjnego CART. Tabele przestawne to dostępne w arkuszu kalkulacyjnym narzędzie służące do organizowania i analizowania dużych zbiorów danych w formie tabelarycznej. Tabela taka pozwala nie tylko na szybkie przeglądanie, filtrowanie i agregowanie danych, ale także identyfikowanie trendów, wzorców i anomalii w danych. Wykorzystując tabele przestawne można eksplorować dane, rozpoznawać istniejące w nich ukryte prawidłowości, ustalać relacje między różnymi czynnikami. Tabela przestawna może być zatem elementem stanowiącym punkt wyjścia do wstępnych analiz danych, ich podsu-

mowań i raportów. Tworzenie tabeli przestawnej sprowadza się do wyboru pól, które badacz zamierza uwzględnić w analizie, a następnie przeciągania i upuszczania ich w odpowiednie miejsca okienka dialogowego – kreatora tabeli. Zważywszy na te właściwości tabele przestawne uznaje się za bardzo przydatne narzędzie w analizie danych zebranych za pomocą ankiet. Po zebraniu formularzy wypełnionych przez respondentów i wprowadzeniu ich do arkusza kalkulacyjnego w postaci bazy, tabele przestawne umożliwiają zarówno wstępne, jak i wnikliwe zbadanie odpowiedzi na poszczególne pytania (np. przez pryzmat cech respondenta z metryczki lub w kontekście odpowiedzi udzielonych na inne pytania merytoryczne).

Taka metodyka pozwala stosunkowo łatwo ustalić jakie czynniki wpływały na odpowiedzi respondentów i jakie okoliczności towarzyszyły udzielanym odpowiedziom. Najpopularniejszym zastosowaniem tabeli przestawnej jest prezentacja częstości odpowiedzi na poszczególne pytania i przeprowadzanie ich analiz krzyżowych. Ale badacz ma do dyspozycji także szeroki wybór innych opcji. W tabelach takich można zestawiać sumy wartości, liczby obserwacji, wartości średnie, maksymalne bądź minimalne, odchylenia standardowe, iloczyny i wiele innych.

Należy też zwrócić uwagę na fakt, że tabela przestawna pozwala na identyfikację brakujących danych (puste pola) i wykrywanie błędów w ankietach. Mając na uwadze zarówno wielkość próby w badaniu ankietowym nt. możliwości i barier stosowania nawozów wapniowych wg rolników (433 respondentów z 8 powiatów), jak i szczegółowość ankiety (35 pytań, w tym 3 rozbudowane pytania tabelkowe i 9 przewidujących możliwość udzielenia przez respondenta kilku jednocześnie odpowiedzi) liczone się z możliwością wystąpienia pustych pól. Ankieta dotycząca tego samego zagadnienia skierowana do ekspertów (pracowników instytucji okołorolniczych) była również obszerna. Liczyła 22 pytania, w tym 1 rozbudowane tabelkowe i 5 przewidujących możliwość udzielenia przez respondenta kilku jednocześnie odpowiedzi). Ankietą tą objęto grupę 325 ekspertów reprezentujących, aż 13 instytucji o różnym zasięgu przestrzennym. W tym kontekście tabela przestawna to narzędzie, którym (obok sortowania danych i stosowania autofiltrów) wręcz należy poprzedzić szczegółowsze analizy i modelowanie.

Efekty wapnowania zwykle wykraczają poza jeden sezon. Działanie nawozów wapniowych ujawnia się w największym stopniu w drugim lub nawet dopiero trzecim roku po ich zastosowaniu, a zatem w obliczu wielu innych zmiennych czynników, rolnikowi wcale nie będzie tak łatwo skojarzyć przyczynę (zabieg wapnowania) ze skutkiem (wzrost plonów). Choć nawożenie wapniowe wymaga poniesienia dodatkowych nakładów, to jed-

nak w kategoriach nakład-efekt należy na ten zabieg agrotechniczny spojrzeć jako na ważny element optymalizacji kosztów w gospodarstwie. Właściwy odczyn gleby daje rolnikowi możliwość stosowania niższych dawek nawozów i środków ochrony roślin bez utraty efektywności gospodarowania. Akcentuje się też, że odczyn zbliżony do obojętnego blokuje powstawanie w glebie związków szkodliwych dla roślin, a więc w sposób pośredni przyczyni się do ich lepszej zdrowotności. Tymczasem z doniesień i opracowań branżowych, a także z danych statystycznych wynika, że wapnowanie nie jest w polskim rolnictwie odpowiednio doceniane. Jak podaje portal Farmer.pl, udział gleb kwaśnych wynosi w Polsce, aż 60,0%. Najniższy, choć wcale nie mały, jest on w województwie opolskim (35,0%). Ale już w województwie podkarpackim dotyczy on 76,0% gleb. W tym kontekście konsternację budzi fakt, że zużycie wapna w skali kraju zaspokaja rocznie tylko 1/3 faktycznego zapotrzebowania. W niektórych regionach średnie zużycie wapna wynosi zaledwie kilkadziesiąt kg/ha, podczas gdy typowe jednostkowe dawki wapnowania podawane są w tonach. W sposób oczywisty nasuwa się więc pytanie: dlaczego rolnicy nie wapnują swoich gleb i jakie są motywy zaniechania tego ważnego zabiegu agrotechnicznego? Zbadano więc szczegółowo strukturę odpowiedzi udzielonych przez rolników na pytanie o częstotliwość wykonywania wapnowania.

Sformułowano trzy główne strategie wapnowania stosowane przez rolników:

- systematyczne wapnowanie gruntów w gospodarstwie rolnym (mogło się ono odbywać rutynowo co roku, ale też mogło być wynikiem stwierdzenia niskiego odczynu gleby, a także być realizowane na wybranych polach, tak aby każde pole było wapnowane przynajmniej raz na 3–5 lat),
- sporadyczne wapnowanie (była to strategia bardziej zachowawcza, która polegała na rzadszym, nieregularnym wapnowaniu gleb, a także wapnowaniu podejmowanym ze względu na pojawiającą się możliwość okazjonalnego zakupu nawozu),
- brak wapnowania (strategia ta polegała na minimalizacji kosztów produkcji przejawiającej się w otwarciu wskazywanej przez rolnika rezygnacji z wapnowania).

Strategie te przeanalizowano w tabeli przestawnej w kontekście głównych czynników ograniczających wapnowanie wskazywanych przez rolników. Biorąc pod uwagę złożoność problemu (wielość motywów i czynników determinujących decyzje rolników), podjęto także próbę głębszej analizy barier wapnowania gleb wykorzystując model drzewa klasyfikacyj-

nego CART. Modele takie wskazuje się jako szczególnie przydatne w analizie danych ankietowych [Łapczyński 2010].

Proces tworzenia klasyfikacyjnego drzewa interakcyjnego sprowadzał się do poszukiwań możliwości podziału danej zbiorowości (w tym przypadku 433 rolników, którzy wzięli udział w badaniu ankietowym) na coraz mniejsze podzbiory-węzły (możliwie najbardziej jednorodne wewnętrznie), lecz maksymalnie różniące się między sobą (w tym przypadku stosowaną strategią wapnowania). Zmienna objaśniana (wapnowanie) przyjmowała trzy warianty zgodnie z przyjętą w niniejszym rozdziale klasyfikacją:

- systematycznie (330 przypadków, tj. 76,2% ogółu),
- sporadycznie (58 przypadków, tj. 13,4% ogółu),
- brak wapnowania (45 przypadków tj. 10,4% ogółu).

Wewnętrzna jednorodność podzbioru oznacza, że występuje w nim tylko jedna klasa zmiennej objaśnianej. Przykładowo jednorodność taka miałaby miejsce, gdyby podzbiór został wydzielony wg wariantu cechy jakościowej (np. główne źródło utrzymania) bądź wartości cechy ilościowej (np. udział zbóż w powierzchni ogółem) w taki sposób, że objąłby wyłącznie grupę rolników deklarujących systematyczne stosowanie zabiegu wapnowania. Zwykle jednak w metodzie drzew klasyfikacyjnych w wygenerowanych węzłach pojawić się może więcej niż jedna klasa zmiennej objaśnianej. W terminologii drzew klasyfikacyjnych mówi się wówczas o zanieczyszczeniu węzła. Im mniej wyraźna będzie dominacja jednej klasy nad innymi, tym większe będzie zanieczyszczenie węzła. Powszechnie uznaną miarą niejednorodności węzła drzewa klasyfikacyjnego CART jest indeks Gini (G) [Dacko i inni 2023]. Biorąc pod uwagę, że w interakcyjnym modelu istnieje możliwość zaawansowanej modyfikacji struktury drzewa, a tym samym oddziaływania na indeks Gini, poniżej zostanie wyjaśnione jego zastosowanie w algorytmie drzew CART [Breiman i inni 1984, Loh 2011]:

$$G = \sum_{i=1}^C p(i) * (1 - p(i))$$

gdzie: C – liczba klas, p(i) – prawdopodobieństwo klasy i.

Indeks Gini przyjmuje wartości od 0 (czystość klasyfikacji) do 1 (losowy rozkład obserwacji między różnymi klasami). Jeśli natomiast zachodzi równy rozkład obserwacji w poszczególnych klasach, to miara ta wynosi 0,5. Na podstawie tego indeksu algorytm drzewa CART wylicza dla każdego kolejnego podziału wielkość tzw. zysku Gini dla każdego predyktora wprowa-

dzionego do modelu. Zysk Gini jest różnicą między obliczonym indeksem Gini dla węzła nadrzędnego a sumą iloczynów frakcji¹ i indeksów Gini dla węzłów podrzędnych. Zysk Gini określa zatem ilość zanieczyszczeń, które zostaną usunięte poprzez dokonanie podziału przy użyciu danego predyktora. Im większy jest zysk Gini tym lepszy jakościowo jest podział. Dlatego miara ta podlega maksymalizacji z każdą iteracją w celu uzyskania możliwie najczystszych kolejno tworzonych węzłów drzewa klasyfikacyjnego. Ta filozofia działania klasyfikacyjnych modeli CART nabiera szczególnego znaczenia w przypadku ich wariantu interakcyjnego. Algorytm budowy drzewa interakcyjnego analizuje wszelkie możliwe podziały, które mogłyby odbyć się wg przedziałów wartości predyktorów ilościowych lub klas predyktorów jakościowych² [Czarnecki i inni 2023]. Dodatkowo moduł drzew interakcyjnych umożliwia analizę wrażliwości, prezentując na wykresach zysk Gini jako funkcję wartości predyktora ilościowego.

Badacz, wykorzystując swoją wiedzę i doświadczenie, ma tutaj możliwość weryfikacji każdego podziału, jego modyfikacji, usunięcia lub dalszego rozwinięcia. Dla każdego podziału przy wykorzystaniu wyżej opisanej metodyki obliczane są wartości zysku Gini (nazywane w drzewach interakcyjnych statystykami poprawy), które precyzyjnie odzwierciedlają redukcję zanieczyszczenia danego węzła możliwą do osiągnięcia w efekcie zastosowania podziału tego węzła wg każdego predyktora. Następnie predyktory zostają uporządkowane względem wartości zysku Gini, a do podziału wytypowany zostaje predyktor o największej wartości tej statystyki. O ile w metodzie ogólnych drzew klasyfikacyjnych optymalne drzewo zostaje wytypowane automatycznie z sekwencji drzew o rosnącej złożoności i nie ma możliwości ingerencji w jego strukturę, to w metodzie drzew interakcyjnych predyktor wytypowany automatycznie przez algorytm obliczeniowy może w efekcie oceny eksperckiej zostać zastąpiony innym, np. mającym nieznacznie gorszą wartość zysku Gini, ale pozwalającym na lepszą interpretację merytoryczną badanego problemu [Czarnecki i inni 2023]. W przypadku drzew interakcyjnych CART istnieją więc ogromne możliwości łączenia wiedzy eksperckiej z zaawansowanym algorytmem poszuki-

¹ Odsetek obserwacji w węzłach podrzędnych.

² Rzadziej dzięki temu zachodzi konieczność przetwarzania zmiennych objaśniających (w zasadzie możliwe jest zbudowanie modelu przy wykorzystaniu bezpośrednich wyników ankiet – tj. udzielonych odpowiedzi słownych np. „zdecydowanie tak” lub liczb np. „250 kg/ha”).

wania kryteriów binarnego podziału zgromadzonych obserwacji na coraz mniejsze i bardziej wewnątrznie jednorodne podgrupy.

Celem opracowanego modelu drzewa była próba podziału zbiorowości rolników na mniejsze, możliwie jednorodne grupy, w których dominiować będzie określona strategia wapnowania. Oczekiwano przy tym, że kryteria wydzielania tych grup przyczynią się do wyjaśnienia barier wapnowania. W związku z tym szczególnie interesujące wydawały się grupy rolników sporadycznie stosujących ten zabieg agrotechniczny (13,4% respondentów) lub nie stosujące go w ogóle (10,4% respondentów). Opracowując model drzewa klasyfikacyjnego CART przyjęto, że koszty błędnych klasyfikacji będą równe (nie faworyzowano przewidywać żadnej z deklarowanych strategii). Dopasowanie modelu oceniano wg opisanego powyżej indeksu i zysku Gini. Wybrano najpopularniejszą regułę stopu (tj. zatrzymania procesu budowy kolejnych węzłów drzewa) poprzez przycinanie przy błędnie złej klasyfikacji. Mając na uwadze stosunkowo mniej liczne przypadki zupełnego zaniechania wapnowania lub podejmowania tego zabiegu jedynie sporadycznie przyjęto, że węzły końcowe będą składać się z co najmniej 5 obserwacji (tj. minimalnej liczby obserwacji w węzle końcowym wg sugestii twórców algorytmu CART) [Breiman i inni 1984]. Natomiast kontrola jakości uzyskiwanych wyników była prowadzona typowo: przy wykorzystaniu V-krotnego sprawdzianu krzyżowego dla $V=10$ [Sroka i Dacko 2010].

1.4. Charakterystyka obiektów badań

Realizacja założonych w opracowaniu celów badawczych wymagała zastosowania kilkuetapowego doboru obiektów badań. W pierwszym etapie badań, w celu zapewnienia większego poziomu reprezentatywności uzyskanych wyników, tak aby mogły być one transponowane na obszar całego kraju, wszystkie powiaty ziemskie w Polsce (314 jednostek) podzielono na cztery grupy (A, B, C, D) o zróżnicowanym poziomie zużycia nawozów wapniowych (w kg CaO/ha UR). Podział ten posłużył do sprawdzenia, w jakim stopniu analizowane obszary reprezentują badane zjawisko na tle całej zbiorowości powiatów ziemskich w Polsce. Wytypowane do badań terenowych oraz analiz szczegółowych jednostki terytorialne (powiaty) charakteryzowały się zróżnicowanym poziomem nawożenia wapniowego, co warunkowało jednocześnie ich przynależność do różnych grup (A, B, C, D) (mapa 1).



Objaśnienia do mapy: A – powiaty o najwyższym poziomie nawożenia CaO, B – powiaty o średnim poziomie nawożenia CaO, C – powiaty o niskim poziomie nawożenia CaO, D – powiaty ziemskie o najniższym poziomie nawożenia CaO.

Mapa 1. Lokalizacja powiatów wytypowanych do przeprowadzenia badań ankietowych

Źródło: Nicia i inni 2022.

Powiat oświęcimski (221,3 kg CaO/ha UR), prudnicki (176,3 kg CaO/ha UR), jarosławski (197,4 kg CaO/ha UR) oraz łobeski (145,8 kg CaO/ha UR) zakwalifikowano bowiem do grupy jednostek o najwyższym poziomie nawożenia wapniowego (grupa A). Powiat nowosądecki (19,4 kg CaO/ha UR) oraz jasielski (20,5 kg CaO/ha UR) sklasyfikowano natomiast w grupie o najniższym poziomie nawożenia wapniowego (grupa D). Jedynie w przypadku powiatu opolskiego oraz drawskiego, wielkość nawożenia wapniowego kształtowała się na poziomie wyższym niż 42 kg CaO/ha UR, niepozwalając tym samym na zakwalifikowanie ich do grupy D. Niemniej jednak stosowane na ich obszarze dawki tego typu nawozów, które wynoszą odpowiednio 108,3 kg CaO/ha UR oraz 57,8 kg CaO/ha UR, plasują je wśród jednostek o relatywnie najniższym poziomie nawożenia wapniowego w obrębie województw, do których należą, tj. opolskiego i zachodniopomorskiego.

Obszar przyjętych do badań terenowych powiatów jest znacznie zróżnicowany pod względem warunków dla prowadzenia produkcji rolniczej. Analizując wartości wskaźnika waloryzacji rolniczej przestrzeni produk-

cyjnej (WWRPP) zauważyć można, że pomiędzy przyjętymi do badań jednostkami samorządu terytorialnego występują wyraźne różnice. Najwyższe wartości WWRPP wykazują powiaty: prudnicki (95,3 pkt.), jarosławski (83,6 pkt.) oraz oświęcimski (78,5 pkt.). Najmniej korzystne warunki do prowadzenia produkcji rolniczej charakteryzują natomiast powiat nowosądecki, dla którego jakość oceniono na poziomie 52,6 pkt. W pozostałych jednostkach wartość WWRPP kształtuje się w granicach od 61,8 pkt. w powiecie drawskim do 70,8 pkt. w powiecie jasielskim (tabela 1).

Tabela 1. Wartości wskaźnika waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej (WWRPP)

Wyszczególnienie	Wskaźnik bonitacji				WWRPP
	gleba	agroklimat	rzeźba	warunki wodne	
Województwo małopolskie:	53,6	9,3	2,4	4,0	69,3
– powiat nowosądecki	40,3	7,2	1,0	4,1	52,6
– powiat oświęcimski	60,8	9,6	3,9	4,2	78,5
Województwo opolskie:	60,5	13,4	4,1	3,6	81,6
– powiat opolski	44,1	13,7	4,3	3,1	65,1
– powiat prudnicki	70,3	13,1	3,9	4,4	95,3
Województwo podkarpackie:	52,7	10,7	3,0	4,0	70,4
– powiat jarosławski	63,3	12,6	3,7	4,1	83,6
– powiat jasielski	55,6	8,5	2,1	4,6	70,8
Województwo zachodniopomorskie:	50,0	9,8	4,0	3,6	67,5
– powiat drawski	45,5	9,5	3,3	3,4	61,8
– powiat łobeski	47,1	10,2	4,3	3,7	65,4
Polska	49,5	9,9	3,9	31,0	66,6

Źródło: opracowanie własne na podstawie: danych Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowego Instytutu Badawczego 2023.

Struktura użytkowania gruntów w badanych regionach wskazuje, że największy udział użytków rolnych dotyczy gospodarstw z powiatów: prudnickiego (97,2%), opolskiego (95,2%) oraz łobeskiego (94,0%), jarosławskiego (92,8%) i drawskiego (91,9%). Najniższy udział gruntów wykorzystywanych pod uprawy rolne charakteryzuje natomiast powiat nowosądecki (75,5%). W pozostałych jednostkach użytki rolne stanowią od 83,2% powierzchni gospodarstw rolnych w powiecie jasielskim do 89,6% w powiecie oświęcimskim. Warto zaznaczyć także, że najwyższy udział la-

sów w powierzchni gospodarstw rolnych ogółem wykazują powiaty nowosądecki (18,8%) i jasielski (10,3%), najniższy natomiast powiat prudnicki (niespełna 0,3%) (tabela 2).

Tabela 2. Struktura użytkowania gruntów w gospodarstwach rolnych w 2020 r.

Wyszczególnienie	Powierzchnia gruntów (ha)	Udział w powierzchni gruntów (%)		
		użytki rolne	lasy i grunty leśne	pozostałe
Województwo małopolskie:	634 294,6	83,5	10,9	5,5
– powiat nowosądecki	56 557,5	75,5	18,8	5,7
– powiat oświęcimski	14 365,5	89,6	2,3	8,0
Województwo opolskie:	415 448,9	95,8	1,7	2,6
– powiat opolski	49 690,4	95,2	2,2	2,6
– powiat prudnicki	37 946,6	97,2	0,3	2,5
Województwo podkarpackie:	650 347,3	85,0	8,4	6,6
– powiat jarosławski	55 741,9	92,8	3,1	4,0
– powiat jasielski	30 514,1	83,2	10,3	6,5
Województwo zachodniopomorskie:	779 470,0	94,1	2,0	3,9
– powiat drawski	49 904,4	91,9	3,4	4,8
– powiat łobeski	43 997,9	94,0	2,7	3,3
Polska	15 237 472,5	89,6	6,0	4,4

Źródło: opracowanie własne na podstawie: www.bdl.stat.gov.pl 2023.

Analizując strukturę użytków rolnych w wytypowanych do badań terenowych powiatach zauważyć można, że do jednostek wykazujących względnie wysoki udział użytków przeznaczonych pod zasiewy należą: powiat prudnicki (94,8%), jarosławski (83,6%) oraz oświęcimski (82,4%) i łobeski (80,7%). Do grupy subregionów, gdzie obszar wykorzystywany jest w najmniejszym stopniu pod zasiewy zaliczyć można powiat nowosądecki (niespełna 21,8%) i jasielski (32,7%). Subregiony te przodują natomiast w powierzchni łąk i pastwisk, których udziały wynoszą odpowiednio 40,9% oraz 57,2%. Na tle pozostałych, powiat nowosądecki wykazuje natomiast znacznie wyższy udział sadów, który kształtuje się na poziomie 8,2%, a w ujęciu krajowym obszar ten postrzegany jest jako jedno z zagłębi produkcji sadowniczej w Polsce. Przeprowadzona analiza wykazała również, że największa powierzchnia przeznac-

czona pod ugory charakteryzuje powiaty jasielski (3,0%) oraz drawski (2,0%), najmniej tego typu powierzchni występuje w powiecie prudnickim (niespełna 0,1%) (tabela 3).

Tabela 3. Struktura użytków rolnych w gospodarstwach rolnych w 2020 r.

Wyszczególnienie	Powierzchnia UR (ha)	Udział w powierzchni użytków rolnych (%)				
		zasiewy	łąki i pastwiska	sady	ugory	inne
Województwo małopolskie:	529 842,3	52,0	40,9	2,5	1,4	3,3
– powiat nowosądecki	42 700,4	21,8	65,3	8,2	0,8	3,9
– powiat oświęcimski	12 877,1	82,4	14,0	0,6	1,2	1,9
Województwo opolskie:	397 799,2	88,8	9,7	0,3	0,4	0,8
– powiat opolski	47 303,5	78,7	18,6	0,4	0,9	1,3
– powiat prudnicki	36 878,3	94,8	4,6	0,1	0,1	0,5
Województwo podkarpackie:	552 763,7	54,2	36,5	2,1	3,0	4,2
– powiat jarosławski	51 743,3	83,6	11,2	2,0	1,5	1,7
– powiat jasielski	25 395,1	32,7	57,2	3,0	3,0	4,1
Województwo zachodniopomorskie:	733 492,7	73,3	22,1	1,1	1,6	1,8
– powiat drawski	45 852,8	62,6	32,7	2,0	2,0	1,7
– powiat łobeski	41 366,0	80,7	14,2	1,2	1,3	2,6
Polska	13 652 107,7	72,5	22,2	2,6	1,2	1,6

Źródło: opracowanie własne na podstawie: www.bdl.stat.gov.pl 2023.

Przyglądając się strukturze wielkości gospodarstw można wywnioskować, że do jednostek wykazujących duże rozdrobnienie agrarne należą te zlokalizowane na terenie Polski południowo-wschodniej, gdzie udział gospodarstw z grupy obszarowej od 1 do 5 ha znacznie przewyższa pozostałe analizowane subregiony (jasielski – 84,7%, nowosądecki – 82,3%, oświęcimski – 76,5% i jarosławski – 69,7%) (tabela 4).

Tabela 4. Struktura wielkości gospodarstw rolnych w 2020 r.

Wyszczególnienie	Liczba gospodarstw	Udział gospodarstw rolnych w grupie obszarowej (%)				
		< 1 ha	1–5 ha	5–10 ha	10–15 ha	> 15 ha
Województwo małopolskie:	126 200	2,6	78,3	13,2	2,8	3,1
– powiat nowosądecki	12 366	2,4	82,3	12,7	1,4	1,2
– powiat oświęcimski	2 353	3,7	76,5	9,5	2,9	7,5
Województwo opolskie:	25 441	1,9	43,7	18,8	9,7	26,0
– powiat opolski	3 178	2,5	48,1	17,9	8,6	22,9
– powiat prudnicki	2 112	2,1	32,9	16,9	11,3	36,6
Województwo podkarpackie:	114 192	2,3	76,8	13,7	3,0	4,1
– powiat jarosławski	7 195	2,4	69,7	15,9	4,1	7,9
– powiat jasielski	6 981	2,4	84,7	8,7	1,7	2,5
Województwo zachodniopomorskie:	28 849	1,7	34,9	17,1	10,6	35,8
– powiat drawski	1 709	1,2	30,7	18,7	10,4	39,1
– powiat łobeski	983	2,0	26,2	12,1	9,5	50,2
Polska	1 317 400	1,9	50,1	21,9	9,9	16,1

Źródło: opracowanie własne na podstawie: www.bdl.stat.gov.pl 2023.

Na przeciwnym biegunie znalazły się powiaty, które wykazują znacznie większy udział podmiotów dysponujących powyżej 15 ha użytków rolnych (łobeski – ponad 50,0%, drawski – blisko 40,0%, prudnicki – około 37,0% oraz opolski – 23,0%). Rodzaj działalności produkcyjnej prowadzonej przez gospodarstwa położone na obszarze badanych powiatów, zdominowany jest przez uprawy polowe, a analiza struktury zasiewów wskazuje, że największy udział w powierzchni upraw ogółem zajmują rośliny zbożowe. Udział tego rodzaju upraw kształtuje się na poziomie od 58,5% w powiecie drawskim do 82,6% w powiecie oświęcimskim. Największy udział w powierzchni gruntów ornych w uprawie rzepaku i rzepiku charakteryzował natomiast powiat prudnicki (16,7%) oraz jarosławski (12,2%). Na najmniejszą skalę tego rodzaju rośliny uprawia się w powiecie drawskim (1,4%) i nowosądeckim (niespełna 0,3%). Dużym udziałem ziemniaków w strukturze upraw charakteryzują się z kolei powiaty nowosądecki (11,8%) oraz jasielski (9,3%). Największy udział upraw warzywnych odnotowano w powiecie łobeskim (11,8%). W przypadku upraw buraków cukrowych należy stwierdzić, że ich udział w strukturze zasiewów w badanych powiatach jest znikomy (tabela 5).

Tabela 5. Struktura powierzchni zasiewów w gospodarstwach rolnych w 2020 r.

Wyszczególnienie	Powierzchnia zasiewów (ha)	Udział grup roślin w powierzchni zasiewów ogółem (%)				
		zboża	ziemniaki	buraki cukrowe	rzepak i rzepik	warzywa gruntowe
Województwo małopolskie:	275 454,3	74,1	6,1	0,3	3,8	5,2
– powiat nowosądecki	9 327,2	73,1	11,8	0,1	0,3	0,9
– powiat oświęcimski	10 607,0	82,5	1,9	0,1	10,1	0,6
Województwo opolskie:	353 423,8	74,3	0,9	2,6	15,2	0,3
– powiat opolski	37 234,6	83,7	0,9	0,8	7,3	0,3
– powiat prudnicki	34 964,2	71,3	0,4	5,4	16,7	0,1
Województwo podkarpackie:	299 753,9	75,8	4,6	1,1	8,3	1,2
– powiat jarosławski	43 257,2	76,7	3,5	1,1	12,2	0,8
– powiat jasielski	8 300,7	74,1	9,3	0,7	3,6	0,8
Województwo zachodniopomorskie:	537 939,8	62,1	1,8	1,8	10,9	1,1
– powiat drawski	28 713,0	58,7	0,5	0,1	1,4	1,3
– powiat łobeski	33 379,8	67,4	2,4	0,9	11,8	11,8
Polska	9 895 486,6	68,8	2,1	2,0	8,1	1,6

Źródło: opracowanie własne na podstawie: www.bdl.stat.gov.pl 2023.

Struktura przeznaczenia produkcji końcowej³ gospodarstw rolnych badanych powiatów wskazuje, że w przypadku: opolskiego, prudnickiego, drawskiego i łobeskiego (gdzie dominują gospodarstwa towarowe) ponad 80,0% produkcji końcowej przeznaczano na sprzedaż. Rolnicy prowadzący działalność na terenie powiatów położonych w południowo-wschodniej części Polski, do których należą nowosądecki i jasielski deklarowali

³ Końcowa produkcja rolnicza to suma wartości: produkcji towarowej, spożycia naturalnego produktów rolnych pochodzących z własnej produkcji, przyrostu zapasów produktów roślinnych i zwierzęcych oraz przyrostu wartości pogłowia zwierząt gospodarskich (inwentarza żywego – stada podstawowego i obrotowego). Produkcja końcowa w odróżnieniu od produkcji globalnej, nie obejmuje tych produktów pochodzących z własnej produkcji, które zostały zużyte na cele produkcyjne, np. pasz, materiału siewnego, obornika. Od 2004 r. w końcowej produkcji rolniczej uwzględnia się naliczane za dany rok płatności uzupełniające do powierzchni upraw [www.stat.gov.pl 2023].

natomiast, że wielkość przeznaczanej na sprzedaż produkcji końcowej nie przekracza 50,0%. Na obszarze powiatów oświęcimskiego i jarosławskiego dominują gospodarstwa, które w większym stopniu przeznaczają produkcję końcową na potrzeby własne niż na sprzedaż. Sytuacja ta ma swoje przełożenie na strukturę głównych źródeł dochodu rolników i ich rodzin, tj. takich, których udział w dochodach ogółem przekracza 50,0% (tabela 6).

Tabela 6. Struktura gospodarstw rolnych według przeznaczenia produkcji końcowej oraz głównych źródeł dochodu rolników i ich rodzin w 2020 r.

Wyszczególnienie	Struktura gospodarstw rolnych według przeznaczenia produkcji końcowej (%)		Struktura głównych źródeł dochodu (> 50% dochodu ogółem) gospodarstw rolnych (%)				
	na sprzedaż	na potrzeby własne	działalność rolnicza	działalność pozarolnicza	z pracy najemnej	emerytura i renta	inne formy niezarobkowe
Województwo małopolskie:	56,9	43,1	17,7	10,7	43,9	24,4	3,3
– powiat nowosądecki	48,8	51,2	17,3	10,3	43,3	23,2	6,0
– powiat oświęcimski	68,8	31,2	12,1	8,4	41,4	35,8	2,2
Województwo opolskie:	87,0	13,0	39,4	9,8	37,1	11,9	1,8
– powiat opolski	81,8	18,2	32,3	11,7	38,6	15,1	2,3
– powiat prudnicki	92,3	7,7	59,4	6,8	25,3	7,7	0,9
Województwo podkarpackie:	50,5	49,5	13,0	8,1	45,6	29,5	3,9
– powiat jarosławski	78,1	21,9	22,4	9,8	42,7	22,9	2,1
– powiat jasielski	33,6	66,4	11,0	7,0	45,2	32,8	4,0
Województwo zachodniopomorskie:	88,1	11,9	39,5	12,2	30,9	14,9	2,6
– powiat drawski	87,6	12,4	35,3	10,5	32,3	19,0	2,8
– powiat łobeski	89,2	10,8	54,4	12,3	20,5	10,8	1,9
Polska	81,7	18,3	34,1	9,1	37,1	17,4	2,3

Źródło: opracowanie własne na podstawie: www.bdl.stat.gov.pl 2023.

Do powiatów, w których udział dochodów otrzymywanych z działalności rolniczej gospodarstwa jest znaczący, zaliczyć można: prudnicki (59,4%),

łobeski (54,4%), drawski (35,3%) oraz opolski (32,3%). W przypadku powiatów położonych w Polsce południowo-wschodniej duży udział przypisywany jest dochodom z pracy najemnej oraz świadczeniom emerytalno-rentowym. W powiatach oświęcimskim i jasielskim tego typu źródła wskazało około 75,0% badanych. Podobnie jest w przypadku podmiotów zlokalizowanych w powiatach: jarosławskim i nowosądeckim (ponad 65,0%).

Scharakteryzowane kwestie związane z przeznaczeniem produkcji końcowej oraz głównych źródeł dochodów członków gospodarstw rolnych, znajdują potwierdzenie we wnioskach płynących z analizy struktury podmiotów, według osiągniętej przez nie wielkości ekonomicznej (SO). Kategoria ta wyraża wielkość standardowej produkcji, jaką osiąga gospodarstwo w roku. Analizując średnią wielkość ekonomiczną produkcji gospodarstw rolnych w ujęciu poszczególnych grup zauważyć można, że największy udział gospodarstw, które uzyskują niskie wielkości ekonomiczne (SO) w ujęciu rocznym dotyczy powiatów: nowosądeckiego, gdzie łączny udział podmiotów sklasyfikowanych do trzech pierwszych grup (od 0 do 2 tys. EURO, od 2 do 4 tys. EURO i od 4 do 8 tys. EURO) wynosi ponad 83,0%, jasielskiego (ponad 92,0%), oświęcimskiego (ponad 82,0%) oraz jarosławskiego (ponad 78,0%). Najmniejszy udział gospodarstw, które sklasyfikowano w pierwszych trzech grupach, dotyczy powiatów: opolskiego (ponad 64,0%), drawskiego (ponad 57,0%), łobeskiego (ponad 44,2%) i prudnickiego (ponad 40,0%) (tabela 7).

Tabela 7. Struktura gospodarstw rolnych według wielkości ekonomicznej w 2020 r.

Wyszczególnienie	Udział gospodarstw według wielkości ekonomicznej (%)							
	0–2 tys. EURO	2–4 tys. EURO	4–8 tys. EURO	8–15 tys. EURO	15–25 tys. EURO	25–50 tys. EURO	50–100 tys. EURO	> 100 tys. EURO
Województwo małopolskie:	43,8	22,4	16,2	8,6	4,3	2,9	1,2	0,6
– powiat nowosądecki	41,6	23,0	18,8	8,6	4,1	2,2	1,1	0,5
– powiat oświęcimski	40,8	26,7	14,9	7,6	3,6	3,4	1,9	1,1
Województwo opolskie:	23,1	18,3	16,1	12,3	8,5	9,6	6,7	5,3
– powiat opolski	31,2	18,9	14,8	10,0	6,6	8,0	5,1	5,3
– powiat prudnicki	13,5	15,0	12,1	13,1	11,0	15,2	12,2	7,8

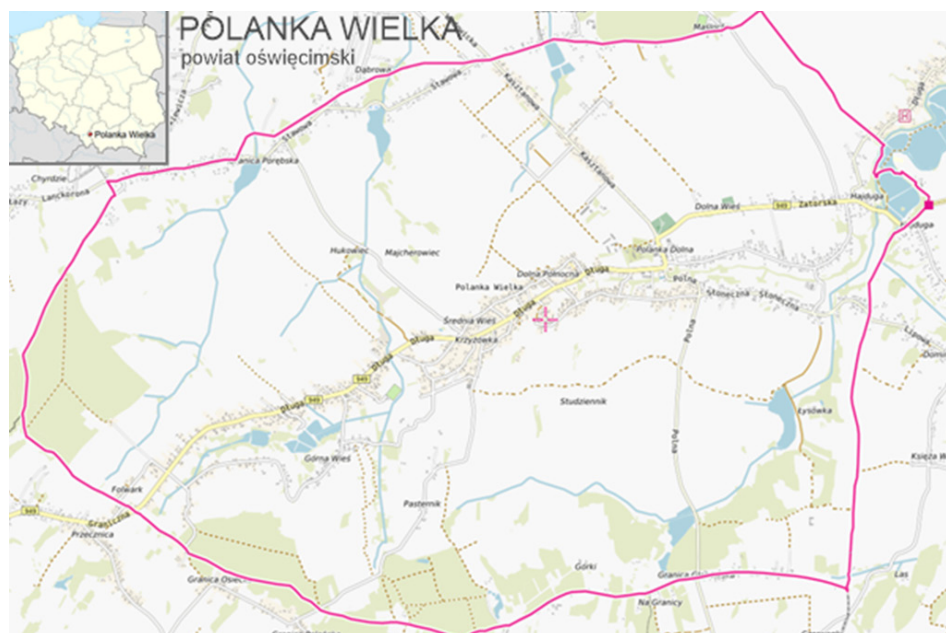
Wyszczególnienie	Udział gospodarstw według wielkości ekonomicznej (%)							
	0–2 tys. EURO	2–4 tys. EURO	4–8 tys. EURO	8–15 tys. EURO	15–25 tys. EURO	25–50 tys. EURO	50–100 tys. EURO	> 100 tys. EURO
Województwo podkarpackie:	46,5	25,3	15,2	6,6	2,8	2,0	0,9	0,7
– powiat jarosławski	28,0	29,5	20,9	10,2	4,6	3,7	1,9	1,3
– powiat jasielski	55,8	24,7	12,1	4,0	1,5	1,1	0,5	0,3
Województwo zachodniopomorskie:	26,6	14,0	14,5	12,6	8,3	9,4	7,2	7,3
– powiat drawski	31,2	12,8	13,1	12,5	8,7	9,7	6,8	5,3
– powiat łobeski	20,3	10,1	13,8	12,6	9,3	11,6	10,9	11,4
Polska	28,5	19,0	17,2	12,1	7,7	7,8	4,7	3,2

Źródło: opracowanie własne na podstawie: www.bdl.stat.gov.pl 2023.

Jednym z etapów realizacji badań było także opracowanie modelu wpływu wapnowania gleb na ograniczenie zjawiska eutrofizacji otaczających je wód powierzchniowych. Jako kryteria doboru obiektu testowego (jednostki samorządu terytorialnego) do budowy modelu przyjęto:

- użytkowanie rolnicze danego obszaru,
- zróżnicowane parametry fizyko-chemiczne gleb,
- występowanie na danym obszarze potencjalnie podatnych na eutrofizację wód powierzchniowych,
- ukształtowanie terenu charakteryzujące się odpowiednio dużymi deniwelacjami wpływającymi na występowanie zagrożenia erozją wodną, a przez to istotnym potencjalnym wpływem powierzchniowym związków chemicznych odpowiedzialnych za wzrost zagrożenia zjawiskiem eutrofizacji istniejących na danym obszarze wód powierzchniowych,
- lokalizacja obszaru na terenie, gdzie przeprowadzone były badania ankietowe wśród rolników oraz pracowników instytucji.

Obszarem, który spełniał wyżej zdefiniowane kryteria doboru była gmina Polanka Wielka. Obiekt ten zlokalizowany jest w powiecie oświęcimskim, który znalazł się wśród powiatów, gdzie przeprowadzono badania ankietowe (mapa 2).



Mapa 2. Lokalizacja obiektu badań na tle mapy Polski oraz mapa topograficzna z lokalizacją cieków i zbiorników wodnych

Źródło: Nicia i inni 2022.

Większość gleb w gminie Polanka Wielka to gleby wytworzone z glin średnich i glin średnich pylastych, przy czym dominują gleby płowe, brunatne właściwe typowe i wylugowane. W grupie gleb ornich przeważają gleby średniej jakości, zakwalifikowane do III i IV klasy bonitacyjnej, 30,9% wszystkich gleb użytkowanych rolniczo zakwalifikowanych zostało do klasy IIIb, gleby klasy IIIa zajmują z kolei 15,8%. Duży udział, bo 19,8% stanowią gleby klasy IVa. Wśród gleb użytków zielonych najwięcej jest gleb klasy III (14,4%). Biorąc pod uwagę przydatność gleb do produkcji rolniczej największą powierzchnię stanowią gleby kompleksu pszennego dobrego. Ponadto w Polance Wielkiej występują kompleksy: pszenno-żytni, pszenno-wadliwy, zbożowy pastewny mocny. Znikomy odsetek to gleby kompleksu zbożowego górskiego [Plan odnowy miejscowości... 2009].

W strukturze użytkowania gruntów w gminie Polanka Wielka największą grupę stanowią użytki rolne, które zajmują 1 915 ha, czyli 80,2% ogólnej powierzchni gminy. Mały udział, bo zaledwie 10,8% (257 ha) to lasy i grunty leśne. Wśród użytków rolnych dominują grunty orne, których powierzchnia wynosi 1 655 ha, tj. 69,3% terytorium gminy, łąki zalegają na 8,8% obsza-

ru, a pastwiska obejmują 45 ha i stanowią 1,9% gruntów ogółem. Na obszarze Polanki Wielkiej zlokalizowane są również hodowlane stawy rybne. Niski stopień lesistości i wysoki udział użytków rolnych warunkują Polancę Wielką charakter miejscowości typowo rolniczej. Ogółem na terytorium obiektu w 2006 r. funkcjonowały 623 gospodarstwa rolne. Większość z nich to typowe dla województwa małopolskiego małe gospodarstwa rodzinne o powierzchni od 1 do 5 ha, cechujące się niekorzystnym rozłogiem ziemi użytkowanej rolniczo. Podmioty te całość lub większość produkcji rolnej przeznaczają na zaspokajanie potrzeb własnych. Według danych Urzędu Gminy Polanka Wielka, w 2006 r. tego typu gospodarstwa stanowiły aż 74,3% wszystkich gospodarstw rolnych zlokalizowanych na obszarze gminy.

Głównym kierunkiem upraw były wówczas zboża, które zajmowały ponad 80,0% powierzchni użytków rolnych. Na drugim miejscu plasowała się uprawa ziemniaków oraz warzyw gruntowych (18,0%). Pozostałe 2,0% powierzchni zajmowały rośliny oleiste (głównie rzepak). Jak wskazują wyniki *Powszechnego Spisu Rolnego 2020* nastąpiły nieznaczne zmiany w strukturze gospodarstw i upraw. Gospodarstwa o powierzchni od 1 do 5 ha stanowią obecnie 63,0% ogółu podmiotów funkcjonujących na terenie Polanki Wielkiej. Powierzchnia produkcji zbóż nieznacznie spadła, tj. do 76,0% na korzyść trwałych użytków zielonych (105 ha, co stanowi 5,0% użytków rolnych badanego obszaru) [www.bdl.stat.gov.pl 2022].

2. Istota i znaczenie nawożenia gleb nawozami odkwaszającymi

2.1. Przyczyny i stan zakwaszenia gleb w Polsce

Gleba pełni w środowisku ważną rolę w funkcjonowaniu nie tylko ekosystemów lądowych, ale także ekotonów słodkowodnych. Według Bluma'a [2005] jedną z najważniejszych funkcji gleby jest ta związana z produkcją biomasy i żywności. Gleba stanowi podstawę rolniczej przestrzeni produkcyjnej, a od jej właściwości zależy bezpośrednio jakość i ilość płodów rolnych. Z punktu widzenia przydatności gleb do celów rolniczych, najważniejszymi jej cechami są te, które wpływają na jej zasobność, żyzność oraz urodzajność (produktywność). Właściwości te warunkowane w glebie są przede wszystkim genezą i składem chemicznym skały macierzystej, składem granulometrycznym (mechanicznym) kształtującym jej strukturę i zdolności sorpcyjne, głębokością i stopniem wykształcenia profilu, odczynem oraz zawartością węgla wapnia i węgla organicznego. Istotnym czynnikiem są tu także mikroorganizmy glebowe, które wpływają na przemiany związków mineralnych i organicznych, co pozwala zachować ciągłość obiegu materii w przyrodzie i warunkuje wzrost samych roślin [Dobrzański i Zawadzki 1995, Filipek i inni 2015, Mocek 2015, Hołubowicz-Kliza i inni 2021]. Ważnym czynnikiem wpływającym na właściwości gleby są także warunki klimatyczne. Spośród nich decydujące znaczenie dla temperatury i wilgotności samej gleby ma nasłonecznienie oraz intensywność i ilość opadów [Hołubowicz-Kliza i inni 2021].

Procesy, które przyczyniają się do zakwaszenia gleb mogą mieć zarówno charakter naturalny, jak i być efektem oddziaływania człowieka na środowisko. Kiedy na naturalne czynniki zakwaszenia gleb nałożą się determinanty antropogeniczne dochodzi do wzmożonej degradacji gleb. Zakres i intensywność zmian degradacyjnych gleb w wyniku ich zakwaszenia będzie zależał nie tylko od siły antropopresji, ale także od środowiska, w którym się one wykształciły [Filipek i inni 2015]. W warunkach naturalnych do zakwaszenia gleb, czyli przewagi jonów wodorowych nad wodorotlenowymi

w roztworze glebowym, dochodzi powoli. Czas tych przemian jest zależny od chemizmu skał macierzystych oraz wysokości rocznych opadów. Pierwotne procesy prowadzące do zakwaszenia gleb silnie związane są z życiem biologicznym, które poprzez procesy oddychania i rozkładu materii organicznej generują ditlenek węgla i kwasy organiczne. Część wygenerowanego ditlenku węgla, która nie ulotniła się do atmosfery i pozostała w glebie, wchodzi w reakcję z zawartą w niej wodą, w wyniku czego tworzy się kwas węglowy. Stanowi on źródło protonów wodorowych, które stymulują wymianę jonów oraz wietrzenie minerałów. Jednym z efektów tego wietrzenia jest przechodzenie CaCO_3 w łatwiej rozpuszczalny $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ i uwalnianie kationów zasadowych do roztworu glebowego. W wyniku tego, przy warunkach, jakie kształtuje klimat humidowy następuje wymywanie kationów zasadowych, co prowadzi do dekalcytacji gleb [Rice i Herman 2012, Filipek i Skowrońska 2013, Filipek i inni 2015]. W miarę rozwoju gleb i akumulacji w nich materii organicznej w procesie ich dekalcytacji zaczynają dominować silniejsze od kwasu węglowego kwasy próchniczne [Bednarek i inni 2004].

Bardzo ważnym czynnikiem kształtującym przebieg naturalnych procesów zakwaszających glebę jest woda. W warunkach klimatycznych Polski, gdzie występuje przewaga opadów nad parowaniem ruchu wody w profilu glebowym ma charakter zstępujący, co przyczynia się do ciągłego przemieszczania i wymywania kationów zasadowych poza jego obręb [Filipek i inni 2015]. Gleba, która powstaje z określonej skały macierzystej dziedziczy po niej właściwości chemiczne i fizyczne. Wśród tych właściwości do najważniejszych zalicza się skład granulometryczny gleb określający w glebach udział poszczególnych frakcji glebowych oraz odczyn gleby. Materiałem, z którego powstają gleby są zwietrzeliny różnych utworów geologicznych nazywane w gleboznawstwie skałami macierzystymi [Dobrzański i Zawadzki 1995, Bednarek i inni 2004, Hillel 2012, Mocek 2015]. Na obszarze Polski wyróżnia się cztery strefy różniące się wiekiem i rodzajem skał glebotwórczych [Kostrowicki 1968]:

- Sudety i ich przedgórze (z przewagą granitów, granitognejsów, gnejsów, łupków krystalicznych, rzadziej z wapieni i piaskowców),
- wyżyny środkowopolskie (z dolomitami, wapieniami, kredą i marglami),
- Karpaty i Kotliny Podkarpackie (z osadami fliszowymi, w tym z piaskowcami),
- Niż Polski (z osadami czwartorzędowymi).

Na obszarze Polski decydujące znaczenie dla ukształtowania się skał macierzystych większości gleb miał okres czwartorzędu, a ściślej plejstocen, w którym większość obecnej powierzchni kraju (ponad 90,0%) zostało pokryte silnie przemytymi przez wody osadami polodowcowymi czyli skałami kwaśnymi przeniesionymi przez lodowce z terenu Skandynawii [Hołubowicz-Kliza i inni 2021]. Wytworzone z nich bezwęglanowe gleby to gleby lekkie i bardzo lekkie, które według *Systematyki gleb Polski* [2019] kwalifikowane są do rzędu: gleby bielicoziemne, gleby brunatnoziemne i gleby płwoziemne. Gleby bielicoziemne powstały głównie z utworów piaszczystych o uziarnieniu piasków luźnych i piasków słabo gliniastych. Są to gleby kwaśne i bardzo kwaśne o słabych właściwościach buforowych oraz o niskiej pojemności sorpcyjnej, co nie sprzyja zatrzymywaniu w kompleksie sorpcyjnym jonów zasadowych.

Gleby brunatnoziemne charakteryzują się nagromadzeniem składników wietrzenia w poziomach powierzchniowych i podpowierzchniowych. Ponad 13,0% powierzchni użytków rolnych w Polsce stanowią gleby brunatne wykształcone na żwirach oraz piaskach luźnych i piaskach słabo gliniastych, w których profilach do głębokości 100 cm uziarnienie nie ulega zmianie. Są one zaliczane do kategorii agronomicznej gleb bardzo lekkich i lekkich o niskiej zawartości części spławialnych odpowiedzialnych w znacznej mierze za niską pojemność kompleksu sorpcyjnego gleby oraz jej właściwości fizyczne [Bartmiński i inni 2020]. Skład granulometryczny gleb bielicoziemnych i brunatnoziemnych sprzyja wymywaniu z gleb kationów o charakterze zasadowym, w tym przede wszystkim jonów wapnia i magnezu, co przekłada się na ich zakwaszenie. Szybkość i wielkość tego wymywania warunkowana jest intensywnością i ilością opadów, które na terenie naszego kraju są niezmiernie zróżnicowane. Ponadto gleby wykształcone z utworów piaszczystych charakteryzują się małymi zdolnościami buforowymi, za co odpowiada niska zawartość koloidów mineralnych i kwasów humusowych. Z tego powodu, w przypadku pojawienia się dodatkowych ładunków jonów wodorowych pochodzenia antropogenicznego (np. z zanieczyszczeń gazowych lub nawozów mineralnych, głównie azotowych) następuje w nich nasilenie wtórnych procesów potęgujących stopień ich zakwaszenia [Dobrzański i Zawadzki 1995, Bednarek i inni 2004, Hillel 2012, Mocek 2015].

Gleby płowe powstają z utworów bardziej zasobnych w frakcje iłów, takich jak gliny zwałowe, gliny wietrzeniowe, pyły czy rzadziej z iłów. Gleby te w przeciwieństwie do gleb bielicoziemnych oraz brunatnoziemnych charakteryzują się wysoką zasobnością w kationy zasadowe, przynajmniej

w środkowej i dolnej części ich profilu. Wierzchnia warstwa tych gleb, zwłaszcza użytkowanych rolniczo jest bardzo często zakwaszona. Zakwaszeniu gleb sprzyjają także procesy, za które odpowiedzialne są mikroorganizmy glebowe. Do intensyfikacji zakwaszenia przyczynia się utlenianie przez mikroorganizmy glebowe azotu amonowego uwolnionego z substancji organicznych zawartych w glebie, lub który został do niej dostarczony wraz z nawozami zawierającymi kation amonowy. Ponadto, procesowi temu sprzyjają, namnażające się przy zakresie pH 2–5, bakterie beztlenowe *Thiobacillus thiooxidans* utleniające siarkę, która do gleb dostała się w wyniku depozycji jej związków pochodzących ze źródeł przemysłowych i środków komunikacyjnych oraz zanieczyszczonych opadów atmosferycznych [Hołubowicz-Kliza i inni 2021]. Poza naturalnymi przyczynami zakwaszenia gleb związanymi z ich pedogenezą, proces ten jest także efektem działalności człowieka, który prowadzi produkcję rolną. W jej wyniku dochodzi do bardzo wielu zmian i przekształceń naturalnych właściwości środowiska glebowego, w tym ubytków makro- i mikroskładników. Wymywaniu kationów (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+), dekalcytacji gleb, wywołanej czynnikami antropogenicznymi sprzyja między innymi [Dobrzański i Zawadzki 1995, Bednarek i inni 2004, Mocek 2015]:

- stosowanie nawozów zawierających azotany, chlorki, siarczany,
- rozkład materii organicznej z resztek poźniwnych i nawozów organicznych do kwasów próchnicowych,
- odprowadzanie jonów wapnia i magnezu z plonem,
- spalanie paliw stanowiących źródło kwasotwórczych tlenków siarki i azotu, które dostają się do gleby.

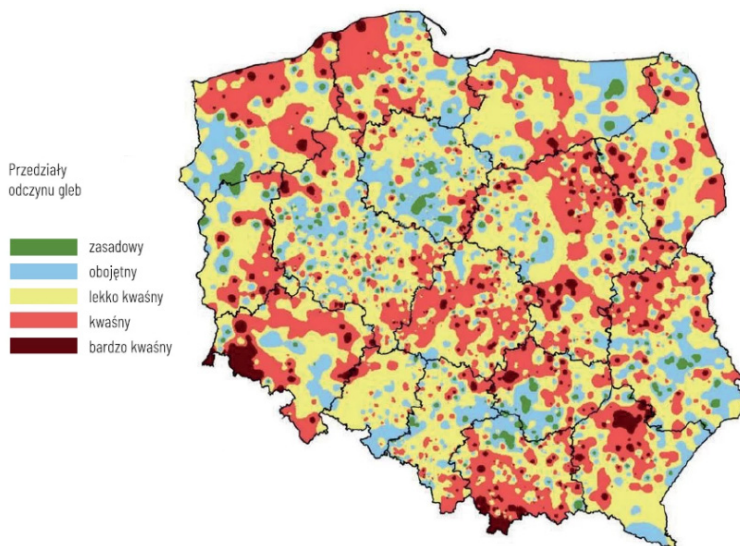
Zakwaszenie gleb powodowane czynnikami antropogenicznymi związane jest z rozwojem cywilizacyjnym, technicznym i technologicznym człowieka. Do zdecydowanej intensyfikacji tego procesu i wyraźnie obserwowalnych jego efektów doszło w drugiej połowie ubiegłego wieku. Nastąpiło to w wyniku zintensyfikowania produkcji roślinnej (nasilenie nawożenia, zwiększenia odprowadzania składników zasadowych z wysokimi plonami roślin) oraz wzmożenia emisji kwasotwórczych zanieczyszczeń powietrza (głównie tlenków siarki i azotu), które dostawały się do gleb w postaci suchego i mokrego depozytu (tabela 8).

Tabela 8. Źródła głównych gazowych zanieczyszczeń powietrza pochodzenia antropogenicznego mające wpływ na zakwaszenie gleb

Związek	Pochodzenie
Ditlenek siarki	<ul style="list-style-type: none"> – spalanie paliw kopalnych – spalanie biomasy – wytapianie rud siarczkowych
Zredukowane związki siarki	<ul style="list-style-type: none"> – wydobycie ropy naftowej i siarki – procesy przemysłowe
Tlenki azotu	<ul style="list-style-type: none"> – spalanie paliw kopalnych – transport samochodowy – spalanie biomasy – produkcja i stosowanie nawozów
Zredukowane związki azotu	<ul style="list-style-type: none"> – zwierzęta domowe – nawozy mineralne, naturalne i organiczne – spalanie paliw kopalnych – spalanie biomasy – odpady bytowe

Źródło: Filipek i inni 2015.

O ile intensyfikacja produkcji rolniczej przyczyniła się głównie do zakwaszenia gleb uprawianych, to depozycja suchego i mokrego opadu emisji przemysłowych zintensyfikowała ten proces w glebach zarówno agroekosystemów, jak i ekosystemów naturalnych [Zawadzki 1999, Bednarek i inni 2004, Filipek i inni 2015, Mocek 2015]. Zakwaszenie gleb Polski to efekt przede wszystkim warunków naturalnych, do których zaliczyć należy klimat i panujące warunki pogodowe oraz procesy geologiczne i geomorfologiczne, które doprowadziły do ukształtowania się pokrywy geologicznej stanowiącej ich materiał genetyczny [Dobrzański i Zawadzki 1995, Filipek i inni 2015, Mocek 2015, Hołubowicz-Kliza i inni 2021]. Większość gleb w Polsce (58,2%) charakteryzuje się silnie kwaśnym i kwaśnym odczynem [Pietr i Krysztoforski 2022] (mapa 3).



Mapa 3. Podział Polski ze względu na wartość odczynu gleby

Źródło: Pietr i Krysztoforski 2022.

Udział gleb bardzo kwaśnych i kwaśnych w Polsce przekracza średnio 40% powierzchni użytków rolnych, ale istnieją takie obszary, gdzie odsetek ten jest znacznie wyższy i przekracza nawet 60,0%. Stanowi to bardzo poważne zagrożenie uruchomienia większej ilości aktywnych form metali ciężkich niż w glebach o wyższych wartościach pH [Filipek i inni 2015, Hołubowicz-Kliza i inni 2021]. Tak duży odsetek gleb bardzo kwaśnych i kwaśnych stanowi bardzo poważny problem dla polskiego rolnictwa, bowiem można go uznać za wyraźny wskaźnik degradacji nie tylko funkcji produkcyjnych, ale również ogólnośrodowiskowych i gospodarczych. Prowadzenie produkcji rolnej na areale o takich właściwościach natrafia na duże bariery i ograniczenia. Ogranicza wybór roślin uprawnych do tych, które charakteryzują się, co prawda dużą tolerancją, ale za to raczej niskim plonem (np. żyto, ziemniaki, łubin). Niskie plonowanie tych roślin jest efektem drastycznej redukcji wielkości systemu korzeniowego, który prowadzi do nieefektywnego pobierania makro- i mikroelementów [Hołubowicz-Kliza i inni 2021]. Ohał i inni [2017] dokonali analizy bazy danych odczynu gleb (pH_{KCl}) w Polsce, zawierającej wyniki badań z lat 2014–2015 przeprowadzonych przez IUNG-PIB we współpracy z KSCh-R i OSCh-R i stwierdzili, że 28,9% spośród przebadanych próbek glebowych pochodzących z obszaru Polski charakteryzowało się $\text{pH} < 4,5$, a 28,3% $\text{pH} = 4,6 - 5,5$ (mapa 4).



Mapa 4. Przestrzenne zróżnicowanie gleb w klasach odczynu bardzo kwaśnego i kwaśnego [%]

Źródło: Ochal i inni 2017.

W oparciu o te wyniki stwierdzono ponadto, że najsilniej zakwaszone gleby występują w województwach: łódzkim, małopolskim i podkarpackim (powyżej 70,0%), a najmniej takich gleb znajduje się w województwach opolskim i kujawsko-pomorskim (poniżej 40,0%). Autorzy opracowania podkreślili, że wartości analizowanych wyników z bazy danych były bardzo zbliżone do wyników badań prowadzonych przez OSCh-R do 1975 r., co świadczy, że na przestrzeni 50 lat stan zakwaszenia gleb w Polsce nie uległ istotnej zmianie.

2.2. Zakwaszenie gleby jako czynnik determinujący jej jakość oraz stan środowiska

Według bogatej literatury przedmiotu, przy niskich wartościach pH gleb [Zawadzki 1999, Gębski 1998, Kabata-Pendias i Pendias 1999, Hillel 2012, Lipiński 2013, Mocek 2015, Ochal i Smreczak 2020, Niedźwiecki i Ochal 2021]:

- następuje obniżenie ilości plonów większości uprawianych roślin,

- kompleks sorpcyjny gleb traci zdolność do zatrzymywania składników mineralnych wnoszonych do gleb wraz z nawożeniem mineralnym,
- makro- i mikroelementy dostarczane do gleb wraz z nawozami są wymywane do wód gruntowych, powodując ich eutrofizację, co dotyczy, nie tylko takich pierwiastków, jak: wapnia, magnezu, azotu, fosforu i potasu, ale także mikroelementów,
- następuje przejście, niektórych składników pokarmowych w formy trudno przyswajalne dla roślin,
- zwiększa się fitoprzyswajalność metali ciężkich, które mogą obniżać jakość plonów, w tym glinu ruchomego, który przy niskich wartościach pH może działać toksycznie,
- następuje zmniejszenie aktywności różnych grup mikroorganizmów glebowych, których działalność wpływa na rozkład resztek poźniwnych i odkładanie się próchnicy w glebie,
- zmniejsza się retencja wodna gleby,
- następuje ograniczenie odkładania się próchnicy w glebie i w konsekwencji zmniejszenie jej zawartości,
- spowalnia się tempo asymilacji azotu z powietrza przez mikroorganizmy glebowe oraz roślinne.

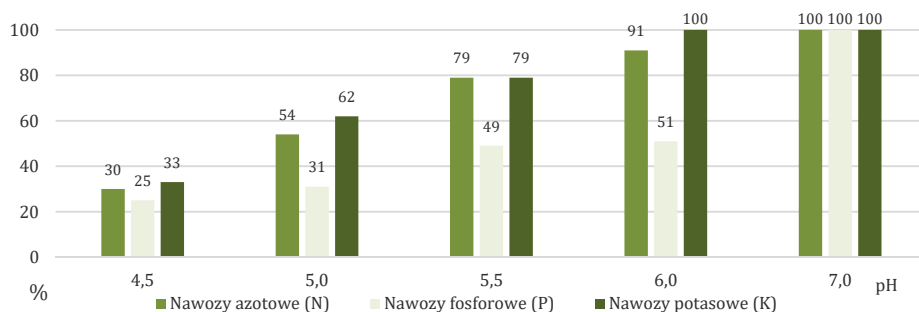
Zakwaszenie gleb w wyniku stosowania praktyk rolniczych wpływa nie tylko na samo ograniczenie produkcji roślinnej (obniżenie ilości i pogorszenie jakości plonów), ale zagraża również środowisku poprzez pojawienie się w glebie substancji toksycznych, stanowiących efekt zwiększenia się stężenia jonów wodorowych oraz uruchomienia lub blokowania składników pokarmowych roślin. W glebach zakwaszonych zarówno system korzeniowy rośliny, jak i jej części naziemne nie rozwijają się prawidłowo. Mniejsza bryła korzeniowa, słabo wykształcone korzenie włośnikowe nie pobierają składników mineralnych w takich ilościach, jak w glebach o optymalnym odczynie. Składniki te mogą być wypłukiwane do wód gruntowych. Przy pH niższym od 5,0 obserwowane jest toksyczne działanie jonów glinu, które hamują i uszkodzają korzenie, obniżając jakość i ilość plonów rolnych, w szczególności tych najbardziej wrażliwych roślin (rysunek 1).



Rysunek 1. System korzeniowy jęczmienia w warunkach narastającego zakwaszenia

Źródło: Grzebisz i inni 2013.

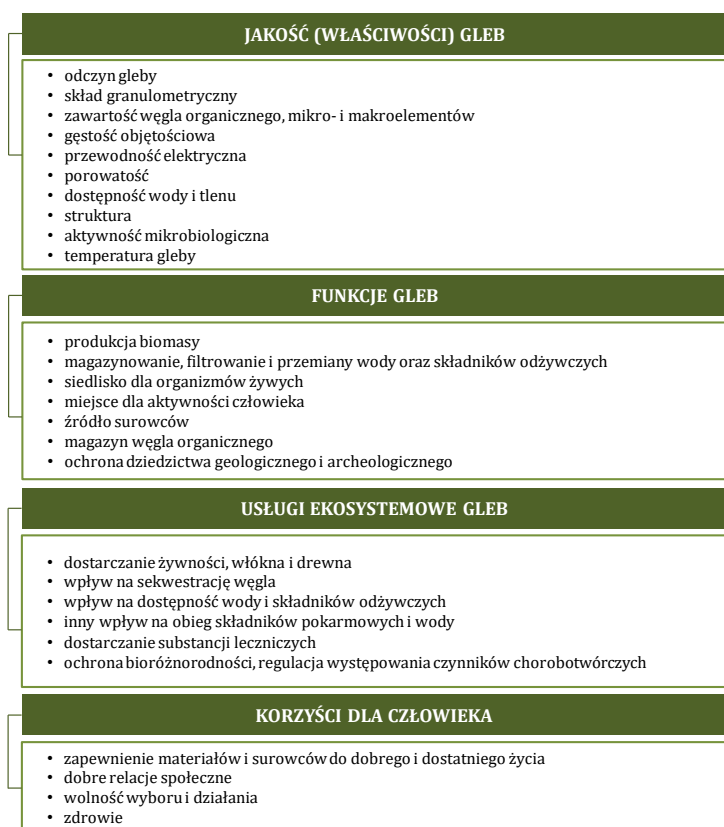
Uprawa roślin na zakwaszonych glebach, których kompleks sorpcyjny nie jest w stanie sorbować składników wnoszonych z nawożeniem mineralnym do gleby, sprzyja ich wymywaniu. Jak podaje Grzebisz i inni [2013] względna efektywność plonotwórcza nawozów NPK na glebach silnie zakwaszonych o $\text{pH}=4,5$ spada nawet poniżej 30,0% w porównaniu do gleb charakteryzujących się odczynem obojętnym ($\text{pH}=7,0$) (wykres 1). Dotyczy to zarówno azotu, fosforu, jak i potasu wnoszonych do gleby z nawożeniem mineralnym. Wymywanie składników nawozowych z zakwaszonych gleb powoduje ich straty oraz stwarza zagrożenie dla środowiska naturalnego.



Wykres 1. Względna efektywność plonotwórcza NPK w zależności od odczynu gleby

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Grzebisz i inni 2013.

Martinez-Saldago i inni [2010] podają, że najważniejszymi wskaźnikami jakości gleby dla rolników są: zawartość materii organicznej w glebie (zawartość próchnicy), infiltracja powiązana z uziarnieniem gleb (składem granulometrycznym określającym w glebie procentowy udział poszczególnych frakcji glebowych) oraz pH gleby. Smreczak i inni [2017] wskazują na kluczową rolę odczynu w kształtowaniu jakości gleby, obok składu granulometrycznego oraz zawartości węgla organicznego (zawartości próchnicy). Według tych autorów to wartości pH gleb wraz ze składem granulometrycznym i zawartością węgla organicznego stanowią trzy najważniejsze wskaźniki jakości gleby. Wskaźniki te wpływają na funkcje gleb w środowisku, w tym na produkcję biomasy, co przekłada się na możliwość dostarczania żywności, która jest niezbędna dla zapewnienia bezpieczeństwa żywnościowego człowieka (rysunek 2).



Rysunek 2. Zależności pomiędzy właściwościami, funkcjami i usługami ekosystemowymi gleb, a korzyściami dla człowieka

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Smreczak i inni 2017.

Zakwaszenie gleb w siedliskach naturalnych, niewykorzystywanych do produkcji rolnej, na których wykształciły się już odpowiednie zbiorowiska roślinne nie wpływa negatywnie na środowisko i jest procesem naturalnym. Przykładem takich siedlisk są np. bory suche, bory świeże, pod którymi występują gleby wytworzone w procesie bielnicowania. Innym przykładem silnie zakwaszonych gleb są gleby oligotroficznych siedlisk hydrogenicznych, np. torfowisk wysokich. Utrzymanie takich siedlisk ma niebagatelny wpływ na bioróżnorodność obszarów, w obrębie których występują. Zmiana odczynu gleb siedlisk naturalnych spowodowała by ich degradację. Inaczej sytuacja wygląda w przypadku gleb wykorzystywanych rolniczo, w których konieczne jest utrzymanie odpowiedniego odczynu. Gleby wykształcone z bezwęglanowych osadów fliszowych, glin i piasków fluwioglacjalnych charakteryzują się bowiem z natury niekorzystnym odczynem dla większości uprawianych w Polsce roślin.

2.3. Rola wapnowania we współczesnej agrotechnice

Przypisanie kluczowej roli wartości pH w określaniu jakości gleby jest uzasadnione z praktycznego punktu widzenia. Rolnicy w Polsce chcąc prowadzić produkcję żywności muszą bazować na glebach nie najlepszej jakości, co związane jest z ich pedogenezą. Rolnik nie może w sposób łatwy poprawić składu granulometrycznego gleb lekkich i bardzo lekkich, jak również zwiększyć w nich szybko i w prosty sposób zawartości próchnicy. W ramach doświadczeń polowych mających na celu określenie możliwości poprawy właściwości gleb bardzo lekkich i lekkich, prowadzono doświadczenia z wykorzystaniem skał górniczych, węgla kamiennego, osadów dennych lub gipsów do poprawy ich właściwości fizycznych [Baran i inni 1993, Maciejewska 1995, Baran i inni 2009, Łabętowicz i Szymańska 2010]. Doświadczenia te w większości wykazały pozytywny wpływ wymienionych powyżej materiałów na właściwości gleb. Jednak żadna z tych metod poprawy właściwości fizycznych i chemicznych gleb, pomimo obiecujących wyników doświadczeń, nie znalazła zastosowania na szeroką skalę. Było by to trudne do wprowadzenia w cykl zabiegów agrotechnicznych oraz nieuzasadnione ze względów ekonomicznych. Natomiast zoptymalizowanie odczynu gleby w trakcie zabiegów agrotechnicznych na gruntach rolnych jest łatwe do osiągnięcia. Wymaga jednak określenia potrzeb wapnowania, czyli konieczna jest systematyczna kontrola odczynu gleby w oparciu o proste analizy wykonywane przez okręgowe stacje chemiczno-rolnicze

(OSCH-R). Potrzeby wapnowania, według Pietra i Krysztoforskiego [2022] powinny zrównoważyć dekalcytację związaną z:

- zakwaszającym wpływem depozycji dwutlenku siarki i tlenków azotu (w ilości 37,2 kg CaO/ha),
- wymywaniem z gleby składników o charakterze zasadowym (w ilości 120–250 kg CaO/ha),
- odprowadzaniem wapnia i magnezu w plonie roślin (w ilości 20–300 kg CaO/ha).

Zszacunkowo ubytek CaO na 1 ha użytków rolnych można określić na poziomie 350–450 kg/ha w skali roku. Straty te powinny zostać uzupełnione poprzez dobranie odpowiedniego poziomu nawożenia odkwaszającego, które uwzględni również doprowadzenie gleby do optymalnego poziomu pH dla uprawianych gatunków roślin [Pietr i Krysztoforski 2022]. W Polsce istnieje silne zróżnicowanie przestrzenne produkcji roślinnej i jej intensywności. Zróżnicowany i niestety znacząco za niski jest również poziom nawożenia odkwaszającego gleb. W roku gospodarczym 2019/2020 zróżnicowanie poziomu wapnowania gleb w poszczególnych województwach w Polsce wahało się w granicach od około 51 kg CaO/ha UR w województwach świętokrzyskim i małopolskim do 144,5 kg CaO/ha UR w województwie opolskim [www.bdl.stat.gov.pl 2022]. Nawet w najlepiej pod tym względem wypadającym województwie opolskim, średni poziom nawożenia był 3-krotnie za niski, aby pokryć straty związane z depozycją ditlenku siarki, tlenków azotu, wymywaniem węglanów przez wody opadowe oraz z ubytkiem składników zasadowych odprowadzanych wraz z plonem.

Dane Głównego Urzędu Statystycznego (GUS) za lata 2010–2020 wskazują, że liczba stosowanych dawek nawozów odkwaszających zwiększyła się ponad dwukrotnie. Jednak biorąc pod uwagę genezę gleb użytkowanych rolniczo w Polsce, brak węglanów w większości ich skał macierzystych, warunki klimatyczne oraz intensywność upraw należy bezsprzecznie stwierdzić, że są to wartości zdecydowanie zbyt niskie aby pokryć opisane powyżej straty, jak również zoptymalizować odczyn gleb. Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy (IUNG-PIB) szacuje, że zapotrzebowanie krajowego rolnictwa na wapno wynosi ok. 31 mln t CaO, czyli przeciętnie około 2 t CaO/ha UR. Analizując dane dotyczące nawożenia uzyskane w ramach Powszechnego Spisu Rolnego za lata 2010–2020 można stwierdzić, że ilości nawozów wapniowych stosowanych przez rolników w Polsce są od kilkunastu do ponad 38-krotnie mniejsze od optymalnych.

Oczekiwanym efektem wapnowania jest zoptymalizowanie odczynu gleby do poziomu odpowiedniego do uprawy roślin. Na glebach lekkich

zaleca się stosowanie nawozów wapniowych w formie węglanowej, natomiast na glebach średnich i ciężkich w formie tlenkowej. Należy pamiętać, że efekty zabiegów wapnowania są zmienne w czasie. Bezpośrednio po zastosowaniu nawozów odkwaszających w odpowiednich dawkach kwasowość gleby ulega obniżeniu (wartość pH się zwiększa). Jednak już w następnych latach, w zależności od kategorii agronomicznej, gleba może ulegać w różnym tempie zakwaszeniu. Zakwaszenie gleb lekkich postępuje szybciej w porównaniu do gleb średnich i ciężkich o dużej pojemności kompleksu sorpcyjnego. Jak podaje Hołubowicz-Kliza i inni [2021], przy nawożeniu minimalnymi dawkami odczyn gleby można poprawić w ciągu 2–3 lat. Natomiast małe dawki nawozów odkwaszających (do 0,5 tony CaCO_3) na ha nie wpływają na podniesienie wartości pH gleby, zwłaszcza w przypadku silnie zakwaszonych gleb ciężkich. Tak niskie dawki nie pokrywają nawet strat związanych z dekalcytacją.

Aby ustalić odpowiednią dawkę nawozów odkwaszających konieczne jest określenie kategorii agronomicznej gleby oraz oznaczenie wartości pH gleby w roztworze 1 N KCl metodą potencjometryczną. Określenie kategorii agronomicznej gleby polega na oznaczeniu w glebie składu granulometrycznego. Najczęściej stosowanymi metodami oznaczania składu granulometrycznego gleby jest metoda areometryczna Prószyńskiego oraz metoda dyfrakcji laserowej wykorzystująca analizator wielkości cząstek. Na podstawie tych analiz możliwe jest określenie procentowego udziału w glebie frakcji piasku, pyłu oraz części spławianych. Stanowi to podstawę do wydzielenia 4 kategorii agronomicznych: gleb bardzo lekkich, lekkich, średnich i ciężkich. Na podstawie kategorii agronomicznej gleby oraz wartości pH mierzzonego w roztworze 1 N KCl zostały określone klasy wapnowania (tabela 9).

Tabela 9. Ocena potrzeb wapnowania gleb mineralnych (gruntów ornych)

Klasa wapnowania	Kategoria agronomiczna gleby (pH w 1 N KCl)			
	bardzo lekka	lekka	średnia	ciężka
Konieczne	< 4,0	< 4,5	< 5,0	< 5,5
Potrzebne	4,1–4,5	4,6–5,0	5,1–5,5	5,6–6,0
Wskazane	4,6–5,0	5,1–5,5	5,6–6,0	6,1–6,5
Ograniczone	5,1–5,5	5,6–6,0	6,1–6,5	6,6–7,0
Zbędne	> 5,6	> 6,1	> 6,6	> 7,1

Źródło: opracowanie własne na podstawie: www.dpr.iung.pl 2023.

Znając potrzeby wapnowania gleb można ustalić dawkę nawozów wapniowych w przeliczeniu na CaO (tabela 10). Niestety opisany sposób ustalania dawek nawozów wapniowych jest nieprecyzyjny. Dawki nawozów ustalano skokowo, na przykład dla gleby bardzo lekkiej o $\text{pH} < 4,0$ dawka nawozów wapniowych została określona na poziomie 3 ton, a dla tej samej gleby, ale o $\text{pH} = 4,1$ dawka nawozu wapniowego została określona na poziomie 2 ton. Jeszcze większe różnice w ustaleniu dawek nawożenia występują w przypadku gleb ciężkich. Dawka nawozów dla gleby ciężkiej o $\text{pH} < 5,5$ została ustalona na poziomie 6 ton, a dla tej samej gleby, jednak o $\text{pH} = 5,6$ została określona na poziomie tylko 3 ton. W związku z powyższym Instytut Uprawy i Nawożenia Gleb – Państwowy Instytut Badawczy (IUNG-PIB) przygotował w oparciu o przeprowadzone doświadczenia założone na glebach bardzo lekkich, lekkich, średnich i ciężkich nowe zalecenia w zakresie wapnowania. Zalecenia te zostały opublikowane w poradniku *Zasady ustalania dawek wapna w doradztwie nawozowym. Nowe zalecenia w zakresie wapnowania gleb gruntów ornych i trwałych użytków zielonych* [Jadczyzsyn i Lipiński 2022].

Tabela 10. Zalecane dawki nawozów wapniowych na grunty orne

Kategoria agronomiczna gleby	Klasa potrzeb wapnowania (CaO w t/ha)				
	konieczne	potrzebne	wskazane	ograniczone	zbędne
Bardzo lekka	3,0	2,0	1,0	–	–
Lekka	3,5	2,5	1,5	–	–
Średnia	4,5	3,0	1,7	1,0	–
Ciężka	6,0	3,0	2,0	1,0	–

Źródło: opracowanie własne na podstawie: www.dpr.iung.pl 2023.

Zastosowanie nowego sposobu ustalania dawek nawozowych daje możliwość określenia dawki nawozu wapniowego w oparciu o zmierzoną wartość pH gleby z dokładnością do 0,1 jednostki pH . Przykładowo dla gleby bardzo lekkiej o $\text{pH} = 4,0$ dawka nawozu wapniowego została ustalona na poziomie 2,8 t CaO/ha, a dla gleby o $\text{pH} = 4,1$ na poziomie 2,4 t/ha. W przypadku gleby ciężkiej o $\text{pH} = 5,5$ dawka nawozu wapniowego została ustalona na poziomie 2,5 t CaO/ha. W tabeli 4 podano przykład określania dawek nawozów wapniowych według nowych zaleceń dla gleb ciężkich. Szczegółowe wytyczne dotyczące dawek nawozów wapniowych na gruntach ornych oraz użytkach zielonych, w przeliczeniu na CaO/ha zostały opublikowane w poradniku *Zasady ustalania dawek wapna w doradztwie nawozowym*.

Nowe zalecenia w zakresie wapnowania gleb gruntów ornych i trwałych użytków zielonych [Jadczyzsyn i Lipiński 2022] (tabela 11).

Należy zaznaczyć, że większe dawki nawozów wapniowych zostały ze względów fizjologicznych podzielone na dwie dawki. Zbyt szybkie podniesienie pH w glebach silnie zakwaszonych, w każdej kategorii agronomicznej, może spowodować zaburzenia w przyswajalności składników mineralnych przez rośliny oraz zaburzyć funkcjonowanie mikroorganizmów glebowych. Opisany powyżej sposób ustalania dawek nawozów odkwaszających:

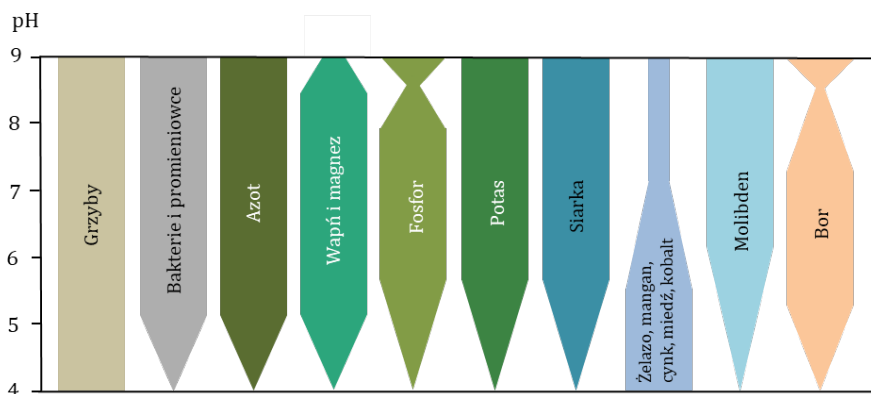
- daje możliwość bardziej precyzyjnego doboru dawek wapna,
- umożliwia dokładniejsze ustalenie wartości pH w glebie do poziomu optymalnego dla uprawianych roślin,
- ogranicza koszty doprowadzenia gleby do optymalnego poziomu pH.

Tabela 11. Przykład dawki CaO na gruntach ornych dla gleb ciężkich

Odczyn gleby	Zalecana dawka CaO [t/ha]	Podział dawki	
		Część I	Część II
Gleby ciężkie			
4,7	5,7	5,7	–
4,6	5,8	5,8	–
4,5	6,0	6,0	–
4,4	7,0	6,0	–
4,3	7,5	6,0	1,5
4,2	8,0	6,0	2,0
4,1	9,0	6,0	3,0
4,0	9,8	6,0	3,8
3,9	10,8	6,0	4,8

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Jadczyzsyn i Lipiński 2022.

Utrzymanie optymalnego poziomu pH gleby ma znaczenie w szczególności dla roślin silnie reagujących na zakwaszenie: pszenicy ozimej, pszenicy jarej, jęczmienia, kukurydzy, rzepaku, gorczyca, buraków cukrowych, buraka (pastewnego i ćwikłowego), bobiku, lucerny, koniczyny, nostryku, wyki, soi, kapusty pastewnej, kapusty białej, konopi, maku, cebuli, szpinaku, czosnku, selera, sałaty, wiśni, czereśni i śliwy. Optymalna wartość pH gleby dla tych roślin mieści się w przedziale od 6,0 do 7,5. Przy tych wartościach, zgromadzone w glebie składniki mineralne są łatwo dostępne dla roślin (wykres 2).



Wykres 2. Wpływ pH na przyswajalność składników pokarmowych oraz na aktywność biologiczną gleb

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Buckman i Bradi 1971.

Roślinami mniej wrażliwymi na zakwaszenie gleb są: żyto, owies, ziemniak, brukiew, rzepa, groch, fasola, marchew, len, słonecznik, cykoria, tymotka, jabłoń, grusza, agrest, porzeczka, malina, poziomka, ogórek i pomidor. Optymalna wartość pH gleb dla tych roślin mieści się w przedziale od 5,0 do 6,5. Do grupy roślin mało wrażliwych na zakwaszenie gleb (optymalne wartości pH gleb, na których mogą być uprawiane te rośliny są niższe od pH 5,0) należą: gryka, łubin żółty, seradela, tytoń, rzodkiew, rzepa czarna i rabarbar [Hołubowicz-Kliza i inni 2021]. Zabieg wapnowania powinien być włączony w cykl zabiegów agrotechnicznych związanych ze zmianowaniem. Wymagania roślin, zasady stosowania nawozów odkwaszających oraz optymalne wartości pH gleby zostały opisane w bogatej literaturze, związanej z uprawą roślin [Klapp 1951, Buckman i Brandy 1971, Lityński i Jurkowska 1982, Strzemiński i Siuta 1993, Hersy 1981, Jasińska i Kotecki 2003, Kotecki 2020].

Jak podają Hołubowicz-Kliza i inni [2021] pierwszy zabieg wapnowania ma na celu podniesienie pH gleby do poziomu zbliżonego do optymalnego. Przy pierwszych zabiegach wapnowania stosuje się wysokie dawki nawozów wapniowych i silnie zakwaszonych glebach ciężkich mogą one przekraczać nawet 10 t CaO/ha. Wysokie dawki powinny zostać podzielone. W przypadku silnie zakwaszonych gleb, niskie dawki nawozów odkwaszających nie spowodują podniesienia wartości gleb, a mogą wygenerować zwiększenie kosztów produkcji rolnej, poprzez co zostanie obniżona efektywność ekonomiczna gospodarstwa. Trzeba podkreślić, że wapnowanie gleb silnie zakwaszonych dawkami około 350–450 kg CaO/ha pokrywa

tylko straty składników zasadowych związane z ich odprowadzaniem z plonem, neutralizacją nawożenia mineralnego oraz wymywaniem. Po doprowadzeniu gleby do odpowiedniego poziomu pH można zmniejszyć dawki nawozów wapniowych stosując tak zwane wapnowanie zachowawcze, którego zadaniem będzie niedopuszczenie do ponownego obniżenia wartości pH w trakcie uprawy.

Wapnowanie gleb to bardzo ważny element prowadzonej gospodarki nawozowej [Lityński i Jurkowska 1982, Mocek 2015, Kotecki 2020]. Przeciwdziałając zakwaszeniu gleby wpływa ono na poprawę jej struktury, wzmacnia jej kompleks sorpcyjny i zdolności retencyjne wody [Dobrzański i Zawadzki 1995, Bednarek i inni 2004, Mocek 2015]. Ten pozytywny wpływ przejawia się polepszeniem zasobności i żyzności gleb, tj. niezmiernie ważnych aspektów w zrównoważonej produkcji rolnej [Lityński i Jurkowska 1982, Komisja Europejska 2020b]. Wzrost wartości pH powoduje polepszenie efektywności wykorzystania azotu i fosforu przez rośliny uprawne oraz zmniejszenie mobilność glinu, manganu i innych metali ciężkich, co powoduje ich zatrzymanie w glebie i nie wbudowywanie ich do obiegu gleba-roślina. Przy niskim pH występuje zagrożenie uruchomienia rozpuszczalnych form metali ciężkich [Dobrzański i Zawadzki 1995, Bednarek i inni 2004, Mocek 2015]. Ułatwione w takich warunkach pobranie ich przez rośliny uprawne powoduje, że jakość uzyskanych plonów jest wątpliwa. Zwłaszcza, gdy rośliny stanowią elementy łańcuchów troficznych człowieka lub zwierząt hodowlanych. Jest to bardzo poważne zagrożenie zdrowotne [Hersy 1981, Lityński i Jurkowska 1982, Kotecki 2022].

Rośliny uprawne mogą prawidłowo przejść proces swojego rozwoju i wydać adekwatnie duży plon o odpowiednich parametrach jakościowych jedynie w warunkach, gdy areał na którym są uprawiane ma uregulowany odczyn glebowy w zależności od ich gatunkowych wymagań. Dla zdecydowanej większości roślin uprawianych w Polsce najodpowiedniejszy dla ich wzrostu, rozwoju oraz plonowania odczyn gleb mieści się w przedziale od lekko kwaśnego do zasadowego (pH 5,6–7,0) [Lityński i Jurkowska 1982, Filipek i inni 2015, Kotecki 2022]. Ze względu na zrównoważoną gospodarkę rolną bardzo ważna jest popularyzacja wśród rolników tworzenia planów nawożenia ich areału uprawnego. Plany te powinny opierać się na aktualnych wynikach badań glebowych umożliwiających dokładne dostosowanie nawożenia nie tylko do optymalnych potrzeb prowadzonych upraw polowych, ale przede wszystkim ustalenie stopnia zakwaszenia gleb (bardzo poważny problem w polskich warunkach) i opracowanie optymalnego planu wapnowania [*Plan Strategiczny...* 2022].

Odczyn gleby jest czynnikiem, który w znaczący sposób reguluje procesy przemian węgla i azotu. Gazowe związki tych pierwiastków emitowane z gleb stanowią znaczące źródło zanieczyszczenia atmosfery, które z kolei są przyczyną intensyfikacji procesów globalnego ocieplenia, zakwaszenia opadów atmosferycznych oraz ubytków w warstwie ozonowej. Wapnowanie gleb, które reguluje wartości ich pH, przyczynia się do odwrócenia tego procesu poprzez zatrzymywanie związków tych pierwiastków pochodzenia glebowego i atmosferycznego. Dodatkowo może potencjalnie niwelować straty gazowe węgla i azotu w postaci ditlenku węgla, metanu, tlenków azotu, tlenku diazotu i amoniaku. Emisja i sekwestracja CO₂ w glebach po zastosowaniu zabiegu wapnowania jest efektem nie tylko rozpuszczenia zastosowanego nawozu odkwaszającego, ale także jego wpływem na ilość, jakość i przemiany substancji organicznej, która stanowi potencjalne źródło lub rezerwuuar tego związku [Filipek i inni 2015].

Wapnowanie ma również znaczenie w aspekcie ograniczenia emisji metanu. Badania Hamiltona i innych [2007] potwierdziły, że w wyniku procesu rozpuszczania wapna nawozowego nastąpiło związanie w glebie 20,0–50,0% węgla dostarczonego do niej wraz z nawozem. Ilość wyemitowanego z gleb do atmosfery metanu warunkowana jest równowagą procesów jego utleniania i produkcji, na które oddziałują jony wodorowe zawarte w kompleksie sorpcyjnym gleb [Barton i inni 2010]. Produkcja metanu zachodzi w warunkach beztlenowych, ale prowadzą ją neutrofile. Zastosowanie wapnowania ma wpływ na ten proces, z jednej strony nasila powstawanie metanu poprzez uzyskanie dla nich optymalnego pH i wzrost dostępności łatwo rozkładalnego węgla, a z drugiej ogranicza ilość powstającego metanu. Ograniczenie to jest efektem poprawy struktury gleby czyli zmniejszenia ilości i czasu występowania w niej makroprzestrzeni o warunkach beztlenowych [Barton i inni 2013].

Wapnowanie gleb jako zabieg stosowany w celu przeciwdziałania zakwaszeniu gleb [Lityński i Jurkowska 1982, Kotecki 2022] znacząco wpływa na regulację wymywania biogenów i metali ciężkich z profilu glebowego [Starmach i inni 1976, Hillel 2012]. Ładunek biogenów pochodzenia rolniczego stanowi w warunkach fizjograficznych Polski bardzo poważne źródło zanieczyszczeń wód podziemnych i powierzchniowych prowadzących do wzmożenia ich eutrofizacji (w tym Morza Bałtyckiego) [Dobrzański i Zawadzki 1995, Bednarek i inni 2004, Mocek 2015]. Wymywane z zakwaszonych gleb składniki nawozowe, które w takich niekorzystnych warunkach nie zostały efektywnie wykorzystane przez rośliny stanowią nie tylko poważne zagrożenie środowiskowe (zanieczyszczenie wód), ale powodują

straty ekonomiczne samych zabiegów nawożenia mineralnego (NPK) [Hersey 1981, Lityński i Jurkowska 1982, Kotecki 2022].

Wapnowanie gleb przyspiesza i zwiększa mineralizację azotu i uruchamia jego formę amonową z zawartej w glebie materii organicznej. Powoduje też zwiększenie tempa nitrifikacji poprzez wzrost aktywności mikroorganizmów nitryfikujących (przy spadku aktywności jej inhibitorów) i dostępności azotu amonowego. W przypadku fosforu, wapnowanie gleb prowadzi początkowo do zwiększenia jego ilości w roztworze glebowym wskutek ograniczenia oddziaływania glinu, a także do ograniczenia adsorpcji specyficznej, wzrostu rozpuszczalności oraz przyspieszenia mineralizacji. Jednak w przypadku znacznego wzrostu pH może dojść do wiązania fosforanów przez wapń (powstają wówczas nierozpuszczalne związki fosforanów wapnia i apatytów). Wapnowanie przyczynia się też znacząco do zmiany stanu równowagi pomiędzy aktywnymi formami wapnia, magnezu i potasu w glebie. W efekcie zastosowania tego zabiegu następuje spadek tempa wietrzenia minerałów, zwiększenie pojemności kompleksu sorpcyjnego i wypieranie z niego jonów wodorowych i glinu. Poza tym w wyniku intensywnej sorpcji wymiennej może nastąpić spadek zawartości potasu i magnezu w roztworze glebowym, co blokuje wymywanie ich z gleby [Filipek i inni 2015].

Według Goulding i Blake'a [1998a, 1998b] wapnowanie pozytywnie wpływa też na jakość i ilość plonu poprzez stymulację rozwoju nie tylko bakterii wiążących azot, ale też tych, które biorą udział w hydrolizie białek, amonifikacji, utlenianiu siarki oraz szeregu innych procesów i przemian wpływających na dostępność składników pokarmowych dla roślin. Wapnowanie użytków zielonych ma także korzystny wpływ na skład chemiczny runi łąkowej oraz poprawia jakość oraz ilość paszy uzyskanej z danej powierzchni użytku zielonego. W znaczny sposób działa pozytywnie na skład botaniczny kwaśnych łąk, co zdecydowanie polepsza smakowitość uzyskiwanych pasz i podnosi wartość odżywczą ziół [Grzywnowicz 1998, Čop 2014]. Ponadto, według Golińskiego [2006] zastosowanie wapna na arealach łąk i pastwisk produkcyjnych poprawia też kondycję roślinności trawiastej na przylegających do nich użytkach zielonych ekstensywnie użytkowanych oraz wzbogaca w wapń cały sąsiadujący ekosystem.

Zastosowanie wapnowania, które przyczynia się do zmniejszenia wymywania biogenów z gleb terenów rolniczych przyczynia się także do zmniejszenia eutrofizacji siedlisk naturalnych. Wpływa to na ograniczenie zmiany struktury gatunkowej na tych siedliskach i pozwala na zachowanie naturalnej bioróżnorodności. W przypadku zaistniałych już zmian siedliskowych wskutek procesów eutrofizacji, może doprowadzić do ich częściowego zaha-

mowania i odbudowy naturalnego składu gatunkowego, w tym roślin i zwierząt gatunków rzadkich, endemicznych, zagrożonych, wpisanych na czerwone listy gatunków zagrożonych wyginięciem. Intensyfikacja lub wręcz włączenie zabiegu wapnowania gleb realizuje założenia postawione w ramach strategii ochrony bioróżnorodności UE [*Komisja Europejska 2020a*].

Zabieg wapnowania włączony do prowadzonej w sposób racjonalny i zrównoważony gospodarki nawozowej, wpływa również korzystnie na jej bilans ekonomiczny. Zastosowanie wapna, które umożliwi częściową redukcję ilości stosowanych nawozów NPK, obniża poniesione koszty na zakup i zastosowanie tego typu nawozów. Wapnowanie, jako dodatkowy zabieg generujący koszty (zakup i zastosowanie), bilansuje je dodatkowo poprzez uzyskane efekty, do których należy poprawienie jakości gleb oraz zwiększenie ilości uzyskanych płodów rolnych. Pozytywnie wpływa on również na ograniczenie poboru przez rośliny uprawne metali ciężkich, występujących w glebach. W przypadku pojawienia się w podłożu pierwiastków toksycznych nie tylko dla samych roślin, ale całego łańcucha pokarmowego, najważniejsze jest bowiem zmniejszenie zakresu ich dalszego rozprzestrzeniania.

Pożądane jest zatem stworzenie optymalnych warunków do przejścia form jonowych pierwiastków toksycznych (łatwo pobieranych przez korzenie roślin z roztworu glebowego) do form trudnodostępnych, co pozwala na ich unieruchomienie. Przyczyniają się do tego procesy adsorpcji (najefektywniejszą jest niewymienna), tworzenia się trwałych kompleksów z próchnicą glebową oraz wytrącania w postaci związków trudno rozpuszczalnych [*Bednarek i inni 2004*]. Temu ostatniemu procesowi sprzyja na ogół odczyn bliski obojętnego, do którego można doprowadzić właśnie przeprowadzając odpowiednio przygotowany zabieg wapnowania gleby. Według Barana i Turskiego [1996] w przypadku jednorazowego zanieczyszczenia gleby metalami ciężkimi, relatywnie tanim i skutecznym zabiegiem rekultywacyjnym jest właśnie zwapnowanie jej nieco bardziej, tj. do poziomu odczynu zasadowego.

Zarówno wysokość nawożenia NPK, jak i innych składników pokarmowych dostarczanych roślinom powinny być dostosowane zarówno do potrzeb roślin, jak również do warunków klimatyczno-glebowych, przebiegu pogody i stanowiska. Dzięki temu rośliny będą mogły swobodnie zaspakać swoje potrzeby pokarmowe. W przeciwnym wypadku ponoszone wydatki oraz nakłady pracy nie będą w pełni efektywne, a znaczna część z nich może być marnowana. Jednym z warunków optymalizacji nawożenia mineralnego, zarówno z technologicznego, jak i ekonomicznego punktu widzenia jest doprowadzenie gleby do takiego stanu, który będzie umożliwiał optymalny wzrost i rozwój roślin.

3. Efektywność ekonomiczna nawożenia

3.1. Ekonomiczne aspekty wapnowania gleb

Prawidłowy rozwój i wysokie plony roślin są wypadkową szeregu synergicznie oddziałujących ze sobą czynników. Jednym z nich jest odczyn gleby. Dla większości roślin optymalna wartość pH wynosi 5,5–7,0. Wraz z rosnącym zakwaszeniem gleby zmniejszają się możliwości przyswajania przez rośliny kluczowych pierwiastków takich jak fosfor, potas, magnez czy molibden. Co więcej, w przypadku gleb bardzo kwaśnych fosfor staje się dla roślin zupełnie niedostępny uwsteczniając się do formy fosforanu żelaza lub glinu. Inne składniki: potas, wapń i magnez, przemieszczają się w głąb gleby poza zasięg korzeni roślin [Domska i inni 1998, Rutkowska i inni 2002, Kucharzewski i Dębowski 2000]. Nie dziwi więc, że teoria i praktyka rolnicza zgodnie akcentują fakt, że odczyn gleby wywiera istotny wpływ na wynik ekonomiczny działalności rolniczej [Piwowar 2011, Piwowar 2013]. W kontekście gwałtownie drożących środków produkcji (paliw i nawozów) konsekwentne stosowanie wapnowania nabiera jeszcze większego znaczenia, ponieważ uregulowane pH stanowi punkt wyjścia do efektywniejszego wykorzystania nawozów i zwiększenia potencjału plonowania roślin. Jak podaje Instytut Rolnictwa Precyzyjnego (IRP), na bardzo kwaśnych glebach ($\text{pH} \leq 4,5$) katastrofalnie spada przyswajalność składników pokarmowych [*www.rolnictwo.precyzyjne.eu* 2022]:

- azotu (odpowiedzialnego za chlorofil w części zielonej) o 70,0%,
- fosforu (determinującego rozwój systemu korzeniowego) o 77,0%,
- potasu (niezbędnego do transportu makroelementów) o 67,0%,
- siarki (uodparniającej rośliny na choroby grzybowe) o 71,0%,
- wapnia (odpowiadającego za jakość plonów) nawet o 80,0%.

Tymczasem przy uregulowanym odczynie, zbliżonym do obojętnego wszystkie wyżej wymienione składniki mogą zostać przyswojone przez rośliny praktycznie w 100,0%. A przecież nie jest to jedyny argument. Zwraca się uwagę na degradację struktury zakwaszonej gleby, rozpuszczalność w niej metali ciężkich oraz podatność na zachwaszczenie. Decyzji o nawożeniu wapniowym towarzyszy szereg pytań, z których cena takiego zabiegu

niewątpliwie będzie aspektem kluczowym. Ale istotne z punktu widzenia rolnika byłoby też rozstrzygnięcie:

- jakich i kiedy rezultatów (korzyści) wapnowania można oczekiwać?
- jaki nawóz wapniowy należałoby wybrać?
- czy i kiedy (jeśli tak) opłaca się zamówić usługę wapnowania specjalistycznym sprzętem?

Czas pełni w rolnictwie ogromną rolę. Większość procesów trwa długo, więc opóźnienie między przyczyną a skutkiem jest naturalne (np. siew-wschód, wschód-krzewienie). Efekty wapnowania także pojawiają się z opóźnieniem – zwykle wykraczają one poza jeden sezon. Działanie nawozów wapniowych ujawnia się w największym stopniu w drugim, a nawet dopiero trzecim roku po ich zastosowaniu. Dlatego dobrze jest, gdy są one stosowane pod przedplon roślin, które najkorzystniej reagują na wapnowanie. W przypadku niektórych nawozów wapniowych, efekty ich stosowania można jednak zaobserwować już w pierwszym plonie, a w okresie 2–3 miesięcy od ich zastosowania poziom pH gleby może wzrosnąć nawet o jedną jednostkę. Rezultaty będą uzależnione nie tylko od samej gleby, ale też od uprawianych na niej roślin.

Chociaż nawożenie wapniowe wymaga poniesienia dodatkowych nakładów, to jednak w kategoriach nakład-efekt należy na ten zabieg agrotechniczny spojrzeć jako na ważny element optymalizacji kosztów w gospodarstwie. Właściwy odczyn gleby daje rolnikowi możliwość stosowania niższych dawek nawozów i środków ochrony roślin bez utraty efektów gospodarowania. Akcentuje się też, że odczyn zbliżony do obojętnego (pH=7,0) blokuje powstawanie w glebie związków szkodliwych dla roślin, a więc w sposób pośredni przyczyni się do ich lepszej zdrowotności. Z doniesień i opracowań branżowych, a także z danych statystycznych wynika, że wapnowanie nie jest w polskim rolnictwie odpowiednio doceniane. W tym kontekście konsternację budzi fakt, że zużycie wapna w skali kraju zaspokaja rocznie tylko 30,0% faktycznego zapotrzebowania. W niektórych regionach średnie zużycie wapna wynosi niespełna kilkadziesiąt kg/ha UR. W sposób oczywisty nasuwa się zatem pytanie: dlaczego rolnicy nie wapnują swoich gleb i jakie są motywy zaniechania tego ważnego zabiegu agrotechnicznego?

Na obszarach rozdrobnionych agrarnie (województwa: małopolskie i podkarpackie) istnieje większy odsetek rolników, którzy odkładają lub marginalizują zabieg wapnowania. Można przypuszczać, że kierując się strategią minimalizacji nakładów stosują niewielkie dawki tego nawozu (jeśli uda się nabyć wapno okazjonalnie) lub robią to nieregularnie. Oprócz braku świadomości istotną rolę w przypadku zaniechania lub niedostatecznego wapnowania prawdopodobnie stanowi koszt, który trzeba ponieść na zakup tego

nawozu. Wapno nie będzie jednak jedynym kosztem poniesionym przez rolnika, a o efekcie (plonie), który nigdy nie jest pewny i na który trzeba poczekać, przesądzi podjęcie całego szeregu zabiegów agrotechnicznych (m.in. siew, nawożenie, zastosowanie środków ochrony roślin, regulatorów wzrostu, a niekiedy też i nawadnianie) oraz czynnik, na który rolnik nie ma wpływu – warunki hydrotermalne. W ujęciu teorii gier można powiedzieć, że rolnictwo to gra z naturą, w którą wpisane jest ryzyko: pewne jest, że rolnik musi ponieść cały szereg nakładów, ale odłożony w czasie efekt nigdy nie jest pewny.

W drobnych, często dwuzawodowych gospodarstwach, ekstensywna produkcja rolnicza nie stanowi istotnego źródła dochodu rodziny rolnika. Jest podejmowana często tylko na samozaopatrzenie. W takich sytuacjach zaniechanie lub marginalizacja zabiegu wapnowania wydaje się być najbardziej prawdopodobna, a nawet z punktu widzenia rolnika – racjonalna. Zupełnie inaczej wygląda sytuacja większych gospodarstw rolnych, gdzie produkcja rolnicza stanowi główne lub nawet jedyne źródło utrzymania rodziny rolnika. W tym przypadku częściej spotykana jest strategia maksymalizacji efektu i trudno sobie wyobrazić, aby realizując ją rolnik zaniechał wapnowania. W takich gospodarstwach odczyn jest częściej kontrolowany, a wapnowanie precyzyjnie kompensuje skutki uboczne stosowania nawozów azotowych i wnoszenia wapnia z plonem.

Reasumując, w ujęciu ekonomicznym oszczędność z tytułu zaniechania wapnowania jest tylko pozorna. Na zakwaszonej glebie zużycie nawozów i środków ochrony roślin musi być bowiem znacznie większe. Marnowana jest także znacząca część potencjału plonowania. Bardzo wysokie ceny nawozów mogą jednak diametralnie zmienić spojrzenie na wapnowanie. Z chwilą gdy 1 t nawozu mineralnego (np. saletry amonowej) kosztowała około 5 000,00 PLN konieczne stawało się poszukiwanie rozwiązań jak najlepszego wykorzystania tego istotnego środka produkcji [www.farmer.pl 2022]. Pierwszym krokiem powinno być uregulowanie pH gleby poprzez wapnowanie. Ważnym aspektem ekonomicznym wapnowania jest dobór nawozu do specyfiki gleby. Wzrost kwasowości można uznać za naturalne, uwarunkowane czynnikami środowiskowymi, zjawisko zachodzące w glebie. Jednak na gruntach użytkowanych rolniczo proces ten jest potęgowany czynnikami antropogenicznymi. Jak podaje portal Farmer.pl, zniwelowanie zakwaszenia spowodowanego samym tylko nawożeniem azotowym wymaga 1,5–2 kg CaO na każdy kilogram wniesionego na grunt azotu. A zatem w sytuacji stosowania nawozów mineralnych, a przy rezygnacji z wapnowania, efekt zakwaszenia nie będzie się utrzymywał na tym samym poziomie, lecz będzie się on wzmacniał z każdym sezonem. Jego skutkiem będzie spowolnienie wzrostu roślin wraz z ich osłabioną odpornością na ekstrema pogodowe. Pogarszać się

też będą struktura i właściwości gleby. Mniejsze będą jej zdolności buforowe. Wzrośnie toksyczność pierwiastków takich jak glin, kadm, nikiel czy ołów.

Skutki ekonomiczne zakwaszenia gleby stają się wymierne choćby w kontekście marnowanych nawozów mineralnych. Rozważając sytuację, że na zakwaszonej glebie nastąpi spadek przyswajalności fosforu i wymywanie potasu, można oszacować efekty finansowe tego zjawiska. Przyjmijmy, że przy średniej zasobności gleby w te pierwiastki rolnik zastosował zgodnie z instrukcją producenta 40 kg nawozu *Polifoska 6* na każdą przewidywaną tonę wyprodukowanego ziarna. Przy plonie 5 t, hektar gruntu obsianego zbożem wymagał więc zaaplikowania 200 kg nawozu, co dało jednostkowy koszt 1 000,00 PLN/ha. Ale jeśli 25,0–50,0% z dostarczonych w nawozie pierwiastków nie zasili roślin lub zostanie utracona, to choć zastosowano właściwą dawkę nawozu zmarnowano 250,00–500,00 PLN na 1 ha nawożonego gruntu – oczywiście z wymiernym skutkiem niższego plonu po stronie przyszłych efektów. Ten przykład dowodzi, że wymagające dziś bardzo wysokich nakładów nawożenie mineralne staje się w sytuacji niekontrolowanego zakwaszenia gleby mało efektywne.

Pytanie o wybór nawozu wapniowego odnosi się do kilku aspektów: rodzaju tego nawozu i jego reaktywności, a także odległości i kosztu transportu. Reaktywność determinuje stopień rozdrobnienia i zawartość czystego tlenku wapnia. Czyste wapno tlenkowe ma 100,0% reaktywność. Wybór takiego nawozu wydawałby się szczególnie uzasadniony zwłaszcza na glebach ciężkich, jednak przy rosnących cenach wapno takie może ustępować opłacalnością okazjnie kupionemu wapnu o niskiej reaktywności, choć oczywiście tego drugiego trzeba zastosować nawet 2–3 razy więcej dla uzyskania porównywalnego efektu. W obecnej sytuacji geopolitycznej istotną rolę w kalkulacjach wyboru nawozu wapniowego odgrywać może też cena paliwa. Determinuje ona koszt transportu wapna na pole rolnika oraz koszt aplikacji tego nawozu. Warto też zauważyć, że reaktywność to z jednej strony gwarancja szybkiego efektu, ale z drugiej zagrożenie dla uprawy. W zbyt dużej dawce działanie wapna tlenkowego może okazać się gwałtowne i destrukcyjne dla roślin. Dlatego wapno tlenkowe stosuje się w możliwie dużym odstępnie czasowym od siewu. Ponadto, tego nawozu nie powinno się stosować pogłównie. Zwraca się też uwagę, że nawóz tlenkowy, łatwo rozpuszczalny w wodzie, zastosowany na glebie lekkiej może wręcz pogorszyć jej strukturę [www.agrofakt.pl 2022]. A zatem niedostosowanie rodzaju nawozu wapniowego do gleby spowoduje, że nie spełni on swojego zadania. Bezpieczniejsze w stosowaniu wydaje się wapno węglanowe. Biorąc pod uwagę jego mniejszą reaktywność preferuje się taki nawóz do odkwaszania

gleb lekkich. Mniejsza reaktywność wapna węglanowego wymaga jednak użycia większej ilości takiego nawozu.

Podjmując decyzję o zakupie wapna rolnik musi rozważyć formę tego nawozu. Wapno pyliste będzie miało większą reaktywność, ale jego konsystencja wymagać będzie specjalistycznego sprzętu, a mianowicie rozsiewacza z adapterem ślimakowym. Transport takiego nawozu wymaga użycia cysterny i przeładunku pneumatycznego. Generalnie wybór takiego wapna ma sens gdy jest ono kupowane z usługą wapnowania, co oczywiście dodatkowo podniesie koszt uregulowania odczynu gleby. Wapno granulowane można zaaplikować przy użyciu zwykłego rozsiewacza do nawozów i nie trzeba go mieszać z glebą, ale nawóz taki będzie zdecydowanie droższy, a jego cena może sięgać nawet 1 000,00 PLN/tonę [*www.farmer.pl* 2022]. Portal Agrofakt.pl zwraca uwagę na optymalny okres zakupu wapna [*www.agrofakt.pl* 2022]. Nie jest on tożsamy z optymalnym terminem samego zabiegu wapnowania, za który uchodzi jesień (okres późniwny, rośliny w stanie spoczynku, temperatury bardziej umiarkowane, a wilgotność gleby wyższa) [*www.agrecol.pl* 2022]. Rolnicy kupują ten nawóz zazwyczaj zaraz po żniwach, ale wówczas cena i dostępność pozostawiają wiele do życzenia [*www.agrofakt.pl* 2022]. Tymczasem wiosną i zimą upusty w cenach wapna mogą sięgać nawet kilkunastu procent. Także jeszcze w maju i czerwcu dostępność nawozu jest większa, a ceny korzystniejsze ze względu na mniejsze wykorzystanie środków transportowych w firmach sektora agrobiznesu.

Reasumując, jeśli rolnik jest nastawiony na maksymalizację efektów, to generalnie nie powinien zaprzestawać wapnowania gleb. Takie zaniechanie skutkuje bowiem obniżką plonów. Wapnowanie postrzega się więc jako działanie zachowawcze, które nie dopuszcza do spadku pH gleby, jednocześnie lepiej jest wapnować pola co roku mniejszymi dawkami [Hołubowicz-Kliza 2006, Hołubowicz-Kliza i inni 2021]. Przy takiej strategii przyjmuje się, że na gleby lekkie powinna na ogół wystarczyć dawka 1 t/ha, a na gleby ciężkie 2 t/ha. Mając na uwadze, że żadna skrajność nie jest dobra, od wapnowania pól dużymi dawkami raz na kilka lat odchodzi się ze względu na niebezpieczeństwo przedawkowania tego nawozu. Właściwie wykonywane wapnowanie, w odpowiednich czasookresach, realizowane przez co najmniej 3–4 lata, powoduje wzrost plonów w dłuższym okresie i kumulowanie nadwyżek [*www.swiatrolnika.pl* 2022]. Chemiczne, fizyczne i biologiczne efekty wapnowania kumulują się wówczas w gospodarstwie dając rolnikowi wymierne korzyści ekonomiczne [Krysztoforski 2019]. Wapnowanie daje w takiej sytuacji długofalowe efekty w postaci poprawy żyzności gleby i zapewniając trwałość gospodarowania.

Nie ulega wątpliwości, że nawet intensywna produkcja rolna nie powinna prowadzić do degradacji potencjału produkcyjnego gleb. Racjonalne nawożenie, zgodne z zasadami zrównoważonego rozwoju, powinno bilansować potrzeby pokarmowe roślin i jednocześnie nie tworzyć wysokich rezerw składników pokarmowych w glebie. Zastosowanie nawożenia przez producentów rolnych powinno być przy tym uzasadnione nie tylko względami ekonomicznymi, ale również społecznymi [Piwowar 2013]. Niemniej w praktyce bardzo trudno pogodzić jest cele ekologiczne i ekonomiczne. Wydaje się, że skuteczna w tym zakresie może być koncepcja Europejskiego Zielonego Ładu (EZŁ), o ile zostanie wyposażona w odpowiednie instrumenty finansowe rekompensujące rolnikom koszty działań prośrodowiskowych lub opłacając ze środków publicznych świadczone przez nich usługi publiczne na rzecz podnoszenia jakości środowiska.

3.2. Pomiar rentowności i efektywności ekonomicznej gospodarstw rolnych

Rentowność zwana również dochodowością rozumiana jest w naukach ekonomicznych, jako zdolność przedsiębiorstwa do generowania zysku. W gospodarstwach rolnych, będących specyficznymi podmiotami gospodarczymi, w zasadzie nie używa się kategorii zysku jako miernika ich wyniku ekonomicznego. Podstawową kategorią ekonomiczną opisującą efekty funkcjonowania gospodarstwa rolnego jest jego dochód, który stanowi łączne wynagrodzenie wszystkich zaangażowanych w działalność rolniczej czynników produkcji oraz opłatę za zarządzanie gospodarstwem i ponoszone przez rolnika ryzyko gospodarcze. W analizach rentowności (dochodowości) gospodarstw rolnych można posługiwać się kategoriami bezwzględny, opisującymi wysokość dochodu z gospodarstwa rolnego, porównując tą kategorię pomiędzy różnymi podmiotami lub ich grupami zarówno w układzie statycznym, jak i dynamicznym. Można również wykorzystywać wskaźniki względne uwzględniające wyposażenie gospodarstwa w zasoby czynników produkcji. Można wówczas mówić o dochodowości np. ziemi, pracy i kapitału.

Wykorzystanie wskaźników względnych nosi również znamiona analizy efektywności ekonomicznej. Przez efektywność ekonomiczną rozumie się takie działanie, którego celem jest osiągnięcie danego efektu przy wykorzystaniu jak najmniejszej ilości dostępnych zasobów lub też osiągnięcie najlepszego rezultatu przy wykorzystaniu określonej ilości zasobów. Ocena efektywności ekonomicznej sprowadza się więc do porównania osiąganych efektów i poniesionych nakładów. W prowadzonych analizach efektywno-

ści gospodarstw rolnych najczęściej jako efekt tej działalności przyjmuje się dochód rolniczy [Wasilewski i Mądra 2007, Wojewodziec 2017], nadwyżkę bezpośrednią [Ziętara 1998], wartość produkcji ogółem [Ziętara i Zieliński 2012], wartość dodaną brutto [Kołodziejczak 2008, Nowak 2013], wyrażając je w odniesieniu do nakładów ziemi, pracy lub kapitału. Pojęcie efektywności bardzo mocno związane jest więc z pojęciem racjonalności. Gospodarstwa rolne, podobnie jak inne przedsiębiorstwa dążą do poprawy efektywności ekonomicznej w układzie dynamicznym.

Podstawowym zasobem gospodarstwa rolnego jest ziemia. Jej niepomnażalność, jak również inne cechy szczególne powodują, że to właśnie zasoby ziemi stają się głównym punktem odniesienia w analizach rentowności i efektywności działalności rolniczej. Dlatego też przy poszukiwaniu wpływu wapnowania na efektywność działalności rolniczej wykorzystano przede wszystkim wskaźniki wyrażające efekty ekonomiczne prowadzonej działalności w przeliczeniu na ha UR (efektywność ekonomiczna, dochodowość ziemi). Podjęte rozważania, bazujące na danych rachunkowości rolnej FADN nie wyczerpują zagadnienia efektywności jako takiej. Nie uwzględniono bowiem czynników organizacyjnych, technicznych, społecznych, środowiskowych i marketingowych, które również mogą mieć wpływ nie tylko na efekty ekonomiczne działalności gospodarstw rolnych, ale również na wielowymiarową efektywność funkcjonowania rolnictwa, czy gospodarki jako całości.

Pomiar nakładów oraz rezultatów, a tym samym ocena efektywności podejmowanych działań mogą być jednak bardzo utrudnione. W przypadku oceny efektywności wapnowania na bazie danych masowych, problemy te wynikają przede wszystkim z trudnych do uchwycenia i skwantyfikowania różnic w zakresie m.in.:

- warunków przyrodniczych, w jakich prowadzona jest produkcja rolnicza,
- zróżnicowania warunków organizacyjnych, w jakich funkcjonują poszczególne gospodarstwa,
- zróżnicowania technologii produkcji,
- zróżnicowania cen środków produkcji oraz sprzedaży produktów rolnych,
- jakości i formy stosowanych nawozów wapniowych, ich właściwości oraz technologii i strategii stosowania (terminu, częstotliwości, wysokości dawek).

Cechy te, obok niedoskonałości systemu gromadzenia danych o kosztach i efektach produkcji, bardzo ograniczają możliwości oceny efektywności ekonomicznej zabiegu wapnowania gleb na podstawie danych masowych, w tym także danych FADN. W kontekście prowadzonych badań nad

efektywnością zabiegu wapnowania gleb niezmiernie ciekawą kwestią, choć wykraczającą poza zakres prowadzonych obecnie analiz jest efektywność środowiskowa wapnowania. Termin ten można byłoby zdefiniować jako relację łącznych efektów środowiskowych zabiegu wapnowania do sumy nakładów prywatnych (działań podejmowanych przez rolników) i publicznych (programów, dotacji) poniesionych na odkwaszanie gleb. Kluczowym działaniem w takiej ocenie byłoby wypracowanie metodyki identyfikacji, pomiaru i wyceny efektów środowiskowych wapnowania, m.in. takich jak:

- ograniczenie eutrofizacji gleb,
- ograniczenie wysokości nawożenia mineralnego,
- wpływ na bioróżnorodność przyrodniczą flory i fauny,
- wpływ na jakość płodów rolnych i zdrowie osób je spożywających,
- wpływ pozyskiwania i transportu nawozów wapniowych na środowisko.

Zagadnienie to, chociaż bardzo ciekawe, wykracza poza zakres przedmiotowej monografii. Można przypuszczać jednak, że w niedalekiej przyszłości będzie ono ważnym polem eksploracji naukowej. Ocena wyników ekonomicznych gospodarstw rolnych jest przedsięwzięciem bardzo trudnym, m.in. ze względu na brak powszechnego obowiązku prowadzenia rachunkowości w gospodarstwach rolnych. Obowiązek taki przewidują, na ogół w formie uproszczonej, tylko niektóre z systemów wsparcia gospodarstw środkami publicznymi. Sytuacja taka bardzo utrudnia nie tylko analizy ekonomiczne o charakterze naukowym, ale bardzo często również bieżące podejmowanie decyzji przez samych rolników. W badaniach efektywności ekonomicznej gospodarstw rolnych stosujących różne strategie nawożenia nawozami wapniowymi wykorzystano dane systemu FADN.

System zbierania danych rachunkowych z gospodarstw rolnych funkcjonuje we wszystkich krajach Unii Europejskiej. Dane gromadzone o gospodarstwach towarowych w systemie FADN należą obecnie do najbardziej wiarygodnych źródeł informacji o produkcji i wynikach ekonomicznych gospodarstw towarowych w Polsce i krajach członkowskich Unii Europejskiej. Nie oznacza to jednak, że są one pełne i nie zawierają błędów. Dlatego też we wstępnych fazach procesu badawczego konieczna jest ich weryfikacja i odrzucenie obserwacji budzących wątpliwości. W polu obserwacji europejskiego systemu FADN znajdują się gospodarstwa towarowe, które wytwarzają około 90,0% wartości Standardowej Produkcji w danym regionie lub kraju. Są to więc podmioty relatywnie większe i silniejsze ekonomicznie, dlatego też uzyskane wyniki nie mogą być uznawane jako reprezentatywne dla całej populacji gospodarstw rolnych.

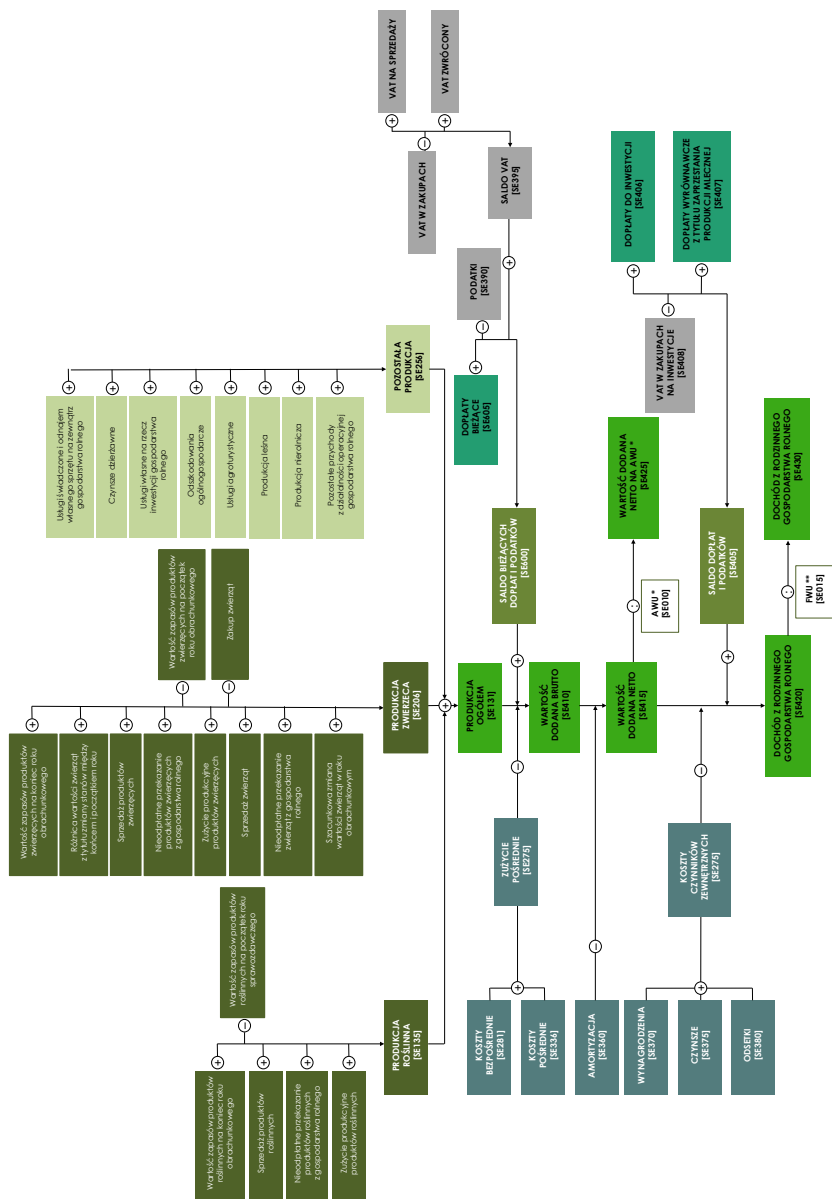
Dużym atutem danych gromadzonych w ramach FADN jest wypracowana przez kilka dekad metodyka ich gromadzenia, weryfikacji i prezentacji. Całość procesu gromadzenia danych nadzorowana jest przez specjalnie w tym celu wyszkolonych ekspertów, których praca rozpoczyna się już na etapie pozyskiwania danych od rolników. Nie ma obecnie możliwości pozyskania w inny sposób danych o zbliżonej wiarygodności [Wojewodzik 2017]. Wyniki standardowe zawierają informacje na temat: skali i wartości produkcji, kosztów, dopłat do działalności operacyjnej gospodarstwa, salda dopłat i podatków, wyników ekonomicznych (w tym dochodu z gospodarstwa rolnego), bilansu finansowego oraz wybranych wskaźników finansowych. Przeprowadzone badania wzbogacone zostały o ocenę jakości ziemi, wysokość i koszty wapnowania oraz nawożenia NPK. Każde z gospodarstw na bazie metodyki FADN zostało zakwalifikowane do odpowiedniego typu rolniczego oraz grupy wielkości ekonomicznej.

Wielkość ekonomiczna gospodarstwa rolnego określana jest jako suma wartości Standardowych Produkcji (SO) wszystkich działalności rolniczych występujących w gospodarstwie. Wielkość ekonomiczna gospodarstwa wyrażana jest wartością SO w euro⁴. Na podstawie tak ustalonej wielkości ekonomicznej dane gospodarstwo rolne zaliczane jest do odpowiedniej klasy wielkości ekonomicznej: bardzo małe (2 000 – 8 000 EURO), małe (8 000 – 25 000 EURO), średnio małe (25 000 – 50 000 EURO), średnio duże (50 000 – 100 000 EURO), duże (100 000 – 500 000 EURO) oraz bardzo duże (> 500 000 EURO).

Typ rolniczy gospodarstwa rolnego określany jest na podstawie udziału wartości SO z poszczególnych działalności rolniczych w tworzeniu całkowitej wartości SO gospodarstwa. Typ rolniczy gospodarstwa odzwierciedla jego poziom i kierunek specjalizacji. W prowadzonych analizach uwzględniono 7 typów ogólnych: uprawy polowe, uprawy ogrodnicze, uprawy trwałe, krowy mleczne, zwierzęta trawożerne, zwierzęta ziarnożerne oraz gospodarstwa mieszane. W rachunku procedury obliczania dochodu z gospodarstwa rolnego uwzględnia się wartość produkcji, wysokość kosztów rzeczywistych i szacunkowych oraz salda podatków i dopłat (rysunek 3).

⁴ Standardowa Produkcja (SO) jest to średnia z 5 lat wartość produkcji określonej działalności rolniczej (roślinnej lub zwierzęcej) uzyskana z 1 ha lub od 1 zwierzęcia w ciągu 1 roku, w przeciętnych dla danego regionu warunkach produkcyjnych. W celu wyeliminowania wahań wartości produkcji (powodowanych np. warunkami pogodowymi czy też zmianami cen produktów) do obliczeń przyjmowane są średnie z 5 lat odpowiedniego okresu, na podstawie uśrednionych danych rocznych z określonego regionu.

3. Efektywność ekonomiczna nawożenia



Objaśnienia do rysunku: * AWU – liczba osób pełnozatrudnionych w gospodarstwie rolnym w roku obrachunkowym (osoba pełnozatrudniona to osoba, która przepracowała w ciągu roku obrachunkowego 2 200 i więcej godzin w gospodarstwie rolnym), ** FWU – liczba osób pełnozatrudnionych nieopłacanych w gospodarstwie rolnym w roku obrachunkowym (osoba pełnozatrudniona nieopłacana to osoba, która przepracowała w ciągu roku obrachunkowego 2 200 i więcej godzin w gospodarstwie rolnym i nie pobierała za swoją pracę wynagrodzenia).

Rysunek 3. Sposób obliczania dochodu gospodarstwa rolnego według FADN

Źródło: opracowanie własne na podstawie: www.fadn.pl 2022.

Duże utrudnienie dla badaczy stanowi dostępność danych. Z danych jednostkowych gromadzonych w zasobach FADN, ze względu na poufność gromadzonych informacji, można korzystać jedynie w budynku IERiGŻ PIB w Warszawie, na specjalnie w tym celu utworzonym stanowisku komputerowym. Przy czym publikowane mogą być tylko wyniki analiz stanowiące agregaty dla minimum 15 obiektów/gospodarstw. Pomimo tego, iż baza obejmuje corocznie informacje o około 12 000 gospodarstw rolnych to skład tej grupy podlega ciągłym zmianom.

Dla potrzeb prowadzonych badań wygenerowane zostały standardowe dane produkcyjno-ekonomiczne dla tych gospodarstw, które pozostawały w bazie FADN nieprzerwanie w latach 2010–2020. Po wstępnej weryfikacji wygenerowanej w ten sposób próby badawczej, do dalszej analizy zakwalifikowanych zostało 3 726 gospodarstw indywidualnych o powierzchni powyżej 1 ha UR, z czego:

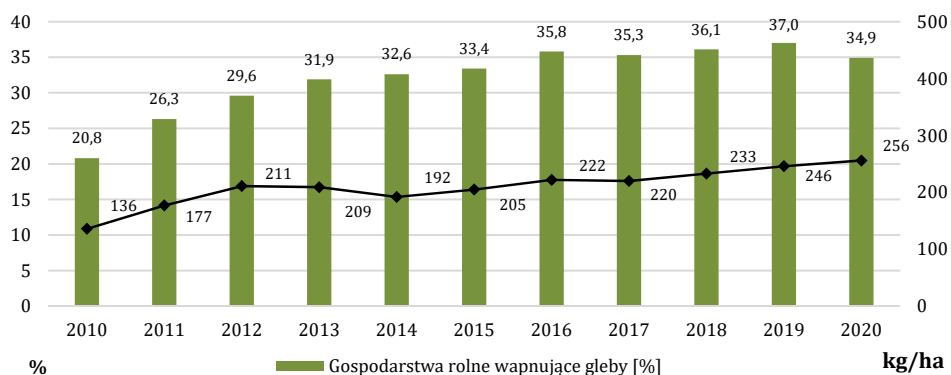
- 113 podmiotów zlokalizowanych w województwie małopolskim,
- 176 podmiotów zlokalizowanych w województwie opolskim,
- 87 podmiotów zlokalizowanych w województwie podkarpackim,
- 122 podmioty zlokalizowane w województwie zachodniopomorskim.

Podczas analiz szczegółowych populacja ta została zawężona, a z dalszych rozważań zostały wykluczone podmioty uzyskujące ujemne wartości produkcji oraz uzyskujące wielokrotnie wyższe wartości kategorii wynikowych (np. fermy drobiu), tak aby nie zniekształcały one wyników prowadzonych rozważań ze względu na swój specyficzny charakter. Rozważania prowadzone w drugiej części rozdziału 9 skoncentrowano na grupie gospodarstw specjalizujących się w produkcji polowej⁵ – tj. grupie gospodarstw, dla których wapnowanie gleb powiązane z nawożeniem NPK powinno odgrywać szczególnie istotne znaczenie.

⁵ Typ rolniczy gospodarstwa rolnego określany jest na podstawie udziału standardowej wielkości produkcji, jaką osiąga gospodarstwo w ciągu roku (SO) z poszczególnych działalności rolniczych. Typ rolniczy gospodarstwa odzwierciedla jego poziom i kierunek specjalizacji. W prowadzonych analizach uwzględniono 7 typów ogólnych: uprawy polowe, uprawy ogrodnicze, uprawy trwałe, krowy mleczne, zwierzęta trawożerne, zwierzęta ziarnożerne oraz gospodarstwa mieszane.

3.3. Strategie wapnowania stosowane przez towarowe gospodarstwa rolne

Na podstawie ogólnodostępnych danych zauważyć można, że zarówno odsetek gospodarstw stosujących wapnowanie, jak i średnia wysokość stosowanych dawek CaO są wyższe w grupie gospodarstw towarowych niż w całej populacji gospodarstw rolniczych w Polsce. Wynika to zarówno z charakteru prowadzonej produkcji, udziału nieużytków oraz trwałych użytków zielonych, ale jak należy przypuszczać również z wiedzy merytorycznej samych rolników, którzy prowadzą gospodarstwa ukierunkowane na rynek i generowanie dochodu. Zasadniczo w okresie od 2010 do 2020 r. wzrastała liczba gospodarstw towarowych dokonujących wapnowania z 776 (21,0% badanej grupy w 2010 r.) do 1 300 (35,0% badanej grupy w 2020 r.). Wzrastała również średnia wielkość stosowanych dawek nawozów z poziomu 136 kg CaO/ha UR w 2010 r. do 256 kg CaO/ha UR w 2020 r. (wykres 3). Dla porównania według wyników Powszechnego Spisu Rolnego z 2020 r. zróżnicowanie poziomu wapnowania gleb w poszczególnych województwach wahało się w granicach od około 51 kg/ha UR w województwach świętokrzyskim i małopolskim do blisko 144,5 kg/ha UR w województwie opolskim. Prezentowane wyniki wyraźnie wskazują, że niski poziom stosowanego nawożenia odkwaszającego w znacznej części gospodarstw rolnych nie pokrywał nawet strat związanych z wymywaniem jonów wapnia i magnezu przez wody opadowe.



Objaśnienia do wykresu: Polska – ogółem N = 3 726.

Wykres 3. Udział w badanej populacji gospodarstw towarowych dokonujących zakupu nawozów wapniowych [%] oraz średnia wysokość stosowanych dawek CaO [kg/ha]

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN.

Pod koniec obserwowanej dekady wapnowanie stało się praktyką stosowaną, w co trzecim gospodarstwie towarowym, a jednostkowa dawka CaO zwiększyła się o 100 kg. Obserwowane zmiany zdają się świadczyć o wzroście świadomości i zainteresowania rolników wapnowaniem gleb. Jest to niewątpliwie pozytywny trend, jednak wysokość nawożenia odkwaszającego na poziomie nieco ponad 250 kg/ha użytków rolnych rocznie jest znacznie niższa od dawek tego typu nawozów zalecanych przez Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy (IUNIG-PIB). Dawki te w zależności od wartości pH gleby oraz kategorii agronomicznej powinny wynosić w odstępach 2–4 letnich od 1 t na glebach lekkich do 10 t CaO/ha w przypadku silnie zakwaszonych gleb ciężkich [Jadczyzyn 2021].

Analizy wykazały, że w badanej populacji gospodarstw towarowych wdrażane były różne strategie częstotliwości zakupu nawozów wapniowych oraz ich stosowania. Dane gromadzone w ramach systemu FADN pozwoliły na wskazanie z jaką częstotliwością gospodarstwa dokonywały zakupu nawozów wapniowych. Pozwoliły również na określenie ilości zakupionego wapna oraz kosztów zakupu. W prowadzonych rozważaniach przyjęto za literaturę przedmiotu, że wapnowanie jest zabiegiem agrotechnicznym, który może być wykonywany corocznie w mniejszych dawkach lub większymi dawkami co 2–3 lata na glebach lekkich i co 3–4 lata na glebach ciężkich. Badany okres 2010–2020 podzielono zatem na dwa okresy, tj.: 2010–2016 oraz 2017–2020.

Następnie określono liczbę lat, w których gospodarstwa dokonywały zakupu nawozów wapniowych w każdym z tych okresów (tabela 12). Podział taki wynikał z przyjętych założeń stosowanych w dalszej części analiz, w myśl których wapnowanie powinno być wykonywane przynajmniej raz w okresie czteroletnim, gdyż jest zabiegiem służącym nie tylko uprawie przed którą jest stosowane, ale również uprawom następującym na danym stanowisku w kolejnych latach. Wzięto pod uwagę również, że ocena wyników ekonomicznych może być zakłócana wahaniami plonów wynikającymi ze zmienności warunków klimatycznych oraz cen produktów rolnych. W związku z tym wyniki gospodarowania (dochód z gospodarstwa rolnego) uśredniono dla okresu 4 lat (2017–2020).

Tabela 12. Struktura gospodarstw rolnych według stosowanych strategii wapnowania w latach 2010–2020

Wyszczególnienie		Częstotliwość wapnowania w okresie 2010–2016				Ogółem (%)
		0*	1–2*	3–5*	6–7*	
		Udział gospodarstw stosujących daną strategię (%)				
Częstotliwość wapnowania w okresie 2017–2020	0*	18,9	11,6	3,5	0,2	34,3
	1–2*	8,3	16,5	13,7	2,1	40,6
	3–4*	1,4	6,0	12,6	5,0	25,1
Razem		28,6	34,0	29,9	7,5	100,0

Objaśnienia do tabeli: * liczba lat w danym okresie, w których ponoszono koszty na wapnowanie.

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN.

Biorąc pod uwagę, iż badana populacja to towarowe gospodarstwa rolne (zwykle o większej powierzchni i skali produkcji), zaskakująco wysoki był odsetek gospodarstw, które nie nabywały (domyślnie – nie stosowały) nawozów wapniowych w całej jedenastoletniej perspektywie czasowej prowadzonych analiz⁶. Podmiotów, które w latach 2010–2020 nie nabyły nawozów wapniowych było aż 18,9%. Wprawdzie sam fakt nabywania corocznie nawozów wapniowych nie musi z góry i definitywnie rozstrzygać o prawidłowości gospodarki nawozowej, niemniej częstsze nabywanie i stosowanie nawozów wapniowych wydaje się wskazywać na wyższą świadomość rolników w zakresie znaczenia zabiegu wapnowania dla kultury rolnej oraz wyników ekonomicznych gospodarstwa rolnego. Zaledwie 17,6% badanych gospodarstw rolnych stosowało praktykę częstego zakupu nawozów wapniowych dokonując takich wydatków minimum w trzech latach z okresu 2010–2016 oraz minimum w trzech latach w okresie 2017–2020.

Częstotliwość nabywania nawozów wapniowych przez gospodarstwa rolne nie wskazuje jednak jednoznacznie na ilość wprowadzanego do gleby CaO, dlatego też analizie poddano również strategię gospodarstw ze względu na średnie wielkości nawożenia w okresach czteroletnich. Biorąc pod uwagę, że efekty wapnowania są przesunięte w czasie, w dalszych analizach zaprezentowano wyniki produkcyjne i ekonomiczne dla lat 2017–2020, podczas gdy skala wapnowania była uwzględniana z lat 2016–2019. Jest to uzasadnione ze względu na sposób działania nawozów odkwaszających,

⁶ W praktyce zakup nawozów wapniowych jest równoznaczny z ich zastosowaniem ze względu na trudności z przechowywaniem tego typu nawozów w dłuższej perspektywie.

których efekt zastosowania jest widoczny z reguły dopiero w następnych okresach wegetacyjnych.

Zaledwie co szóste z badanych gospodarstw stosowało wysokość nawożenia CaO na poziomie przekraczającym 2 tony/ha UR w okresie czteroletnim (>0,5 t/ha UR rocznie). Były to na ogół podmioty doceniające znaczenie kompleksowego nawożenia, o czym świadczyło łączenie wapnowania z relatywnie wyższymi dawkami NPK. Należy jednak zaznaczyć, że dawka CaO w ilości 2 t/ha UR w okresie czteroletnim pokrywa z niewielkim zapasem ilość składników zasadowych wymywanych z gleby przez wody opadowe. Dawka ta powinna być zatem zdecydowanie większa i należy ją ustalić w oparciu o analizy gleby wykonywane w stacjach chemiczno-rolniczych (tabela 13).

Tabela 13. Struktura towarowych gospodarstw rolnych według stosowanych strategii nawożenia NPK i CaO w latach 2016–2020

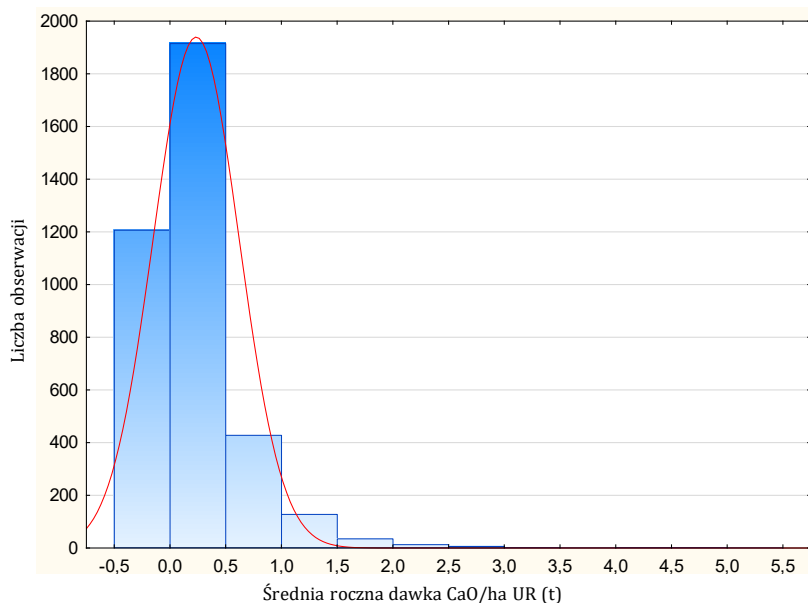
Wyszczególnienie		Średnia roczna dawka CaO/ha UR (t)*				Ogółem (%)
		< 0,01	0,01–0,50	0,50–1,00	> 1,00	
		Struktura gospodarstw rolnych stosujących daną strategię (%)				
Średnia roczna dawka NPK/ha UR (dt)**	0,00	1,7	0,4	0,1	0,0	2,2
	0,01–1,00	8,4	6,6	0,5	0,2	15,7
	1,01–3,00	22,5	33,3	7,2	2,7	65,6
	>3,00	3,4	7,4	3,7	2,0	16,5
Razem		36,0	47,7	11,4	4,9	100,0

Objaśnienia do tabeli: * średnie wielkości dla okresu 2016–2019; ** średnie wielkości dla okresu 2017–2020.

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN.

Co czwarte z gospodarstw rolnych nie dokonywało nawożenia wapniowego pomimo, iż dawki NPK stosowane w badanej grupie przekraczały 100 kg czystego składnika rocznie. Około połowy badanych gospodarstw stosowało wapnowanie nie przekraczające 0,5 t CaO/ha na rok (wykres 4). Jedynie w nielicznych przypadkach obserwowano rozwiązania polegające na stosowaniu większych dawek wapna, przekraczających 2 t CaO/ha UR. Wielkości te zdawały się wskazywać na marginalizację znaczenia odkwaszania gleb przez właścicieli badanych gospodarstw. Najczęściej stosowaną strategią nawożenia było stosowanie NPK na poziomie 100–300 kg rocznie, uzupełniane wapnowaniem nie przekraczającym 0,5 t CaO/ha UR na rok.

Taki poziom nawożenia odkwaszającego może w większości gleb wykorzystywanych rolniczo nie pokrywać strat związanych z wymywaniem składników o charakterze zasadowym, zobojętnianiem nawożenia mineralnego oraz pokryciem potrzeb produkcyjnych roślin (*Krajowy raport o stanie gruntów rolnych w Polsce 2022*).



Wykres 4. Histogram średnich rocznych dawek nawozu wapniowego stosowanych w latach 2010–2016 w grupie 3 726 gospodarstw⁷

Źródło: opracowanie własne: podstawie danych FADN.

Typ gospodarstwa rolnego, a zarazem charakter prowadzonej produkcji rolnej miały wpływ na stosowane przez właścicieli strategie wapnowania. Na bazie doświadczeń polowych i zaleceń opisywanych szeroko w literaturze przedmiotu można przyjąć, że bez względu na charakter prowadzonej produkcji rolnej zalecane jest nawożenie wapniem na poziomie co najmniej 2 ton CaO/ha UR w perspektywie 3–4 letniej. W badanej populacji najczęściej do tego typu zaleceń stosowały się gospodarstwa specjalizujące się w uprawach polowych, wśród których taką praktykę w latach 2016–2019

⁷ Program automatycznie dokonuje podziału populacji tworząc histogram. Pierwszy słupek opisany na wykresie opisuje gospodarstwa stosujące dawkę nawożenia na poziomie 0,00–0,01 t/ha UR. Dawki ujemne nie są możliwe.

stosowało 27,0% podmiotów (tabela 14). Świadczyło to o relatywnie większej świadomości w zakresie znaczenia kwasowości gleby dla wzrostu i rozwoju roślin wśród właścicieli gospodarstw ukierunkowanych na połowę produkcję roślinną. Dobrymi praktykami w zakresie wapnowania wykazywało się również co piąte gospodarstwo ukierunkowane na chów zwierząt ziarnożernych.

Tabela 14. Struktura towarowych gospodarstw rolnych według typów i stosowanych strategii wapnowania w latach 2016–2019

Typy rolnicze gospodarstw**	Liczba gospodarstw	Średnia roczna dawka CaO/ha UR (t)*			
		< 0,01	0,01–0,50	0,50–1,00	> 1,00
		Struktura gospodarstw w poszczególnych typach w zależności od stosowanej dawki CaO (%)			
Uprawy polowe (1)	955	29,1	43,9	18,2	8,8
Uprawy ogrodnicze (2)	79	46,8	44,3	5,1	3,8
Uprawy trwałe (4)	115	43,5	47,0	8,7	0,9
Krowy mleczne (5)	775	36,4	54,7	6,5	2,5
Zwierzęta trawożerne (6)	83	60,2	34,9	3,6	1,2
Ziarnożerne (7)	243	33,3	46,1	14,0	6,6
Mieszane (8)	1 474	38,1	47,8	10,2	3,9
Razem	3 724	36,0	47,7	11,4	4,9

Objaśnienia do tabeli: * średnie wielkości dla okresu 2016–2019; ** 2018 r.

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN.

Zdecydowanie mniejszymi dawkami nawozów wapniowych w analizowanym okresie charakteryzowały się gospodarstwa ukierunkowane na chów zwierząt trawożernych oraz specjalizujące się w produkcji mleka. Przypisać to można przede wszystkim większej powierzchni trwałych użytków zielonych w tych podmiotach, które relatywnie rzadko są wapnowane w polskich warunkach. Jak podaje literatura przedmiotu jest to błąd w produkcji rolnej. Badania prowadzone przez Kopia i Gondka [2013] wskazują, że poprzez optymalizowanie odczynu gleby istnieje możliwość kontrolowania glebowych zasobów mikroelementów. Wapnowanie poprzez poprawę funkcjonowania kompleksu sorpcyjnego gleby, ogranicza nadmierne pobieranie składników oraz ich straty. Efektem wapnowania jest możliwość zmagazynowania w kompleksie sorpcyjnym gleby, mikro- i makro elementów

oraz ich stopniowe uwalnianie na drodze sorpcji wymiennej, w miarę potrzeb roślin. Skutkuje to ograniczeniem strat nawozów mineralnych a także zmniejszeniem możliwości eutrofizacji wód. Dlatego, jak wskazują Jadczy-szyn i inni [2008], konieczne jest również wapnowanie trwałych użytków zielonych także na glebach organicznych wykazujących odczyn bardzo kwaśny (pH poniżej 4,5).

4. Wpływ nawożenia gleb w rolnictwie na eutrofizację wód. Urządzenia wodno-melioracyjne i strefy buforowe a nawożenie gleb w rolnictwie i eutrofizacja wód

4.1. Wymywanie składników nawozowych jako czynnik wpływający na eutrofizację wód powierzchniowych

Zawartość składników mineralnych w wodach powierzchniowych kształtowana jest przez czynniki fizyczno-geograficzne i klimatyczne oraz uwarunkowania antropogeniczne występujące w zlewniach, w tym głównie przez sposób użytkowania terenu [Bajkiewicz-Grabowska 2011]. Zlewnie o niewielkiej powierzchni są najlepsze do szczegółowych badań migracji wody i materii. Określenie wpływu użytkowania na charakter obiegu i jakość wody jest w nich bowiem łatwiejsze w porównaniu do powierzchni dużych. W zlewniach tych można wyodrębnić rodzaj źródeł powstawania zanieczyszczeń wód powierzchniowych. Szczególnie niebezpieczne dla środowiska wodnego są związki azotu i fosforu pochodzące ze źródeł punktowych i obszarowych [Balcerzak i Rybicki 2011, Bogdał i Ostrowski 2007, Kupiec 2010, Kowalik i inni 2014]. Zagrożenie, jakie stwarzają te związki, to wzbogacanie środowiska wodnego w substancje biogenne, które prowadzą do eutrofizacji wód [Balcerzak i Rybicki 2011]. Proces ten wywołuje masowy rozwój glonów i sinic, co w konsekwencji prowadzi do zmętnienia wody i zaniku życia biologicznego [Ostrowski i inni 2005]. Nadmiar substancji biogennych w wodach powierzchniowych to przede wszystkim skutek niewłaściwej działalności agrarnej i gospodarki wodno-ściekowej. Według danych przytoczonych przez Sarnę i Jarząbka [1998], w Stanach Zjednoczonych 90,0% azotu i 66,0% fosforu całkowitego pochodzi ze źródeł obszarowych. Podobnie wygląda sytuacja w Polsce, gdzie według obliczeń szacunkowych Smoronia [1998] z całkowitej ilości azotu i fosforu w wodach płynących, 70,0% azotu i 50,0% fosforu pochodzi z terenów wiejskich.

Podatność składników na wymywanie zależy od ilości opadów, rodzaju gleby (jest większa w glebach piaszczystych i o niskiej pojemności kompleksu sorpcyjnego) oraz jej odczynu. Istotą efektywnej gospodarki składnikami mineralnymi jest prawidłowa ocena zasobności gleby oraz rozpoznanie nie tylko zdolności sorpcyjnych powierzchniowej warstwy gleby, ale także głębiej położonych jej poziomów genetycznych. Poziomy te (bogate w koloidy glebowe) gwarantują zatrzymanie składników w strefie zasięgu korzeni. W warunkach odczynu kwaśnego w glebach następuje znaczne ograniczenie zdolności ich kompleksu sorpcyjnego do zatrzymywania składników pokarmowych dostarczanych do gleb w trakcie nawożenia NPK. Składniki te nie są wiązane przez kompleks sorpcyjny i są wypłukiwane z wierzchniej warstwy gleb do wód gruntowych. W wyniku tego może następować eutrofizacja środowiska wodnego, będąca następstwem wymywania składników nawozów, zarówno mikro- jak i makroelementów [Kupiec 2010]. Najlepsza dostępność składników pokarmowych dla większości gatunków roślin uprawnych w Polsce występuje, kiedy pH gleby kształtuje się w przedziale wartości 5,6–7,0.

Źródłem składników biogennych, które wymywane są z terenów rolniczo użytkowanych są przede wszystkim formy azotu w postaci azotanów. W rolnictwie coraz częściej stosuje się nawozy zawierające więcej formy amidowej i amonowej, np. mocznik, saletra amonowa i siarczan amonowy. Nie ogranicza to jednak ilości azotanów w glebie ze względu na zachodzącą szybko hydrolizę mocznika oraz intensywną nitryfikację formy amonowej. W efekcie prowadzi to do wzrostu koncentracji azotu azotanowego, który nie jest zatrzymywany przez kompleks sorpcyjny gleb [Sojka i inni 2008]. Wymywanie azotu z gleby uzależnione jest przede wszystkim od poziomu nawożenia, płodozmianu, rodzaju uprawy i właściwości mechanicznych gleb, szczególnie ich przepuszczalności. Zjawisko wymywania związków azotowych jest wielokrotnione w okresie wiosennych podtopień i powodzi, kiedy to równocześnie od wysiewu nawozów mineralnych zaczynają się prace polowe. Także w opadach występuje stosunkowo dużo związków azotowych, głównie amonowych. Przewaga formy amonowej nad azotanową związana jest ze stopniem zanieczyszczenia powietrza. Szacuje się, że ilość związków azotowych pochodzących z opadów atmosferycznych trafiających do gleby wynosi rocznie, w rejonach rolniczych około 10, a w przemysłowych ponad 20 kg/ha. Przyjmuje się, że odpływ azotu z gleb uprawnych w Polsce wynosi 10–20 kg/ha rocznie.

Kolejnym związkiem, który wpływa na eutrofizację wód powierzchniowych jest fosfor. W rolnictwie fosforany, dostarczane są w postaci superfos-

faty, dlatego wymywanie i przemieszczanie ich jest niewielkie, ponieważ szybko wiązane są chemicznie w glebie. Podobnie sole potasowe i amonowe są wiązane w kompleksie sorpcyjnym gleb, jednak wiązanie to słabnie w miarę wzrostu zakwaszenia gleby ($\text{pH} < 5$). Staje się to coraz bardziej poważnym problemem wywołanym rozszerzającym się zjawiskiem zakwaszania środowiska naturalnego [Krasowska 2016, Koc i inni 2003]. Ważnym czynnikiem wpływającym na źródła biogenów są opady atmosferyczne. Fosforu tą drogą dostaje się około 0,5 kg/ha.

Z przeprowadzonych dotychczas badań wynika, że podczas opadów deszczu ilość substancji biogenych wymywanych ze zlewni rolniczej jest zmienna i zależy od intensywności i czasu ich trwania [Popek i inni 2014]. W wyniku nawałnych opadów, intensywnie zwiększa się przepływ wody w cieku i następuje wezbranie deszczowe [Pociask-Karteczka 2006]. Autorzy badań wykazują, że nadmiar opadu jest wyłącznym źródłem odpływu powierzchniowego formującego wezbranie. W okresie tym dochodzi bowiem do intensywnego wymywania składników rozpuszczonych, ze zlewni do cieku, a zmienna zawartość związków biogenych w wodach powierzchniowych (zwłaszcza w miesiącach letnich), wynika z dużego udziału frakcji organicznej [Banaszuk 2007]. Ponadto związki te mogą być wymywane na skutek erozji gleb, w okresie intensywnych opadów deszczu, po których występują spływy powierzchniowe z pól uprawnych [Jaskuła i inni 2015]. Erozja gleb powoduje zwiększenie zawartości fosforanów w wodach w trakcie wezbrań wywołanych opadami (rysunek 4).



Rysunek 4. Eutrofizacja potoku w otoczeniu gruntów ornych

Źródło: www.iung.pl 2023.

Występowanie gwałtownych opadów deszczu może przyczynić się do pogorszenia jakości wód cieku w krajobrazie rolniczym. Stężenie substan-

cji rozpuszczonych rośnie bowiem w trakcie zwiększonego natężenia przepływu wody w cieku, a maleje w trakcie niskich stanów wody. Wody niewielkich cieków mogą transportować około 1 200 kg ładunku azotanów, 20 kg jonów amonowych i około 5 kg fosforanów w ciągu roku [Jaskuła i inni 2005]. W związku z tym wezbrania wywołane intensywnymi opadami deszczu są okresem gwałtownego wymywania biogenów, co zwiększa zagrożenie wystąpienia zjawiska eutrofizacji, której negatywnym skutkiem, są z kolei zmiany właściwości wody, polegające na:

- występowaniu intensywnego zapachu i zabarwienia,
- pojawieniu się mętności wody,
- dużych wahaniami stężenia tlenu i odczynu pH w warstwie górnej wód,
- powstawaniu warunków beztlenowych w głębszych warstwach.

4.2. Struktura przestrzenna i użytkowanie terenu jako główne determinanty procesów erozyjnych

Układ przestrzenny granic własności gruntów względem spadków (rzeźby) terenu oraz jego użytkowanie to kluczowe determinanty, tzw. spływów powierzchniowych wód opadowych, czy roztopowych. Jeżeli układ ten jest wadliwy, tzn. wzdłuż stokowy, sprzyja to powstawaniu erozji wodnej, która jest bardzo niekorzystnym zjawiskiem. Zabiegi przeciw erozji wodnej powinny w związku z tym przeciwdziałać następującym jej skutkom [Nowociń 2015]:

- splukiwaniu, czyli oddzielaniu i transportowaniu cząstek ziemnych przez spływającą wodę powierzchniowo po stoku,
- ruchom mas ziemnych, skutkiem których są bardzo negatywne dla gospodarki osuwiska (rysunek 5).





Rysunek 5. Grunty orne dotknięte erozją wodną z naniesionym namulem wskutek spływów powierzchniowych

Źródło: www.terazpole.pl 2023.

Najlepsze efekty przeciwdziałania erozji osiąga się poprzez realizację scaleń gruntów połączonych z tzw. melioracjami przeciwerozyjnymi, które powinny być realizowane na etapie wykonania zagospodarowania poscaleniowego. W ramach scalenia gruntów możliwe jest:

- zaprojektowanie nowego układu działek umożliwiającego uprawę poprzeczno-stokową,
- wydzielenie działek pod zabiegi przeciwerozyjne,
- planowanie dróg rolniczych z uwzględnieniem rzeźby terenu i w ściślejszej koordynacji z układem działek i pól (rysunek 6).



Rysunek 6. Właściwie ukształtowany poprzeczno-stokowy układ pól na terenie urzeźbionym

Źródło: www.erozja.iung.pulawy.pl 2023.

W ramach realizacji melioracji przeciwerozyjnych istnieje możliwość [Pijanowski i inni 2023]:

- zastosowania nasadzeń roślinności przeciwerozyjnej, tj. głównie za-
drzewień i zakrzewień,
- przeprowadzenia rekultywacji i zagospodarowanie nieużytków ero-
zyjnych (np. wąwozów, stromych zboczy) oraz likwidowanie trudnej
mikrorzeźby terenu,
- stosowania urządzeń do rozpraszania i odprowadzania powierzch-
niowych spływów wody,
- podjęcia zabiegów agrotechnicznych i agromelioracyjnych, do któ-
rych należą m.in. uprawa bezorkowa oraz głębokie spulchnianie pro-
filu glebowego, zwane głęboszowaniem,
- dokonania transformacji gruntów orných na użytki zielone lub zale-
sianie.

Dzięki realizacji scaleń gruntów następuje pozytywna przebudowa struktury przestrzennej terenów rolnych, umożliwiającą trwałą likwidację lub minimalizację procesów erozyjnych, co w konsekwencji ogranicza odpływy składników powodujących eutrofizację cieków i zbiorników wodnych. Na wstępie należy zaznaczyć fakt, iż Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy (IUNG–PIB) w Puławach wykonał kilkanaście opracowań naukowych dotyczących melioracji przeciwerozyjnych, zarówno w wersji pilotażowej, jak i technicznej do realizacji dla województw, zlewni, gospodarstw uspołeczniionych i gmin. Niestety żaden projekt (z wyjątkiem technicznego wyrównania terenu przez zasypywanie wąwozów lessowych) nie został sfinalizowany, gdyż realizacja musiałaby być dokonana w ramach scalania gruntów, na co brakowało zgody społeczności wiejskich [Pijanowski i inni 2018]. Jest to klasyczny problem na styku zagadnień środowiskowych i społecznych. Jako wstęp do dalszych rozważań przedstawiono przykład obiektu Barnstädt zlokalizowanego w kraju związkowym Saksonia-Anhalt (Republika Federalna Niemiec), gdzie jedno, tzw. powierzchniowe zadrzewienie śródpolne, zatrzymało falę erozji, zapobiegając degradacji znacznych terenów uprawnych [Pijanowski i inni 2023] (rysunek 7).



Rysunek 7. Przykład obiektu Barnstädt (Saksonia-Anhalt, Niemcy) – mikroskala, ukazująca rolę zadrzewień śródpolnych w obniżaniu zagrożenia erozją wodną na terenach rolnych

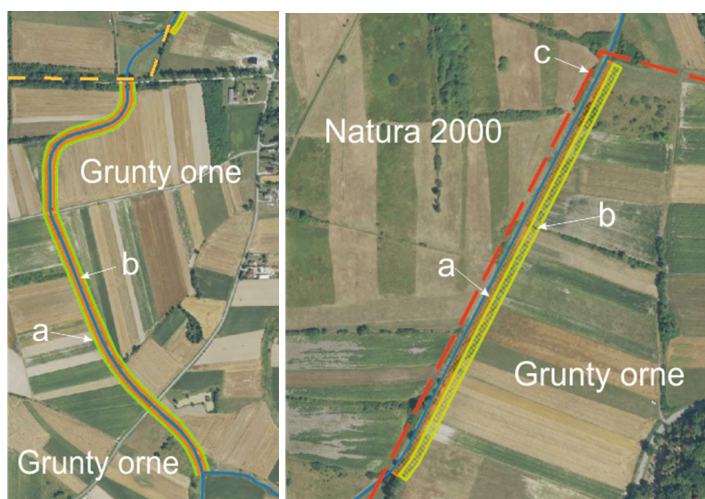
Źródło: www.gewaesserschutz-thueringen.de 2019.

Powyższy przykład ilustruje istotną rolę kształtowania struktury przestrzeni rolniczej w minimalizacji zagrożenia erozją wodną. Realizacja tego celu wymaga oczywiście potrzeb terenowych, które w ramach scaleń gruntów można, jak najbardziej pozyskiwać. Strefy buforowe stanowią obszar przejściowy pomiędzy gruntami rolnymi oraz ciekami wodnymi, naturalnymi (rzeki, potoki, strugi) sztucznymi (rowy melioracyjne czy kanały). Mogą one powstawać również wokół zbiorników wodnych: jezior i stawów. Strefy buforowe powinny się także stosować na styku gruntów orných i lasów oraz zadrzewień. Nie dotyczy to użytków zielonych. Strefy buforowe podobnie jak miedze, stanowią obszar porośnięty różnego rodzaju roślinnością, której głównym zadaniem jest ograniczenie procesów erozyjnych związanych ze spływami powierzchniowymi oraz ograniczenie wymywania składników nawozowych i próchnicy [Pijanowski i inni 2021]. W przypadku braku stosowania stref buforowych wody powierzchniowe podlegają szybszemu zanieczyszczeniu i eutrofizacji (rysunek 8 i 9).



Rysunek 8. Przykład kanału melioracyjnego, który w skutek bezpośredniego sąsiedztwa z nawożonymi terenami uprawnymi znajduje się w stanie zaawansowanej eutrofizacji

Źródło: www.polskarola.pl 2023.



Objaśnienia do rysunku: a – pas zakrzewień o szerokości 10 m, b – pas roślinności zielonej o szerokości 5 m, c – granica obszaru Natura 2000.

Rysunek 9. Przykłady stref buforowych wzdłuż cieku Wrzępskiego na obiekcie Strzelce Wielkie (gmina Szczurowa, województwo małopolskie) w formie zadrzewień liniowych wraz z roślinnością podokapową obiektu

Źródło: Pijanowski i inni 2021.

Zadrzewienia i zakrzewienia śródpolne pełnią różnorodne funkcje środowiskowe na obszarach rolnych. Stanowią one specyficzne „bariery środowisko-

we”, wchodząc w skład stref buforowych wzdłuż cieków i zbiorników wodnych, zatrzymują pozostałości nawozów i środków ochrony roślin spływające z pól uprawnych [Izydorczyk i inni 2015]. Efektywność środowiskowa zadrzewień i zakrzewień śródpolnych zależy od ich wielkości, położenia i ukształtowania struktury przestrzennej. Podstawową zasadą jest wykorzystanie istniejących zadrzewień i zakrzewień oraz ewentualne rozbudowanie ich poprzez dosadzanie drzew i krzewów. W celu zapobiegania erozji wodnej na stokach, pasy zadrzewień należy usytuować prostopadle do nachylenia stoku. W strukturze roślinności należy zwrócić głównie uwagę na warstwę krzewów i roślin zielnych, gdyż one w największym stopniu zatrzymują spływ powierzchniowy [Kujawa i Kujawa 2019]. Dla zachowania, jak najlepszego funkcjonowania ekosystemów zadrzewień i zakrzewień, należy dążyć do zróżnicowania struktury oraz składu gatunkowego roślinności, co przekłada się na efektywność innych świadczeń ekosystemowych [Dajdok 2020].

Dużą rolę w ochronie przed przedostawaniem się związków biogenych do wód powierzchniowych oraz powodzią, mogą pełnić oczka wodne, naturalne zagłębienia terenowe, mikro zbiorniki, szczególnie na ciekach charakteryzujących się dużym natężeniem przepływu (w okresach intensywnych opadów), ale krótkim czasem trwania wysokich stanów. Warunki takie występują na małych ciekach położonych w obszarach o silnie zróżnicowanej rzeźbie terenu oraz na ciekach odbierających wodę z obszarów użytkowanych rolniczo. Wody te często zanieczyszczone związkami azotu mogą stanowić dobre źródło poboru wody dla celów nawodnieniowych. Do najważniejszych zalet takich małych zbiorników można zaliczyć [Pijanowski i inni 2023]:

- zwiększenie zasilania warstw wodonośnych, co powoduje wzrost zasobów wód podziemnych,
- zaspokojenie, niektórych celów gospodarczych, np. zbiorniki i oczka wodne mogą być wykorzystane jako ujęcia wód przeciwpożarowych, ekstensywne stawy rybne, ujęcia wód do nawodnień, wodopoje dla dzikich zwierząt,
- poprawę walorów przyrodniczych, zwiększenie biologicznej różnorodności krajobrazu rolniczego poprzez odtworzenie mokradeł, oczek wodnych, tworzenie enklaw dla naturalnej fauny i flory wodno-błotnej, tworzenie przyjaznego człowiekowi mikroklimatu,
- ochronę wód powierzchniowych przed zanieczyszczeniem, zatrzymywanie zawieszin, oczyszczanie wód deszczowych szczególnie ze związków biogenych (azotu i fosforu),

- możliwość zwiększenia zasobów wodnych w płytkich warstwach wodonośnych (woda ta może być wykorzystywana do nawodnień rolniczych).

Przeprowadzone na obszarze obiektu badania wskazują, że ukształtowanie terenu w gminie Polanka Wielka nie cechują zbyt duże deniwelacje terenu, jednak ze względu na wzdłuż stokowy kierunek upraw oraz zdecydowaną przewagę gruntów ornych występuje zagrożenie erozyjne. Dodatkowo przestrzeń rolnicza z niewielkimi wyjątkami pozbawiona jest naturalnych barier roślinnych dla spływów wody oraz zabiegów przeciwoerozyjnych w postaci zadrzewień lub zakrzywień liniowych w poprzek stoku. Skutkuje to przede wszystkim wymywaniem najcenniejszych części spławialnych (próchnicy), nawozów oraz materiału siewnego z gleby, który kumulowany jest w najniższej części danego pola [Pijanowski i inni 2023] (rysunek 10).



Rysunek 10. Przykład pola we wschodniej części obiektu badań (okolice stawu Polaniec) podlegającego silnym procesom erozyjnym

Źródło: Nicia i inni 2023.

Istotną przyczyną tych zjawisk (poza kierunkiem uprawy wzdłuż stoku) jest „wyjałowienie” krajobrazu z zadrzewień i zakrzywień liniowych, które następowało w Polsce powszechnie w latach 80-tych XX-ego wieku [Zajączkowski i Zajączkowski 2013] (rysunek 11). Kolejny problem badanego obszaru stanowi niski udział trwałych użytków zielonych, które według danych Głównego Urzędu Statystycznego (GUS) zajmują jedynie 5,0% powierzchni użytków rolnych Polanki Wielkiej.



Rysunek 11. Przykład rolniczej przestrzeni produkcyjnej pozbawionej naturalnych barier dla spływów erozyjnych z różnych części obiektu badań

Źródło: Nicia i inni 2023.

Obszar gruntów uprawnych na obiekcie badań zdominowany jest przez zasiewy zbóż. Większość pól w okresie jesienno-zimowym jest zaorana, przez co posiada odsłoniętą pokrywą glebową, co powoduje, że są one szczególnie podatne na erozję wodną. Podczas badań terenowych stwierdzono również, że rowy melioracyjne niosą duży ładunek związków żelaza (rysunek 12). Sytuacja ta przemawia za przeprowadzeniem badań scalenia gruntów, w ramach którego nastąpić powinno odwrócenie kierunku uprawy na poprzeczno-stokowy. Natomiast w ramach zagospodarowania poscaleniowego należałoby zrealizować dużą ilość nasadzeń liniowych o funkcji przeciwoerozyjnej [Pijanowski i inni 2023].



Rysunek 12. Po lewej i u dołu ciek melioracyjny z wyraźnymi śladami wykwitów żelazisto próchnicznych, po prawej u góry miejsce ujścia zamulonej wody z kilku zbieraczy do rowu melioracyjnego

Źródło: Nicia i inni 2023.

W wielu zagłębieniach terenu na obiekcie badań zaobserwowano okresowe zalanie fragmentów pól wodą na powierzchni nawet kilku arów (rysunek 13). W ramach scalenia gruntów w miejscach tych sugeruje się utworzenie sieci małych zbiorników retencyjnych wraz z koniecznymi strefami buforowymi.





Rysunek 13. Przykłady zalanych fragmentów pól o różnej powierzchni na obiekcie badań

Źródło: Nicia i inni 2023.

4.3. Urządzenia wodno-melioracyjne a nawożenie gleb w rolnictwie i eutrofizacja wód

Poprawa gospodarki wodnej w rolnictwie, a także poprawa jakości wód są możliwe jedynie poprzez wprowadzenie kompleksowych działań, które obejmują [Miatkowski 2001]:

- gromadzenie możliwie dużej ilości wody w krajobrazie rolniczym, czyli spowolnienie odpływu wody ze zlewni poprzez zwiększenie małej retencji i zmniejszenie odpływu biogenów,
- zwiększenie retencji glebowej poprzez wzrost zawartości próchnicy, poprawę struktury gleby, likwidację nadmiernego zagęszczenia ornej i podornej warstwy gleby, wapnowanie,
- całościowy agrotechniki (uprawa roli, zabiegi pielęgnacyjne, płodozmian itp.) minimalizujący bezproduktywne parowanie wody bezpośrednio z powierzchni gleby (ewaporacja),
- zwiększenie efektywności wykorzystania wody przez rośliny (nawożenie, ochrona przed chwastami, chorobami i szkodnikami) oraz dobór do uprawy gatunków roślin lepiej wykorzystujących zasoby wody.

Jednym z celów prezentowanego opracowania była analiza możliwości ograniczenia eutrofizacji wód powierzchniowych poprzez poprawę gospodarowania wodami w rolnictwie w wyniku zwiększenia zdolności retencyjnej gleb oraz zastosowanie agrotechniki (agromelioracji), warunkującej efektywne wykorzystanie dostępnych zasobów wody glebowej. W zakresie melioracji nie jest celowe opracowywanie punktowych rozwiązań, dlatego

w ramach niniejszego podrozdziału zaproponowano zasady ogólne, które zaleca się uwzględniać przy ograniczaniu wymywania biogenów do wód powierzchniowych.

Na gruntach ornych dla zwiększenia retencji i zasobów wodnych w profilu glebowym zaleca się prowadzenie zabiegów agrotechnicznych oraz agromelioracyjnych, do których należą m.in. uprawa bezorkowa i głębokie spulchnianie profilu glebowego (głęboszowanie), wapnowanie. Ten sposób uprawy zwiększa przepuszczalność gleby oraz jej potencjalną i efektywną retencję użyteczną, co ogranicza skutki suszy i powodzi. Należy zapewnić także właściwe utrzymanie urządzeń drenarskich, które aby mogły korzystnie oddziaływać na tereny użytkowane rolniczo, powinny być poddawane okresowej kontroli i konserwacji, w zakresie:

- utrzymania w dobrym stanie rowów odbierających wodę ze zbieraczy,
- naprawy wszelkich uszkodzeń rurociągów, studzienek i innych budowli drenarskich,
- naprawy wylotów oraz ich oczyszczania (przynajmniej raz w roku),
- usuwania namulów zgromadzonych w studzienkach.

Renowację sieci drenarskiej wykonuje się, gdy jej koszt nie przekracza 50,0% kosztów nowego drenowania. Do najważniejszych prac renowacyjnych zalicza się odmulanie i pogłębianie rowów w miejscach usytuowania wylotów drenarskich. Wyloty drenarskie stanowią zakończenie głównych zbieraczy odprowadzających wodę z poszczególnych działów drenarskich do odbiornika. Powinny być one umieszczone na odpowiedniej wysokości, w stosunku do dna lub zwierciadła wody w rowie, minimum 20 cm powyżej dna rowu suchego lub okresowo prowadzącego wodę, a w rowach prowadzących stale wodę, minimum 20 cm nad zwierciadłem przepływu najdłuższej trwającego w roku, występującego w okresie wegetacji roślin. Rowy do których podłączane są wyloty drenarskie powinny mieć minimalną szerokość dna 0,5 m oraz minimalny spadek dna w granicach 0,4–0,9‰.

Niespełnienie wyżej wymienionych norm technicznych, może negatywnie wpływać na działanie urządzeń drenarskich obejmujących swoim oddziaływaniem duże obszary terenów użytkowanych rolniczo. Rowy i kanały melioracyjne, które uległy daleko idącym przekształceniom z uwagi na brak utrzymania, można w uzasadnionych przypadkach podawać renaturyzacji dla zwiększenia retencji korytowej, ale także dla odprowadzenia jej nadmiaru w okresach wiosenno-jesiennych, co pozwoli na ograniczenie wymywania składników pokarmowych i biogenych z profilu glebowego. Z punktu widzenia melioracji, retencja korytowa służyć może nawodnieniu podsiąkowym, polegającym na doprowadzeniu wody na pola poprzez

istniejące rowy melioracyjne, które pełnią podstawową funkcję odwadniająco-nawadniającą. Dla realizacji nawodnień w okresach deficytu powinno się zaprojektować budowle, które spowodują podpiętrzenie wody w cieku, a co za tym idzie doprowadzenie jej na tereny przyległe.

Budowlami piętrzącymi mogą być np. zastawki typu dokowego z urządzeniem regulującym poziom zwierciadła wody. Aby istniejący system rowów melioracyjnych spełniał swoje funkcje, należy wykonać odpowiednią renowację rowów melioracyjnych, polegającą na wykoszeniu skarp oraz pasa po 1,0 m wzdłuż ich górnych krawędzi, odmuleniu dna i wyprofilowaniu skarp do nachylenia dostosowanego do zwięzłości gruntu, łącznie z zastosowaniem obsiewu mieszkankami traw w miejscach plantowania. W przypadku odcinków o większych spadkach podłużnych i związanych z tym prędkościami płynącej wody przekraczającymi 1,0 m/s, należy umocnić podstawy skarp rowów płotkiem lub kiszka faszynową. Prawidłowa konserwacja rowów melioracyjnych, gwarantująca zachowanie ich funkcji, powinna być wykonywana regularnie i obejmować takie działania jak:

- wykaszanie i usuwanie roślin ze skarp 2 razy w roku,
- odmulanie dna, co 2–3 lata,
- naprawę dna, skarp i umocnień,
- usuwanie z rowów wszelkich przeszkód tamujących odpływ wody.

Wszystkie te zabiegi stworzą warunki, które w znacznym stopniu ograniczą wymywanie związków wapiennych, biogenów i ograniczą eutrofizację.

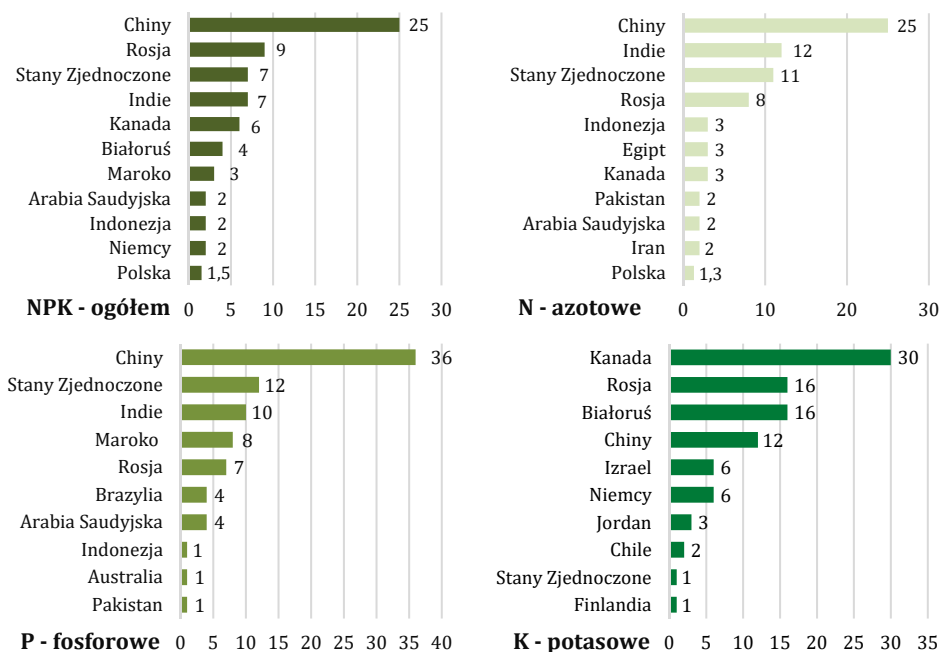
5. Zużycie nawozów w Polsce

5.1. Klasyfikacja i charakterystyka wybranych produktów dostępnych na polskim rynku nawozowym

Sytuacja na polskim rynku nawozów mineralnych jest ściśle powiązana z procesami zachodzącymi na rynkach światowych. Udział pięciu największych producentów nawozów mineralnych (Chiny, Rosja, Stany Zjednoczone, Indie i Kanada) wynosi blisko 60,0% całkowitej światowej produkcji. Od 1992 r. największym producentem są Chiny, z blisko 25,0% udziałem w produkcji globalnej. Pozostali liczący się producenci nawozów to Rosja z prawie trzykrotnie mniejszym wolumenem (około 9,0%), a także Indie i Stany Zjednoczone (około 7,0%), Kanada (około 6,0%) oraz Białoruś (około 4,0%). Stopień koncentracji w produkcji wzrasta wraz z poszczególnymi składnikami kompleksu NPK. Dziesięć krajów (Chiny, Rosja, Stany Zjednoczone, Indie, Kanada, Białoruś, Maroko, Arabia Saudyjska, Indonezja oraz Niemcy) produkuje bowiem odpowiednio: około: 70,0% nawozów azotowych, 85,0% nawozów fosforowych i 95,0% nawozów potasowych. Nawozy azotowe na świecie wytwarzane są głównie z azotu znajdującego się w powietrzu i produkowane w procesie Haber-Bosch. Proces Haber-Bosch to główna procedura przemysłowa do produkcji amoniaku, polegająca na łączeniu azotu z powietrza z wodorem pod ekstremalnie wysokim ciśnieniem i temperaturą. Proces wymaga dużej ilości gazu ziemnego. Biorąc pod uwagę dostępność i cenę gazu ziemnego, wiele krajów ma zatem ograniczone możliwości w produkcji nawozów azotowych. Natomiast fosfor i potas to wydobywane minerały, a ich rezerwy nie są dostępne w wielu krajach. Chiny produkują ponad 1/3 światowego fosforu, za nimi plasują się odpowiednio: Stany Zjednoczone, Indie, Maroko i Rosja. Łącznie tych pięć krajów wytwarza ponad 3/4 światowej podaży fosforu [*Impacts and Repercussions...* 2022] (wykres 5).

Produkcja nawozów mineralnych w Polsce jest pod względem ilościowym i wartościowym ważną częścią przemysłowego wytwarzania wyrobów chemicznych. Powiązania tego sektora z gospodarką rolną (wpływ na

wielkość i jakość plonów) sprawiają, że jest ona także gwarantem szeroko rozumianego bezpieczeństwa państwa, głównie żywnościowego. Polski rynek nawozów, na którym produkcja jest realizowana w dużej skali w oparciu o surowce importowane (gaz ziemny, fosforyty i sól potasową), podlega jednak silnej presji ekonomicznej w obszarze zaopatrzenia w surowce wykorzystywane do ich wytworzenia. Wpływ cen gazu i innych nośników energii oraz surowców do produkcji nawozów na rentowność ich produkcji jest zatem oczywisty. Pomimo wyżej wymienionych uwarunkowań Polska jest jednym z największych w Europie producentów i eksporterów nawozów mineralnych. Należy zauważyć jednak, że w ujęciu globalnym przewagą konkurencyjną na rynku nawozów posiadają te państwa, które mają dostęp do relatywnie tanich nośników energii oraz surowców do wytwarzania nawozów [Zalewski i Piwowar 2018].



Wykres 5. Udział w rynku głównych producentów nawozów mineralnych (NPK) na świecie w 2020 r. [%]

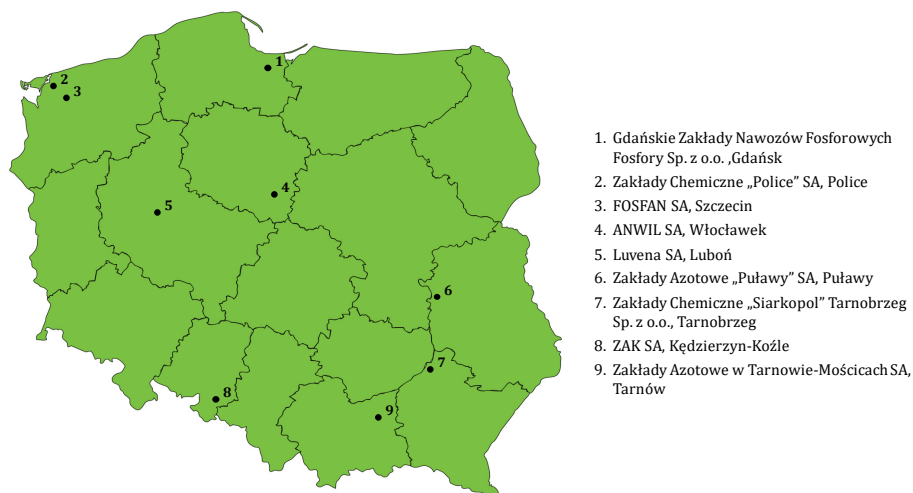
Źródło: opracowanie własne na podstawie: Impacts and Repercussions of Price Increases on the Global Fertilizer Market. 2022. BizWeek. Economy. Business. Finance, 403.

Największymi eksporterami nawozów mineralnych i surowców do ich produkcji na świecie są m.in.: Chiny, Rosja, Kanada oraz Stany Zjednoczone. Ponadto w krajach afrykańskich wydobywa się fosforyty, natomiast

w Rosji, Niemczech oraz na Białorusi sól potasową. Intensywne wydobycie i wysokie zasoby potasu w ujęciu globalnym występują także w Kanadzie, Rosji, Białorusi i Niemczech. Ponadto potas na cele nawozowe wydobywa się w Izraelu, Stanach Zjednoczonych oraz Jordanii. Są to strategiczne dla głównych wytwórców nawozów kraje, gdyż, np. polskie zakłady chemiczne w całości importują fosforyty i sól potasową wykorzystywane do produkcji nawozów. W Polsce obecnie nie wydobywa się soli potasowej. Głównym kierunkiem importu fosforytów są kraje Afryki, m.in.: Algieria, Maroko, Togo, Tunezja oraz Senegal. Podstawowym surowcem w produkcji nawozów azotowych jest natomiast gaz ziemny. Warto podkreślić, że największym odbiorcą gazu ziemnego w Polsce jest właśnie przemysł, w tym chemiczny. Z uwagi na niewielkie zasoby własne tego surowca, istotną rolę w podaży gazu ziemnego jeszcze do niedawna odgrywał więc jego import, zwłaszcza z kierunku wschodniego [Piwowar 2013]. Należy zauważyć jednak, że od 2022 r. kierunek ten uległ zmianie, a przyczyną tego rodzaju kursu są m.in. uwarunkowania geopolityczne, tj. inwazja Rosji na Ukrainę. Konsekwencją działań zbrojnych na Ukrainie jest bowiem nałożenie na Rosję sankcji handlowych, ograniczenie importu gazu ziemnego do krajów Europy, co poskutkowało z kolei znacznym ograniczeniem lub całkowitym wstrzymaniem produkcji nawozów azotowych zarówno przez polskich, jak i większość czołowych ich producentów w Europie (np. Włochy, Norwegia, Holandia, Wielka Brytania) [Rudke 2022].

Wojna między Rosją a Ukrainą wpłynęła również na globalną podaż nawozów mineralnych na świecie. Rosja nałożyła bowiem ograniczenia na eksport nawozów azotowych, fosforanowych i potasowych do końca 2022 r., skutecznie usuwając blisko 10,0% globalnej podaży. Chociaż ograniczenia te zostały ogłoszone, ich faktyczne nałożenie jest niejasne, ponieważ Rosja przestała publikować dane handlowe. Według *Trade Data Monitor* od stycznia 2022 r. nie ma wprawdzie żadnych zapisów o eksporcie nawozów z Rosji, niemniej jednak wiele krajów, w tym Stany Zjednoczone i Brazylia, zgłosiło import nawozów z Rosji do kwietnia 2022 r. Niepewność dotycząca dostaw nawozów z Rosji prawdopodobnie spowoduje, że ceny pozostaną podwyższone, przynajmniej przez kilka następnych lat. Wynika to z faktu, że zwiększenie produkcji nawozów zajmuje średnio od trzech do pięciu lat (jeżeli dostępne są rezerwy niezbędnych do ich produkcji surowców), a jak wskazują powszechnie dostępne dane, w krajach liczących się w produkcji nawozów rezerwy fosforanów i potasu są już mocno ograniczone [*Impacts and Repercussions of Price...* 2022].

Nawozy mineralne w Polsce są jednak nadal istotnym przedmiotem międzynarodowej wymiany handlowej. Najważniejszym partnerem handlowym są Niemcy. Ważnymi odbiorcami polskich nawozów w handlu zagranicznym są także: Czechy, Wielka Brytania, Brazylia, Wenezuela, Francja oraz Dania. Wśród najważniejszych kierunków importu nawozów mineralnych do Polski w badanym okresie należy wymienić natomiast: Rosję (do 2022 r.), Białoruś a także Niemcy, tj. państwa należące do grupy największych producentów nawozów mineralnych starego kontynentu. Do pozostałych, ważnych kierunków importu zaliczyć można natomiast: Litwę, Węgry oraz Holandię [Zalewski i Piwowski 2018]. Z punktu widzenia wolumenu produkcji nawozów w Polsce, rynek ten można podzielić na dwa kluczowe segmenty. W pierwszym z nich, wyróżnić można podmioty gospodarcze należące do Wielkiej Syntezy Chemicznej, w tym największy w Polsce koncern produkujący nawozy mineralne Grupa Azoty (mapa 5).



Mapa 5. Rozmieszczenie przestrzenne zakładów produkujących nawozy mineralne w Polsce

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Tabak 2011.

W skład Grupy Kapitałowej Azoty wchodzi największe zakłady chemiczne: Grupa Azoty S.A. (jednostka dominująca z siedzibą w Tarnowie), Grupa Azoty Zakłady Azotowe „Puławy” S.A., Grupa Azoty Zakłady Chemiczne „Police” S.A. i Grupa Azoty Zakłady Azotowe Kędzierzyn S.A. Zakłady te z jednej strony charakteryzują się wieloletnią tradycją, z drugiej są bardzo nowoczesne z technicznego punktu widzenia. Grupa Azoty produkuje nawozy: azotowe, azotowe z siarką, azotowo-fosforowe oraz wielo-

składnikowe [Zalewski i Piwowar 2018]. W największej ilości nawozy wielkoskładnikowe w Polsce wytwarzane są w Zakładach Chemicznych Police (Grupa Azoty Police S.A.), z kolei liderem na rynku nawozów azotowych są Zakłady Azotowe Puławy (Grupa Azoty Puławy S.A.). Produkcja nawozów realizowana jest także przez spółki: w Tarnowie, Kędzierzynie, Gdańsku i Chorzowie. Drugim największym producentem nawozów azotowych w Polsce jest Anwil S.A. (wchodzący w skład Grupy Orlen). ANWIL to przedsiębiorstwo chemiczne powstałe z przekształcenia Zakładów Azotowych we Włocławku [Piwowar 2015]. Zgodnie z ustawą z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu (Dz. U. Nr 147, poz. 1033), na polskim rynku nawozowym wyróżnić można następujące grupy nawozów: mineralne (nieorganiczne), naturalne, organiczne oraz organiczno-mineralne (rysunek 14).

PODZIAŁ NAWOZÓW	
Nawozy MINERALNE (np.: N, P, K, Ca, Mg, w tym nawozy odkwaszające glebę)	
Nawozy NATURALNE (np.: obornik, gnojówka, gnojowica)	
Nawozy ORGANICZNE (np.: kompost, biohumus)	
Nawozy ORGANICZNO-MINERALNE (np.: różnego rodzaju odpady pochodzenia roślinnego i zwierzęcego, komposty, wermikomposty (komposty produkowane z wykorzystaniem dżdżownic), a także komunalne osady ściekowe z oczyszczalni ścieków)	
Nawozy oznaczone znakiem „ NAWÓZ WE ” (nawozy spełniające wymagania określone w rozporządzeniu nr 2003/2003 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 13 października 2003 r. „w sprawie nawozów”)	

Rysunek 14. Klasyfikacja nawozów według przepisów ustawowych w Polsce

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Ustawa z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu (Dz. U. Nr 147, poz. 1033).

Nawozy mineralne to nawozy nieorganiczne, produkowane w drodze przemian chemicznych, fizycznych lub przerobu surowców mineralnych, w tym wapno nawozowe, do którego zalicza się wapno nawozowe zawierające magnez, a także niektóre nawozy pochodzenia organicznego. Ich podstawowymi i głównymi składnikami są: azot (N), fosfor (P), potas (K), dlatego też często nazywane są nawozami typu NPK (rysunek 15).

NAWOZY MINERALNE	
Nawozy JEDNOSKŁADNIKOWE	
• nawozy AZOTOWE	– ich zastosowanie w największym stopniu wpływa na zwiększenie masy plonu oraz wydłużenie okresu wegetacji – azot zawarty w glebie jest z niej szybko wymywany, więc nawożenie należy rozłożyć w czasie, a także stosować w okresie intensywnego wzrostu roślin
• nawozy FOSFOROWE	– fosfor zatrzymywany jest w glebie i nie ulega wymywaniu nawet pod wpływem deszczu, nawożona fosforem gleba akumuluje pierwiastek przez lata, dlatego nawozy fosforowe stosuje się w skomasowanych dawkach, co 2-3 lata
• nawozy POTASOWE	– ich głównym składnikiem jest potas w formie kationu K ⁺ , będący makroskładnikiem pokarmowym dla roślin, niezbędny w międzymembranowym transporcie elektronów podczas asymilacji dwutlenku węgla (CO ₂) oraz pośrednio do biosyntezy związków organicznych – sumarycznie jego niedobór powoduje mniejsze wytwarzanie cukrów (monosacharydów i w efekcie skrobi)
• nawozy WAPNIOWE (odkwaszające glebę)	– związki wapnia w nawozach wapniowych służą przede wszystkim do regulowania odczynu gleby
• nawozy MAGNEZOWE	– magnez odpowiada za prawidłowy wzrost roślin od wczesnych faz rozwoju, wpływa również na skalę pobierania składników odżywczych i odporność roślin, z uwagi na łatwe wymywanie magnezu z gleby, nawożenie tym pierwiastkiem powinno odbywać się systematycznie
Nawozy WIELOSKŁADNIKOWE	

Rysunek 15. Podział nawozów mineralnych oferowanych na polskim rynku

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Grzebisz 2015.

Nawozy mineralne jednoskładnikowe zawierają jeden spośród trzech podstawowych składników pokarmowych: azot (N), fosfor (P) lub potas (K). Stosuje się je, gdy w glebie obserwuje się ich niedobór. Mogą one ponadto zawierać inne makroelementy (np. magnez lub siarkę), a także mikroelementy (np. bor) (rysunek 16).

NAWOZY MINERALNE JEDNOSKŁADNIKOWE	
Nawozy AZOTOWE	
• nawozy amonowe - azot w formie N-NH ₄ ⁺ (np. siarczan amonu)	
• nawozy amidowe - azot w formie N-NH ₂ (np. mocznik)	
• nawozy saletrzone - azot w formie N-NO ₃ ⁻ (np. saletra: wapniowa, sodowa, magnezowa)	
• nawozy zawierające kilka form azotu - (np. saletra amonowa - azot w formie: N-NH ₄ ⁺ i N-NO ₃ ⁻ ; roztwór saletrzano-mocznikowy RSM - azot w formie: N-NH ₄ ⁺ , N-NO ₃ ⁻ i N-NH ₂)	
Nawozy FOSFOROWE	
• nawozy fosforowe zawierające fosforany prawie całkowicie rozpuszczalne w wodzie - w postaci Ca(H ₂ PO ₄) ₂ (np. superfosfat prosty, superfosfat potrójny)	
• nawozy fosforowe zawierające fosforany nierozpuszczalne w wodzie, częściowo rozpuszczalne w słabych kwasach organicznych, w całości rozpuszczalne w mocnych kwasach nieorganicznych - w postaci Ca ₃ (PO ₄) ₂ (np. mączka fosforytowa)	
Nawozy POTASOWE	
• nawozy chlorkowe - w postaci KCl (np. sól potasowa)	
• nawozy siarczanowe - w postaci K ₂ SO ₄ (np. siarczan potasu)	

Rysunek 16. Podział nawozów mineralnych jednoskładnikowych

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Tabak 2011.

W ofercie głównych producentów nawozów mineralnych jednoskładnikowych na polskim rynku dostępne są [Tabak 2011]:

- nawozy azotowe: siarczan amonu (Zakłady Azotowe „Puławy” S.A.), mocznik (Zakłady Chemiczne „Police” S.A.), saletra amonowa, canwil z magnezem, canwil S z siarką (ANWIL S.A.), kędzierzyńska saletra amonowa, Salmag, salmag z borem (ZAK SA), RMS (Zakłady Azotowe w Tarnowie-Mościcach S.A.),
- nawozy fosforowe: fosforyt mielony P30 (Zakłady Chemiczne „Siarkopol” Tarnobrzeg sp. z o.o.), superfosfat 19, superfosfat 20, superfosfat 20 z borem (Luvena S.A.), superfosfat wzbogacony (Gdańskie Zakłady Nawozów Fosforowych Fosfory sp. z.o.o.),
- nawozy potasowe: sól potasowa (Zakłady Chemiczne „Police” S.A.), kalisop granulowany, magnesia-kainit (K+S KALI GmbH).

Nawozy mineralne wieloskładnikowe zawierają przynajmniej dwa spośród trzech podstawowych składników pokarmowych (NPK). Podobnie, jak w przypadku nawozów jednoskładnikowych mogą one ponadto zawierać inne makroelementy (np. magnez lub siarkę), a także mikroelementy (np. bor). Stosowanie tego typu produktów umożliwia m.in. skrócenie czasu wykonywania nawożenia i zmniejszenie kosztów zabiegu (poprzez jednorazowy wysiew nawozów zamiast kilkukrotnego). Na polskim rynku dostępnych jest szereg nawozów wieloskładnikowych, różniących się rodzajem i zawartością składników pokarmowych (rysunek 17). Pozwala to na wybór nawozu dostosowanego do zasobności gleby w składniki pokarmowe, wymagań pokarmowych rośliny i pory roku. Czasami, w celu wprowadzenia odpowiedniej dawki składników, konieczne jest wykonanie dodatkowego nawożenia nawozami pojedynczymi.

NAWOZY MINERALNE WIELOSKŁADNIKOWE	
Nawozy KOMPLEKSOWE	
<ul style="list-style-type: none"> • podczas ich produkcji zachodzą reakcje chemiczne, w których biorą udział składniki użyte do wytworzenia nawozu: <ul style="list-style-type: none"> – nawozy typu amofosu (NP) i amofoski (NPK) - zawierają azot amonowy – nawozy typu nitrofosu (NP) i nitrofoski (NPK) - zawierają azot azotanowy (V) i amonowy 	
Nawozy MIESZANE	
<ul style="list-style-type: none"> • otrzymuje się je w wyniku mechanicznego zmieszania nawozów, najczęściej jednoskładnikowych (np. superfosfatu z siarczanem amonu) 	
Nawozy UNIWERSALNE	
<ul style="list-style-type: none"> • w zależności od formy (plynna, granulowana) rośliny pobierają zawarte w nich składniki z różną prędkością • najszybsze efekty dają nawozy plynne (nawożenie dolistne), wolniejsze efekty, z kolei granulowane • po znalezieniu się w glebie, związki mineralne w nich zawarte uwalniają się i są pobierane przez rośliny, • działają krócej, ale bardziej intensywnie, przy zbyt dużej dawce mogą powodować uszkodzenia roślin (np. azofoska, polifoska, fructus, florovit, planton) 	
Nawozy SPECJALISTYCZNE	
<ul style="list-style-type: none"> • ich skład skomponowany jest pod wymagania odpowiadające danej grupie roślin (np. do iglaków, roślin zielonych lub roślin kwitnących) 	
NAWOZY WIELOSKŁADNIKOWE WOLNO DZIAŁAJĄCE	
<ul style="list-style-type: none"> • to nowoczesne nawozy, w których specjalna otoczka wokół granulek nawozu kontroluje uwalnianie składników pokarmowych • dzięki stosowanym otoczkom związki chemiczne nie mają bezpośredniego kontaktu z korzeniami roślin, nie grozi im więc przenażenie • szybkość uwalniania składników pokarmowych jest uzależniona od temperatury i wilgotności podłoża: im gleba cieplejsza i bardziej mokra - tym więcej składników pokarmowych zostaje uwolnionych • są to drogie, ale bardzo efektywne nawozy stosowane na szeroką skalę w uprawie roślin ozdobnych, pozwalają ograniczyć nawożenia do jednego zabiegu wiosną (np. dendrowit, osmocote, planton cote, pokon season comfort) 	

Rysunek 17. Podział nawozów mineralnych wieloskładnikowych oferowanych na polskim rynku

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Tabak 2011.

W ofercie głównych producentów nawozów mineralnych wieloskładnikowych na polskim rynku dostępne są [Tabak 2011]:

- nawozy kompleksowe: polidap, polifoska 8, polifoska 6, polimag 405 (Zakłady Chemiczne „Police” S.A.),
- nawozy mieszane: agrofoska 16–36, agrofoska 24–24 (Gdańskie Zakłady Nawozów Fosforowych sp. z o.o.), lubofoska 4–12–12 (Luvena S.A.), superfoska 5 NPK (Mg) 4–17–28–(4), unifoska 01 NPK (CaS) 8,5–8,5–8,5 (Zakłady Chemiczne „Siarkopol” Tarnobrzeg sp. z o.o.).

Nawozy odkwaszające glebę ze względu na postać składnika aktywnego, można podzielić na: węglanowe, tlenkowe i krzemianowe (rysunek 18). Jako nawozy wapniowe stosowane są [Hałubowicz-Kliza 2006]:

- wydobywane specjalnie w celu wykorzystania ich do wapnowania gleby, np.: kreda jeziorna (inaczej wapień łąkowy, jeziorny, kredowy) powstała jako osad na dnie zbiorników wodnych,
- przeznaczone do wykorzystania w różnych gałęziach przemysłu, a mające uboczne zastosowanie, jako nawozy odkwaszające, np.: wapienie i margle pochodzące z przemysłu cementowego i wapienniczego, wapienie, dolomity i marmury stosowane w budownictwie i dro-

gownictwie, dolomity wykorzystywane w hutnictwie, magnezyty, używane do produkcji materiałów ogniotrwałych i wiążących,

- produkty uboczne produkcji: wapno posodowe (przemysł sodowy), wapno defekacyjne (przemysł cukierniczy), wapno pocelulozowe (przemysł papierniczy), wapno pokarbidowe (produkcja acetylenu), popioły, pyły dymnicowe po spalaniu węgla.

NAWOZY ODKWASZAJĄCE GLEBĘ	
Nawozy WĘGLANOWE	
	• w postaci CaCO_3 i MgCO_3 (np. kređa jeziorna , mączka dolomitowa , wapno defekacyjne)
Nawozy TLENKOWE	
	• w postaci CaO i MgO (np. wapno palone)
Nawozy KRZEMIANOWE	
	• w postaci CaSiO_3 i MgSiCO_3 (np. wapno wielkopiecowe)

Rysunek 18. Podział nawozów odkwaszających glebę oferowanych na polskim rynku

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Tabak 2011.

Nawozy naturalne to nawozy pochodzące od zwierząt gospodarskich. Zawierają one niezbędne dla roślin składniki pokarmowe w postaci związków organicznych. Nawozy naturalne są źródłem próchnicy, dlatego ich stosowanie polepsza właściwości fizyczne, chemiczne i biologiczne gleby oraz wzbogaca jej mikroflorę. Do nawozów tego typu zalicza się [Ustawa z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu (Dz. U. Nr 147, poz. 1033)]:

- obornik, gnojówkę i gnojowicę,
- pochodzące od zwierząt gospodarskich, w rozumieniu przepisów o organizacji hodowli i rozrodzie zwierząt gospodarskich, odchody, z wyjątkiem odchodów pszczoł, bez dodatków innych substancji,
- guano.

Nawozy organiczne to nawozy wyprodukowane z substancji organicznej lub z mieszanin substancji organicznych, w tym komposty, a także komposty wyprodukowane z wykorzystaniem dżdżownic. Do nawozów tego typu zalicza się [Ustawa z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu (Dz. U. Nr 147, poz. 1033)]:

- kompost (wytwarzany z odpadów roślinnych i zwierzęcych w wyniku częściowego, tlenowego rozkładu (butwienia) przez mikroorganizmy poprzez proces kompostowania w pryzmach kompostowych,

kompostownikach lub specjalnych bioreaktorach, a także w toaletach kompostujących),

- biohumus (to odchody dżdżownicy kompostowej uzyskiwane po przetworzeniu substancji organicznej (obornik, torf, odpady z rzeźni lub przetwórni owocowo-warzywnych, papier, wysłodki, wytloki, trociny, osady ze ścieków) w specjalnych łożach),
- plony uboczne (np.: słoma, siano, liście buraka itp.).

Nawozy organiczno-mineralne to mieszaniny nawozów mineralnych i organicznych. Działają szybko i uzupełniają najważniejsze składniki mineralne, jednocześnie dostarczając do gleby również substancję organiczną. Do produkcji nawozów organicznych i organiczno-mineralnych wykorzystuje się różnego rodzaju odpady pochodzenia roślinnego i zwierzęcego, komposty, wermikomposty (komposty produkowane z wykorzystaniem dżdżownic), a także komunalne osady ściekowe z oczyszczalni ścieków [Tabak 2011].

Oznaczenie nawozów znakiem „nawóz WE” jest potwierdzeniem spełnienia wymagań określonych w rozporządzeniu (WE) nr 2003/2003 Parlamentu Europejskiego i Rady z 13 października 2003 r. *w sprawie nawozów*. Nawóz należący do tego typu produktów ujętych w załączniku I i spełniający wymagania stanowiące w niniejszym rozporządzeniu, może być oznakowany jako „nawóz WE”. Dodatkowo producent prowadzi działalność na terenie Wspólnoty oraz odpowiada za zgodność „nawozu WE” z przepisami niniejszego rozporządzenia. Nawozy z oznakowaniem „nawóz WE” mają także zapewniony swobodny obrót we Wspólnocie. Od 2014 r. obowiązują: załącznik I pkt 3, załącznik II pkt 2 i załącznik III pkt 4 rozporządzenia Komisji (UE) Nr 463/2013 z 17 maja 2013 r., *zmieniającego rozporządzenie (WE) nr 2003/2003 Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie nawozów w celu dostosowania jego załączników I, II, IV do postępu technicznego*. Zmiana polega na dodaniu do rozporządzenia nr 2003/2003 środków wapnujących, zwanych również wapnem nawozowym.

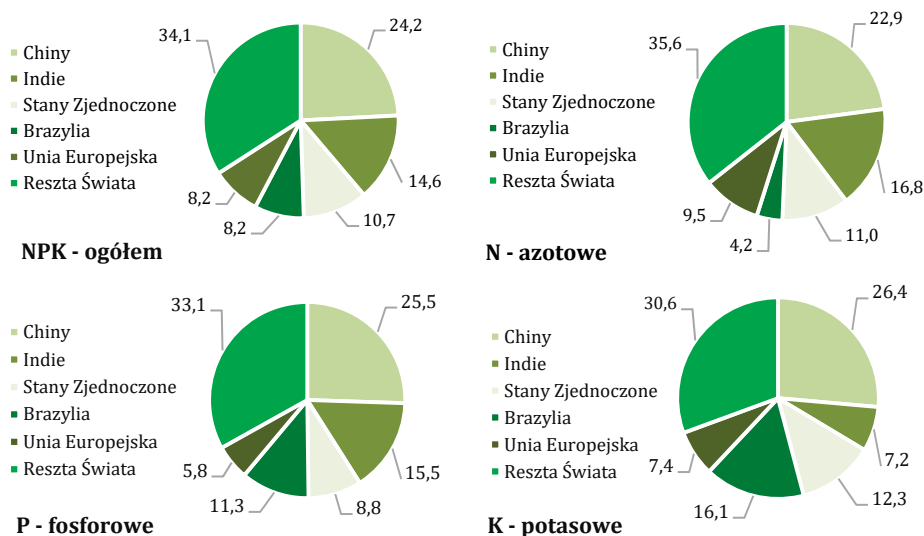
Rozszerzenie oznacza, że producenci spełniający wymagania unijnego rozporządzenia mogą wprowadzać do obrotu środki wapnujące, nadając im znak „nawóz WE”, który umożliwia swobodny obrót produktami na terenie państw Wspólnoty. Pomimo wprowadzonych zmian producenci nadal mogą korzystać z prawa krajowego i wprowadzać do obrotu wapno nawozowe zgodnie z wymogami rozporządzenia Ministra Gospodarki, z tą różnicą, że regulacja krajowa nie pozwala na swobodny obrót produktem na terenie państw członkowskich Unii Europejskiej [Rozporządzeniu (WE) nr 2003/2003 Parlamentu Europejskiego i Rady z 13 października 2003 r. *w sprawie nawozów*].

5.2. Stan zużycia nawozów mineralnych (NPK) w Polsce

Nawożenie jest podstawowym czynnikiem plonotwórczym, a zużycie nawozów jest jednym ze wskaźników oceny intensywności gospodarowania. Optymalne wykorzystanie potencjału produkcyjnego roślin, głównie postępu odmianowego, możliwe jest przy odpowiednim zaopatrzeniu ich w składniki pokarmowe [Igras 2006]. W związku z tym nawożenie, a przede wszystkim zużycie nawozów mineralnych, odgrywa kluczową rolę w produkcji żywności. Konwencjonalne rolnictwo koncentruje się głównie na nawożeniu podstawowymi składnikami pokarmowymi, do których zalicza się: azot (N), fosfor (P), potas (K), magnez (Mg) i wapń (Ca) [Paluch i inni 2018]. Poziom i dynamika wykorzystania nawozów są w decydujący sposób determinowane przez stan rozwoju gospodarczego danego kraju [Hossai i Singh 2000]. Jednak krajowy rynek nawozów mineralnych podlega także, obok uwarunkowań lokalnych, znacznemu wpływowi tendencji europejskich i światowych [Matyka 2013]. Intensyfikacja produkcji roślinnej prowadzi do zwiększenia ilości składników pokarmowych wyprowadzanych z gleby, co w perspektywie dłuższego okresu może doprowadzić do pogorszenia jej właściwości jako podłoża produkcyjnego. Zjawisko to dotyczy szczególnie mikroelementów oraz makroelementów, będących składnikami uzupełniającymi najbardziej popularnych nawozów mineralnych.

Chociaż produkcja nawozów w ujęciu globalnym jest silnie skoncentrowana, ich stosowanie jest podyktowane składem gleby i jej produktywnością. W rezultacie wykorzystywanie nawozów w produkcji rolnej jest szeroko rozpowszechnione na całym świecie, a niektóre kraje są ich większymi użytkownikami w przeliczeniu na hektar użytków rolnych niż inne. W oparciu o 3-letnie średnie danych, tj. za lata 2017–2019 z *Międzynarodowego Stowarzyszenia Nawozów (IFA)* można wywnioskować, że nadal największym konsumentem nawozów mineralnych są Chiny, z udziałem w globalnej konsumpcji nawozów mineralnych kształtującym się na poziomie bliskim 25,0%. Drugim największym użytkownikiem są Indie (około 15,0%), które także zaliczane są do grona największych producentów nawozów na świecie. Należy zaznaczyć jednak, iż znaczna część ich zużycia w Indiach jest napędzana przez subsydiowanie nawozów przez rząd indyjski. W klasyfikacji krajów charakteryzujących się najwyższym poziomem zużycia nawozów mineralnych wysokie miejsce zajmują także Stany Zjednoczone, które odpowiadają za około 10,0% światowego ich zużycia, przy czym większość z nich wykorzystywana jest do produkcji zbóż i nasion oleistych [Molenda 2022] (wykres 6).

Na zużycie jednostkowe nawozów w danym kraju wpływa wiele czynników, w tym między innymi rodzaj uprawy oraz ceny nawozów i ich dostępność. Chiny są największym konsumentem nawozów NPK w przeliczeniu na hektar użytków rolnych, zużywając ich ponad 340 kg/ha UR. Brazylia jest drugim, co do wielkości użytkownikiem, konsumując 246 kg/ha UR, prawie dwa razy więcej niż Stany Zjednoczone. Afryka Subsaharyjska (SSA) pozostaje najmniejszym konsumentem nawozów, zużywając średnio mniej niż 20 kg/ha UR. Zużycie nawozów różni się nie tylko w zależności od kraju i uprawy, ale także sposobu ich aplikacji. Większość bezpośredniego zastosowania amoniaku ma miejsce w Ameryce Północnej. Dla przykładu 14,0% wszystkich zastosowań nawozów w Stanach Zjednoczonych ma postać amoniaku bezpośredniego, który stanowi prawie jedną czwartą wszystkich zastosowań nawozów azotowych. Meksyk i Kanada stosują odpowiednio 11,0% i 10,0% swoich nawozów jako bezpośredni amoniak. Amoniak stanowi odpowiednio 17,0% i 16,0% azotu używanego w Meksyku i Kanadzie. Amoniak jest zwykle używany na etapie przed siewem w produkcji zboża. Brazylia, Argentyna i Chiny jeszcze nie przyjęły bezpośredniego stosowania amoniaku. Bezpośrednie wykorzystanie amoniaku w Australii jest znikome. Chiny nadal intensywnie korzystają z nawozów mieszanych, zużywając prawie połowę produkowanych nawozów w postaci różnych kombinacji azotu [Molenda 2022].



Wykres 6. Zużycie nawozów mineralnych (NPK) na świecie w latach 2017–2019 r. [%]

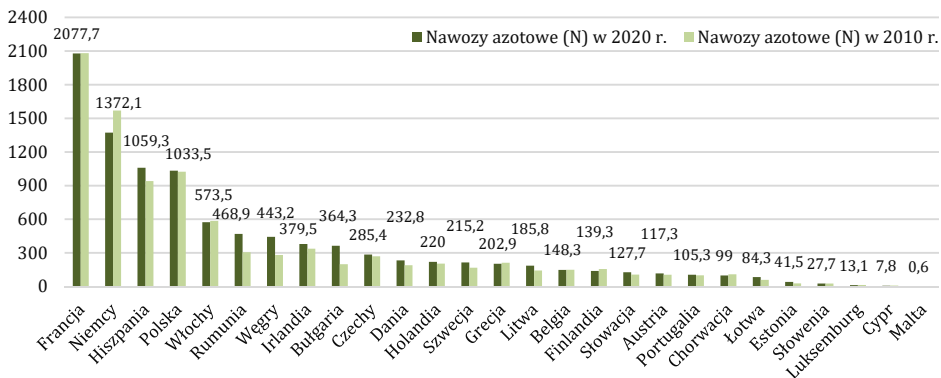
Źródło: opracowanie własne na podstawie: Impacts and Repercussions of Price Increases on the Global Fertilizer Market. 2022. BizWeek. Economy. Business. Finance, 403.

Analizując dane EUROSTAT można zauważyć, że w przypadku Unii Europejskiej w 2020 r. najwyższy poziom zużycia nawozów azotowych charakteryzował cztery kraje, których łączny udział (podobnie, jak w 2010 r.) wyniósł blisko 50,0% całkowitego zużycia nawozów azotowych w UE. Do państw tych zalicza się: Francję (17,2%), Niemcy (11,4%), Hiszpanię (8,8%) oraz Polskę (8,6%). W przypadku wielkości nawożenia NPK wyrażonej w kg/ha UR wyżej wymienione kraje charakteryzują następujące wartości: Francja (109,1 kg/ha UR), Niemcy (117,3 kg/ha UR), Hiszpania (71,6 kg/ha UR), Polska (134,7 kg/ha UR). Najniższy poziom wykorzystania nawozów azotowych we Wspólnocie, który oscylował w okolicy niespełna 1% dotyczył: Malty (0,1%), Cypru (0,1%), Luksemburga (0,1%), Słowenii (0,2%) i Estonii (0,3%). Podobnie udział państw członkowskich UE kształtował się w przypadku zużycia nawozów fosforowych (ogółem 3 215,4 tys. t), gdzie czołowe miejsca zajmują: Hiszpania (6,6% udziału w zużyciu nawozów fosforowych ogółem w UE), Francja (6,2%), Polska (4,9%) oraz Niemcy (3,4%). Najniższy udział w 2020 r. wykazywały natomiast: Malta (0,0%), Cypr (0,1%), Słowenia (0,1%), Estonia (0,1%) i Belgia (0,2%) (wykres 7 i 8).

Zaprezentowane dane wskazują, że jedną z zauważalnych tendencji na europejskim rynku nawozów mineralnych jest ich zróżnicowane zużycie w poszczególnych krajach. Analizując wielkość zużycia nawozów mineralnych (NPK) za okres od 2010 r. do 2019 r. można zauważyć, że większość krajów Europy Środkowo-Wschodniej zwiększa zużycie składników odżywczych, takich jak azot, potas i fosfor, natomiast w Europie Zachodniej, a zwłaszcza w Niemczech, przewidywany jest spadek zużycia tychże składników m.in. ze względu na zaostrzenie krajowych przepisów w zakresie stosowania nawozów mineralnych. W Niemczech zużycie nawozów w perspektywie najbliższych 10 lat może zmniejszyć się bowiem nawet o 50,0% w przypadku nawozów fosforowych i ponad 30,0%, jeżeli chodzi o nawozy azotowe i potasowe. Do krajów UE, które w najbliższej przyszłości będą ograniczały zużycie nawozów mineralnych należy także Holandia, gdzie w perspektywie najbliższej dekady planuje się minimum 15,0% spadek zużycia azotu i fosforu [www.cdr.gov.pl 2022].

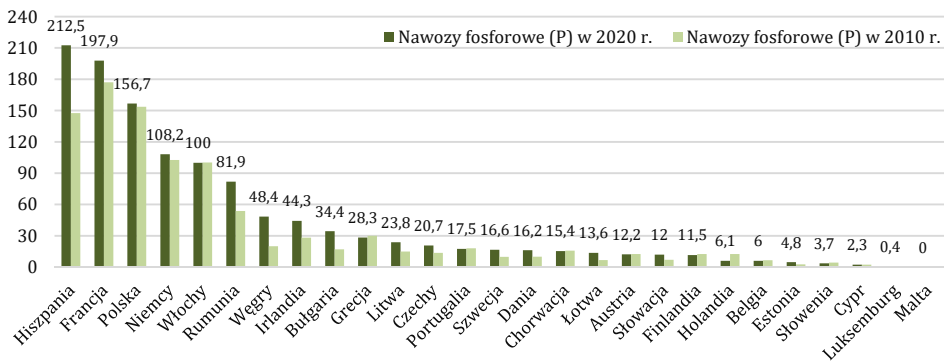
Obecnie także gwałtowny, duży wzrost kosztów produkcji oraz cen nawozów mineralnych prowadzi do zahamowania ich podaży i ograniczenia stosowania przez rolników w całej Europie. Ceny nawozów mineralnych rosły bowiem już przed wojną w Ukrainie. Między latem 2020 r. a końcem 2021 r. podwoiły się, a na początku sierpnia 2022 r. były, według indeksu Banku Światowego, o prawie 70,0% wyższe niż w roku poprzednim. Wojna rosyjsko-ukraińska spowodowała więc wzrost cen tego rodzaju środków

produkcji przynajmniej o 50,0%. Należy zauważyć również, że na rynkach światowych ceny gazu ziemnego (podstawowego surowca wykorzystywanego do produkcji nawozów NPK) dalej rosną, co z kolei może warunkować stale utrzymującą się tendencję do ograniczania wielkości produkcji nawozów mineralnych przez ich głównych producentów w Europie [www.biznes.interia.pl 2022].



Wykres 7. Zużycie nawozów azotowych (N) w krajach Unii Europejskiej [tys. ton]

Źródło: opracowanie własne na podstawie: <https://ec.europa.eu/eurostat> 2022.

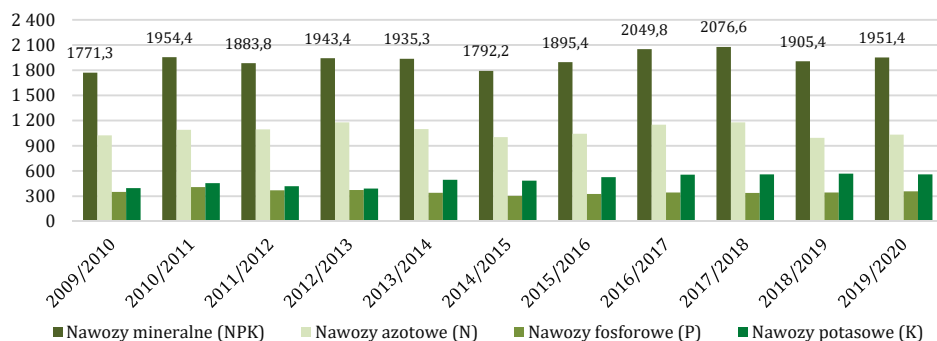


Wykres 8. Zużycie nawozów fosforowych (P) w krajach Unii Europejskiej [tys. ton]

Źródło: opracowanie własne na podstawie: <https://ec.europa.eu/eurostat> 2022.

W Polsce w roku gospodarczym 2019/2020 około 956 tys. gospodarstw rolnych (73,0% ogółu podmiotów prowadzących działalność rolniczą) wykorzystywało w produkcji nawozy mineralne i wapniowe (w tym nawożenie mineralne (NPK) stosowało ponad 71,0% ogółu, a wapniowe blisko 21,0%). Z danych Głównego Urzędu Statystycznego (GUS) wynika, że w porówna-

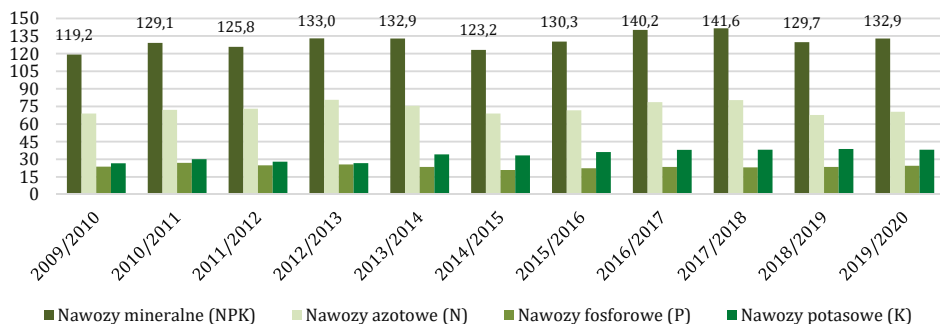
niu do sezonu 2009/2010 r., pomimo zmniejszenia się liczby gospodarstw rolnych wykorzystujących nawożenie NPK (o ponad 421 tys.) w 2019/2020 r. udział podmiotów stosujących nawożenie mineralne i wapniowe nie uległ znaczącej zmianie. W roku 2019/2020 zużycie nawozów mineralnych (1 951,4 tys. ton) było jednak o ponad 10,0% wyższe niż w 2009/2010 (1 771,3 tys. ton) (wykres 9).



Wykres 9. Zużycie nawozów mineralnych (NPK) w Polsce [tys. ton]

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Powszechny Spis Rolny 2020. Raport z wyników. 2021. Warszawa: GUS DR, Środki produkcji w rolnictwie w roku gospodarczym 2019/2020. 2021. Warszawa: GUS DR.

Analizując wielkości zużycia nawozów mineralnych (ogółem NPK) w ujęciu badanego okresu zauważyć można, iż najwyższy jego poziom charakteryzował lata 2016/2017 i 2017/2018, kiedy wielkość nawożenia oscylowała w okolicach 2 050 tys. ton. Najniższy poziom nawożenia NPK odnotowano natomiast w roku gospodarczym 2015/2016. Wynosił on wówczas 1 792,2 tys. ton i był o ponad 8,0% niższy w stosunku do sezonu 2019/2020. Najwyższy przyrost nawożenia mineralnego zanotowano w przypadku grupy nawozów potasowych (K), gdzie jego poziom w 2019/2020 r. był o ponad 40,0% wyższy niż w roku gospodarczym 2009/2010 (wykres 10).



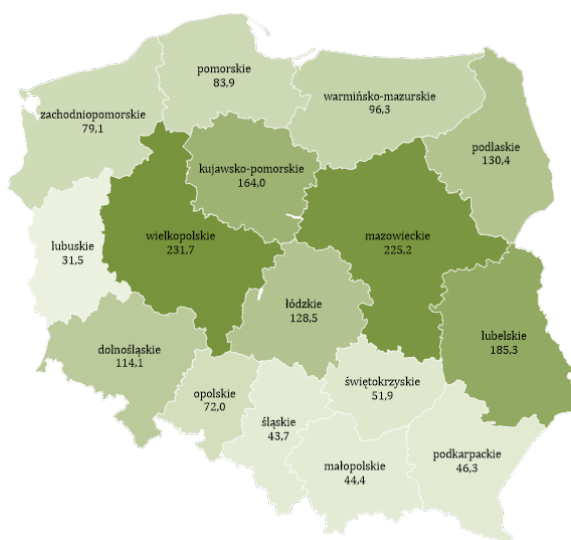
Wykres 10. Zużycie nawozów mineralnych (NPK) w Polsce [kg/ha UR]

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Powszechny Spis Rolny 2020. Raport z wyników. 2021. Warszawa: GUS DR, Środki produkcji w rolnictwie w roku gospodarczym 2019/2020. 2021. Warszawa: GUS DR.

W pozostałych grupach obejmujących: nawozy azotowe (N) i fosforowe (P) ich zużycie w stosunku do roku bazowego nieznacznie wzrosło, tj. odpowiednio o niespełna 1,0% i 2,0%. W sezonie 2019/2020 na 1 ha użytków rolnych ogółem zużyto średnio 132,9 kg NPK, w tym w gospodarstwach indywidualnych 129,1 kg NPK. W stosunku do roku gospodarczego 2009/2010 w największym stopniu uległ zmianie poziom zużycia nawozów potasowych, tj. o 43,2% (osiągając poziom 38,1 kg/ha UR). Pod uprawy zastosowano ponadto 70,4 kg/ha UR nawozów azotowych i 24,4 kg/ha UR nawozów fosforowych, tj. więcej niż w 2010 r. odpowiednio o 2,2% i o 3,0%. W gospodarstwach rolnych wraz ze wzrostem powierzchni użytkowanych gruntów rolnych zaobserwowano zwiększenie zużycia nawozów mineralnych. Zużycie nawozów mineralnych we wszystkich gospodarstwach należących do grup obszarowych powyżej 20 ha było wyższe od przeciętnej wartości dla kraju, przy czym największe wystąpiło w gospodarstwach o powierzchni 100 ha UR. Do najczęściej wykorzystywanych nawozów należały: z grupy nawozów azotowych (N) – mocznik, saletra amonowa i saletrzak, nawozów fosforowych (P) – superfosfat, nawozów potasowych (K) – sól potasowa. Najbardziej popularne wśród polskich rolników nawozy wieloskładnikowe to z kolei: fosforan amonu, polifoska i lubofoska [www.chemiaibiznes.com.pl 2022].

Z uwagi na regionalne zróżnicowanie intensywności produkcji roślinnej oraz uwarunkowań rozwoju rolnictwa w Polsce istnieją wyraźne różnice w poziomie zużycia nawozów mineralnych pod względem terytorialnym. Według danych Głównego Urzędu Statystycznego (GUS) w roku gospodarczym 2019/2020 do województw, które charakteryzowały się najwyższym zużyciem nawozów mineralnych (NPK – ogółem) należały: wielkopolskie

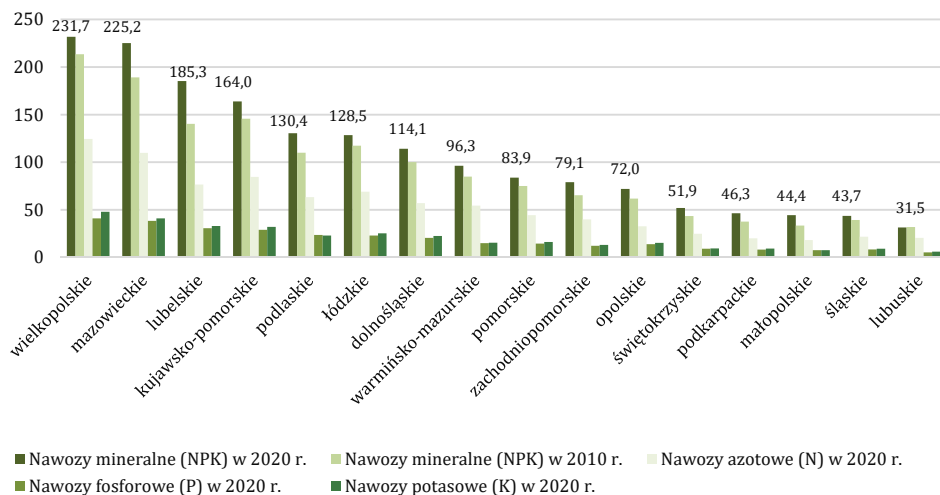
(13,4% udział w zużyciu NPK ogółem), mazowieckie (13,0%), lubelskie (10,7%) oraz kujawsko-pomorskie (9,5%) (mapa 6).



Mapa 6. Zużycie nawozów mineralnych (NPK) w gospodarstwach rolnych według województw Polski, w 2020 r. [tys. ton]

Źródło: opracowanie własne na podstawie: www.bdl.stat.gov.pl 2022.

W przypadku regionów o najniższym stopniu wykorzystania nawożenia w produkcji rolnej, gdzie udział w zużyciu nawozów NPK ogółem wynosił poniżej 5%, wyróżnić należy z kolei województwa: lubuskie (1,8%), małopolskie (2,6%), podkarpackie (2,6%), śląskie (2,5%), świętokrzyskie (3%), opolskie (4,2%), zachodniopomorskie (4,6%) oraz pomorskie (4,9%). W pozostałych jednostkach udział ten oscylował w granicach od 5,6% w województwie warmińsko-mazurskim do 7,5% w podlaskim i łódzkim. Porównując sezon 2019/2020 w stosunku do 2009/2010 zauważyć można, iż we wszystkich województwach nastąpił wzrost wielkości zużycia nawozów mineralnych. Największy zanotowano w województwach: lubelskim (o 44 856 t), mazowieckim (o 35 946 t), podlaskim (o 20 469 t) oraz wielkopolskim i kujawsko-pomorskim (około 18 300 t). Najniższy wzrost poziomu nawożenia odnotowano natomiast w województwie śląskim (o 4 394 t). Jedyńm regionem na obszarze, którego poziom zużycia nawozów NPK obniżył się w przeciągu badanej dekady było województwo lubuskie (spadek o 321 t) (wykres 11).



Wykres 11. Zużycie nawozów mineralnych (NPK) w gospodarstwach rolnych według województw Polski [tys. ton]

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Powszechny Spis Rolny 2020. Raport z wyników. 2021. Warszawa: GUS DR, www.bdl.stat.gov.pl 2022.

Analizując strukturę rodzajową nawozów mineralnych, można stwierdzić, że najczęściej stosowanymi zarówno w sezonie 2019/2020, jak i 2009/2010 były produkty z grupy nawozów azotowych (N), których udział w większości regionów wynosił powyżej 50,0%. Wyjątek w tym zakresie stanowiły województwa: świętokrzyskie, małopolskie, podkarpackie i lubelskie (poniżej 50,0%). W mniejszej skali stosowano natomiast nawozy fosforowe (P) (średnio udział wynosił około 20,0%) i potasowe (K) (około 30,0%). W sezonie 2019/2020 r. w województwach: opolskim, kujawsko-pomorskim, wielkopolskim, dolnośląskim, pomorskim, lubelskim i łódzkim nawożenie mineralne było największe i wynosiło od 182,9 kg do 129,8 kg NPK na 1 ha UR ogółem. Najmniejsze zużycie nawozów mineralnych odnotowano natomiast w województwach: małopolskim (85,3 kg), podkarpackim (87,4 kg) i lubuskim (84,3 kg). W pozostałych województwach zużycie nawozów na 1 ha UR ogółem wynosiło od 102 kg w warmińsko-mazurskim do 123,5 kg w śląskim (mapa 7).

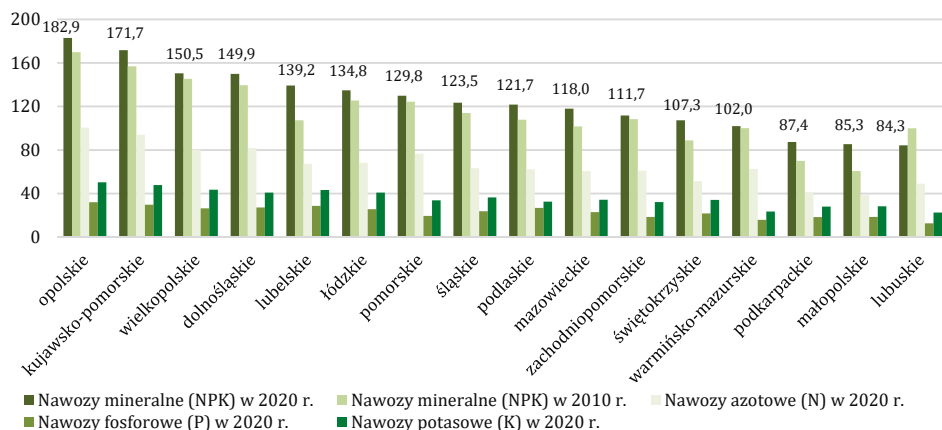
5. Zużycie nawozów w Polsce



Mapa 7. Zużycie nawozów mineralnych (NPK) w gospodarstwach rolnych według województw Polski, w 2020 r. [kg/ha UR]

Źródło: opracowanie własne na podstawie: www.bdl.stat.gov.pl 2022.

Analizując wielkość nawożenia mineralnego wyrażoną w kg na hektar UR zauważyć można, że w roku gospodarczym 2019/2020 niemal we wszystkich regionach Polski zużycie nawozów NPK było wyższe niż w sezonie 2009/2010. Do województw, w których nastąpił największy wzrost zużycia nawozów mineralnych należą: lubelskie (wzrost o 32 kg/ha UR), małopolskie (o 25 kg/ha UR) oraz świętokrzyskie i podkarpackie (o około 18 kg/ha UR). Najniższy przyrost dotyczył województw: warmińsko-mazurskiego (wzrost o niespełna 2 kg/ha UR), zachodniopomorskiego (o ponad 3 kg/ha UR) oraz wielkopolskiego i pomorskiego (o około 5 kg/ha UR). Regionem, który jako jedyny charakteryzował się spadkiem poziomu nawożenia NPK było natomiast województwo lubuskie (spadek o blisko 16 kg/ha UR) (wykres 12).



Wykres 12. Zużycie nawozów mineralnych (NPK) w gospodarstwach rolnych według województw Polski [kg/ha UR]

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Powszechny Spis Rolny 2020. Raport z wyników. 2021. Warszawa: GUS DR, www.bdl.stat.gov.pl 2022.

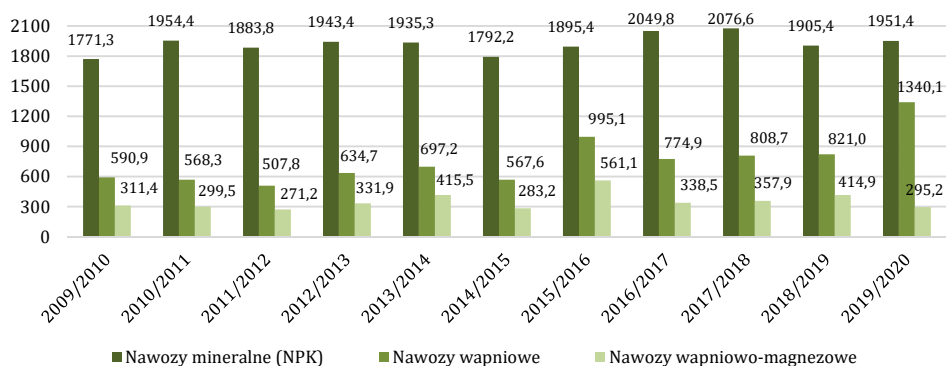
Zaprezentowane wyniki badań pokazują, że w latach 2010–2020 znacznie szybciej następował wzrost poziomu nawożenia mineralnego w tych województwach, w których był on najniższy w 2010 r., a struktura agrarna gospodarstw rolnych zlokalizowanych na ich obszarze była wyraźnie rozdrobiona. Można domniemywać zatem, że wzrost wartości wskaźnika obrazującego średnie zużycie NPK w ujęciu analizowanej dekady, spowodowany był faktem, iż część gospodarstw, które zaniechały lub znacznie ograniczyły swoją produkcję udostępniło zasoby ziemi podmiotom większym. Przyspieszenie procesów transferu ziemi rolniczej zwiększa bowiem często intensywność produkcji, co prowadzi z kolei do wzrostu poziomu nawożenia mineralnego na ha UR.

5.3. Stan zużycia nawozów wapniowych i wapniowo-magnezowych w Polsce

W Polsce na powierzchni ponad 90,0% kraju występują gleby wytworzone z kwaśnych skał osadowych, powstałe w wyniku wymywania kationów o charakterze zasadowym. Proces ten stymulowany jest zwykle przez opady oraz niskie temperatury, zwłaszcza w okresie jesienno-zimowym. Nie bez znaczenia pozostają także procesy mikrobiologiczne. Do zakwaszania gleby w sposób szczególny przyczynia się zatem oddziaływanie czynników naturalnych. Z przeprowadzonych przez Krajową Stację Chemiczno-Rolniczą

czą (KSCh-R) badań wynika, że w latach 2017–2020 oszacowane sumaryczne zapotrzebowanie rolnictwa na wapno wynosiło ponad 31 mln ton CaO, tj. ponad 62 mln ton w masie nawozów, w tym dla gleb bardzo kwaśnych o pH poniżej 5,1 około 18,5 mln ton CaO (blisko 37 mln ton w masie nawozów). Zapotrzebowanie to powinno być zrealizowane w przeciągu najbliższych 4–6 lat, a zastosowanie takiej ilości CaO pozwoliłoby na doprowadzenie odczynu gleb do poziomu odpowiadającego potrzebom produkcji roślinnej w Polsce. Oznacza to, że około 69,0% krajowych zasobów glebowych wykorzystywanych w produkcji rolnej wykazuje pilną potrzebę wapnowania. W przypadku 21,0% gleb ich potrzebę wapnowania określa się jako konieczną, dla 14,0% jako potrzebną, a dla 17,0% odpowiednio jako wskazaną i ograniczoną. Dla pozostałych 31,0% powierzchni użytkowanych rolniczo stwierdza się natomiast, że ich wapnowanie jest zbędne [Ochrona środowiska... 2021].

Analizując zużycie nawozów wapniowych w Polsce zauważyć można, że w latach 2010–2020 jego wielkość wzrosła ponad dwukrotnie, tj. z 590,9 tys. ton do 1 340 tys. ton. Warto podkreślić także, że poziom wykorzystania tego rodzaju środków w produkcji rolnej w sezonie 2019/2020 był najwyższy na przestrzeni całej badanej dekady, do czego przyczynił się m.in. wprowadzony w 2019 r. *Ogólnopolski program regeneracji środowiskowej gleb poprzez ich wapnowanie* i związane z nim dofinansowanie na realizację przedsięwzięć skutkujących poprawą jakości środowiska. Łącznie w skali kraju, w omawianym okresie 956 tys. gospodarstw rolnych zadeklarowało stosowanie nawozów mineralnych lub wapniowych, a udział podmiotów wykorzystujących w produkcji nawożenie wapniowe wynosił 21,3% (wykres 13).

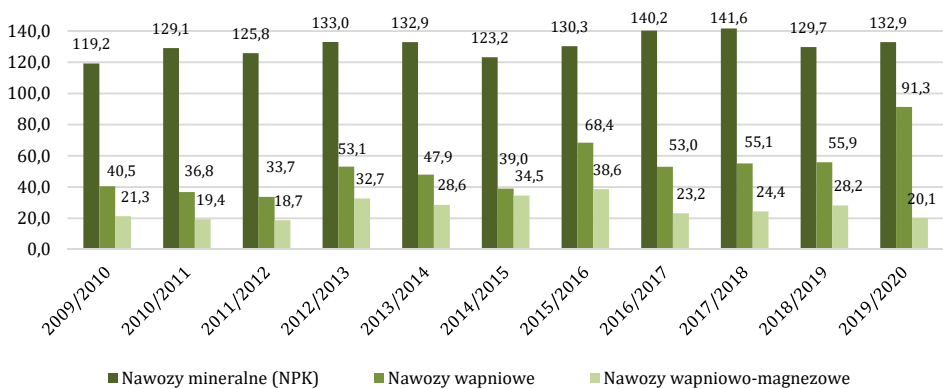


Wykres 13. Zużycie nawozów wapniowych i wapniowo-magnezowych na tle nawozów mineralnych (NPK) w Polsce [tys. ton]

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Powszechny Spis Rolny 2020. Raport z wyników. 2021. Warszawa: GUS DR, Środki produkcji w rolnictwie w roku gospodarczym 2019/2020. 2021. Warszawa: GUS DR.

W przypadku nawozów magnezowo-wapniowych na przestrzeni analizowanych 10 lat zauważalna była wyraźnie amplituda wahań wielkości ich zużycia. W porównaniu z rokiem 2009/2010, w sezonie 2019/2020 nastąpił spadek wielkości wykorzystania tego rodzaju środków produkcji o ponad 16 tys. ton (o około 5,0%). Najwyższy przyrost nawożenia magnezowo-wapniowego dotyczył lat 2013/2014 oraz 2018/2019 (wzrost o blisko 33,0%). Najniższy poziom ich wykorzystania w produkcji rolnej odnotowano natomiast w sezonie 2011/2012, kiedy w gospodarstwach rolnych zużyto około 270 tys. ton tego typu nawozów, tj. nastąpił spadek w porównaniu do roku 2009/2010 o ponad 13,0%.

W sezonie 2019/2020 zużycie nawozów wapniowych w Polsce wynosiło średnio 91,3 kg w przeliczeniu na 1 ha UR i było ponad dwukrotnie większe niż w sezonie 2009/2010. Wzrost poziomu wapnowania gleb odnotowano we wszystkich grupach obszarowych gospodarstw rolnych, przy czym największy, podobnie jak w przypadku zużycia nawozów mineralnych (NPK), w jednostkach o powierzchni powyżej 100 ha UR (średnio 133,3 kg CaO/ha UR) [Powszechny Spis Rolny 2020. Raport... 2021]. Charakteryzując wielkość wykorzystania w produkcji rolnej nawozów wapniowo-magnezowych zauważyć można, że w stosunku do roku 2009/2010, w sezonie 2019/2020 wystąpił jej niewielki spadek, tj. z 21,4 kg/ha UR do 20,1 kg/ha UR. W badanym okresie największy wzrost (o ponad 50,0%) zużycia tego typu nawozów charakteryzował lata: 2012/2013, 2014/2015 oraz 2015/2016. Największy spadek, tj. o 12,2% miał miejsce w sezonie 2011/2012 (wykres 14).



Wykres 14. Zużycie nawozów wapniowych i wapniowo-magnezowych na tle nawozów mineralnych (NPK) w Polsce [kg/ha UR]

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Powszechny Spis Rolny 2020. Raport z wyników. 2021. Warszawa: GUS DR, Środki produkcji w rolnictwie w roku gospodarczym 2019/2020. 2021. Warszawa: GUS DR.

Analiza przestrzenna wielkości zużycia nawozów wapniowych w ujęciu regionalnym przeprowadzona na bazie danych Głównego Urzędu Statystycznego (GUS) wykazała, że w roku gospodarczym 2019/2020 do województw, które charakteryzowały się najwyższym poziomem ich wykorzystania w produkcji rolnej należały: wielkopolskie (12,1% udziału w krajowym zużyciu CaO ogółem), mazowieckie (11,8%), lubelskie (10,2%) oraz kujawsko-pomorskie (9,3%). W przypadku regionów o najniższym udziale nawozów wapniowych, wyróżnić należy z kolei województwa: lubuskie (2,0%), świętokrzyskie (2,2%), małopolskie (2,3%), śląskie (2,4%), podkarpackie (3,3%) oraz opolskie (4,9%). W pozostałych jednostkach udział ten oscylował w granicach od 5,1% w województwie pomorskim do 9,3% w województwie kujawsko-pomorskim (mapa 8).

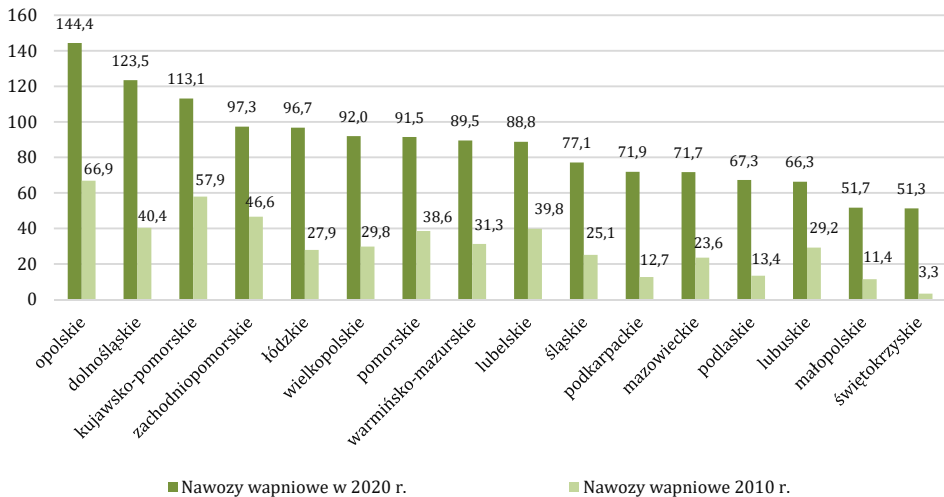


Mapa 8. Zużycie nawozów wapniowych w gospodarstwach rolnych według województw Polski, w 2020 r. [kg/ha UR]

Źródło: opracowanie własne na podstawie: www.bdl.stat.gov.pl 2022.

W roku gospodarczym 2019/2020 zróżnicowanie poziomu wapnowania gleb w poszczególnych województwach w Polsce wahało się w granicach od około 51 kg/ha UR w województwach świętokrzyskim i małopolskim do 144,5 kg/ha UR w województwie opolskim. W porównaniu z innymi województwami względnie wysokie zużycie nawozów wapniowych odnotowano także w województwach: dolnośląskim i kujawsko-pomorskim, tj. powyżej

110 kg/ha UR oraz zachodniopomorskim, łódzkim, wielkopolskim i pomorskim – ponad 90 kg/ha UR. W pozostałych regionach poziom nawożenia CaO kształtował się następująco: lubuskie (66,0 kg/ha), podlaskie (67,3 kg/ha), mazowieckie (71,7 kg/ha), podkarpackie (71,9 kg/ha), śląskie (77,1 kg/ha), lubelskie (88,8 kg/ha) oraz warmińsko-mazurskie (89,5 kg/ha). Analizując wielkość dawek CaO na ha UR zauważyć można, że w roku gospodarczym 2019/2020 w poszczególnych regionach Polski ich poziom był wyraźnie wyższy niż w sezonie 2010/2011. Do regionów, w których nastąpił największy wzrost zużycia nawozów wapniowych należą województwa: dolnośląskie (wzrost o 83,1 kg/ha UR), opolskie (o 77,5 kg/ha UR), łódzkie (o około 68,8 kg/ha UR), wielkopolskie (62,2 kg) oraz podkarpackie (59,2 kg/ha UR). Najniższy przyrost dotyczył natomiast województw: lubuskiego (wzrost o niespełna 37,1 kg/ha UR) i małopolskiego (o ponad 40 kg/ha UR). W przypadku pozostałych regionów (świętokrzyskiego, lubelskiego, kujawsko-pomorskiego, mazowieckiego, podlaskiego, pomorskiego, śląskiego, warmińsko-mazurskiego, wielkopolskiego oraz zachodniopomorskiego) oscylował w granicach od 48 kg/ha UR do 58 kg/ha UR (wykres 15).



Wykres 15. Zużycie nawozów wapniowych w gospodarstwach rolnych według województw Polski [kg/ha UR]

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Powszechny Spis Rolny 2020. Raport z wyników. 2021. Warszawa: GUS DR, www.bdl.stat.gov.pl 2022.

Regionalny rozkład zużycia nawozów wapniowo-magnezowych w indywidualnych gospodarstwach rolnych w Polsce wskazuje, iż podobnie, jak w przypadku nawozów wapniowych, w obrębie poszczególnych woje-

wództw występuje wyraźne zróżnicowanie w tym zakresie. Do województw charakteryzujących się najwyższym poziomem nawożenia tego rodzaju środkami produkcji należą: wielkopolskie, mazowieckie i lubuskie, w których w roku gospodarczym 2019/2020 rolnicy stosowali średnio 30 kg/ha UR. Najniższe zużycie nawozów wapniowo-magnezowych dotyczyło natomiast regionów: małopolskiego, świętokrzyskiego (w obu przypadkach dawka w kg na ha UR kształtowała się w okolicach 4,5 kg) oraz podkarpackiego, lubuskiego i śląskiego (średnio 6,8 kg/ha UR). W pozostałych województwach wielkość tego typu nawożenia mieściła się w przedziale od 11,6 kg/ha UR w warmińsko-mazurskim do 19,4 kg/ha UR w podlaskim (mapa 9).



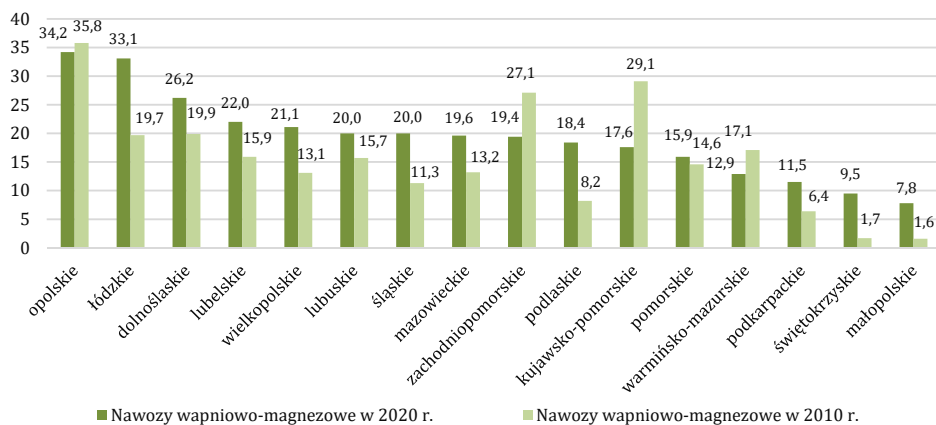
Mapa 9. Zużycie nawozów wapniowo-magnezowych w gospodarstwach rolnych według województw Polski, w 2020 r. [kg/ha UR]

Źródło: opracowanie własne na podstawie: www.bdl.stat.gov.pl 2022.

Udostępnione przez Główny Urząd Statystyczny (GUS) dane na temat stosowania przez polskich rolników nawozów wapniowo-magnezowych wskazują, że w badanym okresie do województw, w których w sezonie 2019/2020 nastąpił spadek poziomu nawożenia należały: kujawsko-pomorskie (spadek o 11,5 kg/ha UR), zachodniopomorskie (spadek o 7,7 kg/ha UR), warmińsko-mazurskie (spadek o 4,2 kg/ha UR) oraz mazowieckie (spadek o 1,6 kg/ha UR). Największą skalę wzrostu zanotowano natomiast

w regionie: łódzkim (wzrost o 13,4 kg/ha UR), podlaskim (wzrost o 10,2 kg/ha UR) oraz śląskim i wielkopolskim (wzrost odpowiednio o: 8,7 kg/ha UR i 8 kg/ha UR). W pozostałych województwach wzrost wielkość dawki nawożenia wapniowo-magnezowego na ha UR kształtował się w przedziale od 7,8 kg/ha UR w świętokrzyskim do 1,3 kg/ha UR w pomorskim (wykres 16).

Z przeprowadzonych badań wynika, że wapnowanie jest jednym z podstawowych komponentów racjonalnego gospodarowania w rolnictwie. Większość ekspertów wskazuje bowiem, że z uwagi na duży udział gleb bardzo kwaśnych i kwaśnych w Polsce oraz dotychczasowy poziom nawożenia wapniowego wyrażonego w kg/ha UR, należy jak najszybciej zdefiniować działania mające na celu wzrost wapnowania krajowych zasobów gleby.



Wykres 16. Zużycie nawozów wapniowo-magnezowych w gospodarstwach rolnych według województw Polski [kg/ha UR]

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Powszechny Spis Rolny 2020. Raport z wyników. 2021. Warszawa: GUS DR, www.bdl.stat.gov.pl 2022.

Nawozy wapniowe i wapniowo-magnezowe produkowane z lokalnych surowców pomagają bowiem nie tylko podnieść odczyn gleby do optymalnego dla danej rośliny uprawnej (obniżają kwasowość gleby i tym samym uzyskiwana jest wyższa wydajność plonów z hektara), ale pozwalają także na zwiększenie wydajności tradycyjnie stosowanych nawozów (NPK). Dodatkowo warto podkreślić, że w warunkach obecnego kryzysu na rynku surowców energetycznych, czego konsekwencją jest stale utrzymujący trend ograniczania produkcji nawozów mineralnych (NPK) oraz rosnących kosztów stosowania tego rodzaju środków produkcji, nawozy wapniowe i wapniowo-magnezowe mogą być jednym z najlepszych sposobów do zwiększenia efektywności produkcyjnej i kosztowej polskich gospodarstw rolnych.

6. Przegląd dotychczasowych instrumentów wspierających regenerację środowiskową gleb poprzez ich wapnowanie

6.1. Przesłanki i narzędzia interwencji państwa w rolnictwie

Interwencjonizm państwowy w rolnictwie jest powszechnie stosowany w wielu krajach na świecie. Jest specyficznym modelem oddziaływania państwa wynikającym z niesprawności i zewnętrznych efektów funkcjonowania rynku, którego niekorzystne skutki ujawniają się w samym rolnictwie i jego otoczeniu [Płonka 2019]. Jego charakter, zakres, jak i formy wsparcia zależą głównie od poziomu rozwoju gospodarczego danego państwa, a stąd jego możliwości budżetowych, celów jakie stawiają sobie władze do osiągnięcia, wcześniejszych doświadczeń w realizacji działań wsparcia oraz warunków charakterystycznych dla tej gałęzi gospodarki [Biernat-Jarka 2011]. Podstawową i najczęściej podkreślaną przesłanką ingerencji państwa w rolnictwie jest przyrodniczy charakter produkcji rolnej. Zależność produkcji od praw przyrody, zwłaszcza warunków klimatycznych, ma istotny wpływ na strukturę, wielkość i jakość produkcji finalnej, co z kolei przekłada się na wielkość dochodów uzyskiwanych przez rolników [Płonka 2021]. Z uwarunkowań przyrodniczych wynika długość cyklu produkcyjnego, wynosząca od czasu zainwestowania do pierwszych efektów produkcyjnych nawet kilka lat, a efekty te nie są łatwe do przewidzenia [Musiał 1998]. Biologiczny aspekt produkcji nosi więc znamiona upośledzenia produkcji rolniczej w stosunku do innych działań gospodarki narodowej [Manteuffel 1981].

Problem występowania niedostatecznych i niestabilnych dochodów rolniczych to druga z podkreślanych przez ekonomistów, m.in. Stiglitz [1987], Wilkina [2003], Adamowicza [2009] głównych przyczyn realizowania polityki rolnej, w szczególności w krajach wysoko rozwiniętych. Klawe [1981] zauważa, iż występująca znacznie większa niż w innych branżach produkcji amplituda krótkookresowych wahań cen produktów rolnych, wywołuje wyraźne wahania dochodów i niższy w ujęciu bezwzględnym poziom dochodów przypadający na jedną osobę pracującą w rolnictwie w porównaniu z zatrud-

nionymi w pozostałych sektorach gospodarki. Podobnego zdania jest Wilkin [2003] wskazując, iż wydajność pracy oraz poziom dochodów przypadający na jednego zatrudnionego w rolnictwie większości krajów rozwiniętych jest niższy w porównaniu z pozostałymi działami gospodarki. Również rozważania teoretyków zachodnich, m.in. Harrisa [1949] i Irwina [2009], wskazują na konieczności podjęcia działań interwencyjnych w rolnictwie głównie z tej przyczyny. Dodatkowym problemem współczesnego rolnictwa w tym zakresie jest fakt deprecjonowania rolnictwa poprzez redystrybucję wartości dodanej, na rozkładzie której zyskują pośrednicy znajdujący się najbliżej konsumenta [Czyżewski i inni 2006]. Nadwyżka ekonomiczna wypracowana w rolnictwie trafia bowiem niezasłużenie do innych sektorów gospodarki [Czyżewski 2007]. Dlatego też w sferę przepływów międzygałęziowych powinno wkroczyć państwo celem transferu wytworzonej, a nie zrealizowanej przez rolników wartości dodanej [Kowalski i Rembisz 2005].

Oprócz głównych przesłanek przyrodniczych i ekonomicznych uzasadniających potrzebę interwencji państwowej w rolnictwie, ważnym argumentem jest również wspieranie świadczonych przez rolnictwo usług w zakresie dóbr publicznych [Wilkin 2003]. Łączą się one przede wszystkim z odpowiednim kształtowaniem środowiska naturalnego, utrzymaniem pożądanych walorów krajobrazowych, a także zachowaniem dziedzictwa kulturowego. Działalność przyjazna dla środowiska naturalnego wiąże się jednak z pewnymi wyrzeczeniami czy działaniami dodatkowymi. Z jednej strony zaleca się ograniczenie lub zaniechanie przez rolników stosowania środków produkcji, jak nawozy czy środki ochrony roślin wpływających niekorzystnie na środowisko, z drugiej – zachęca do poprawy właściwości chemicznych i fizycznych gleby, decydujących w dużej mierze o ilości i jakości płodów rolnych. Właściwości gleb uprawnych limitują bowiem nie tylko opłacalność produkcji rolniczej, ale również wpływają na obciążenie środowiska naturalnego. Działanie te, służące poprawie stanu środowiska kosztem dodatkowego wysiłku rolnika, powinny być producentom rolnym rekompensowane [Chotkowski, 2009]. Umiejętne łączenie i podtrzymywanie funkcji rolniczych z ochroną przyrody i krajobrazu warunkuje pomyślność rozwoju regionalnego [Musiał 1998].

W literaturze przedmiotu trudno znaleźć oponentów co do potrzeby interwencji w rolnictwie. Jak zauważa Wilkin [2003]: *we wszystkich krajach występuje jakaś forma polityki rolnej, a rolnictwo jest nadal najważniejszym obiektem interwencjonizmu państwowego w gospodarce. Dlatego w żadnym kraju nie pozostawia się rolnictwa wolnej grze rynkowej. Mówiąc o konieczności wsparcia należy stwierdzić, iż: wspieranie rozwoju rolnictwa nie odbywa się wyłącz-*

nie w interesie rolników (...) lecz jest niezbędne dla rozwoju całej gospodarki i w interesie całego społeczeństwa [Adamowicz 2009]. Aktywność państwa w żywiołowość zjawisk i procesów rynkowych nie powinna jednak zastępować mechanizmu rynkowego. Wyrazem aktywności państwa w odniesieniu do rolnictwa powinna być „odpowiednia” polityka rolna, polegająca na formułowaniu celów oddziaływania, poszukiwaniu i doskonaleniu form ingerencji państwa oraz odpowiednim doborze narzędzi do ich realizacji [Płonka 2019].

Realizacja założeń Wspólnej Polityki Rolnej (WPR) wymaga przyjęcia stosownych i zróżnicowanych form aktywności państwa w różnych obszarach rolnictwa i jego otoczeniu. W ramach WPR funkcjonuje szeroki wachlarz złożonych, często powiązanych ze sobą mechanizmów, wykorzystywanych do osiągnięcia celów objętych tą polityką. Ze względu na rolę w funkcjonowaniu mechanizmów rynkowych, zakres ich oddziaływania w rolnictwie może być różny i przybierać bardziej lub mniej bezpośrednie formy [Przygodzka 2006]. Do głównych zadań poszczególnych instrumentów WPR należy m.in.: zapewnianie wystarczającego poziomu produkcji artykułów rolno-spożywczych oraz ich konkurencyjności na rynku globalnym, zapewnianie odpowiedniego standardu życia producentów rolnych, a także dbanie o wysoką jakość produktów, zarówno pod względem zdrowotnym, jak i sanitarno-weterynaryjnym [Judzińska 2011]. Ze względu więc na cel oddziaływania, instrumenty wspierające rolnictwo w ramach WPR można podzielić na [Wawrzyniak 2020]:

- regulujące podaż produktów rolno-spożywczych (poprzez zapewnianie wystarczającego poziomu produkcji i jakości artykułów rolno-spożywczych),
- wspierające rynek wewnętrzny oraz podtrzymujące ceny (poprzez interwencję rynkową, system cen rynkowych, dopłaty do produkcji, przetwórstwa, przechowalnictwa i konsumpcji),
- chroniące rynek wewnętrzny (dzięki odpowiedniej polityce importowej),
- zapewniające konkurencyjność na rynku globalnym (poprzez subsydia oraz opłaty eksportowe),
- bezpośrednio podtrzymujące dochody rolników (w postaci płatności bezpośrednich),
- wspierające transfer wiedzy i innowacji w rolnictwie.

Wspólnotowy charakter polityki rolnej realizowanej przez Unię Europejską narzuca krajom członkowskim realizację wyznaczonych celów i założeń według określonych zasad. Wytycza także dopuszczalny wachlarz instrumentów pomocy oraz źródła finansowania podejmowanych działań

względem rolnictwa. Z drugiej jednak strony, wspólnotowość nie ogranicza swoim członkom możliwości tworzenia i implementacji własnych polityk krajowych. Państwa członkowskie mogą więc, a nawet jak podkreśla Wilkin [2010] powinny tworzyć własne krajowe strategie i polityki rozwoju rolnictwa, będące niezbędnymi elementami uzyskania korzyści płynących ze Wspólnej Polityki Rolnej (WPR). Wsparcie krajowe sektora rolnego polega na podejmowaniu przez organy władzy państwowej (bądź organy jednostek samorządu terytorialnego lub instytucji prawa publicznego) przedsięwzięć finansowanych z budżetu państwa oraz innych działań o charakterze niefinansowym, wspierających ekonomicznie funkcjonowanie tego sektora [Wsparcie... 2006]. Innymi słowy, wsparcie krajowe w sektorze rolnictwa obejmuje wszystkie formy pomocy państwa dotyczące produkcji, przetwarzania i obrotu produktami rolnymi. W ostatnich latach głównym obszarem pomocy udzielanej z budżetu państwa w sektorze rolnictwa było:

- stosowanie dopłat do oprocentowania kredytów inwestycyjnych i kłeszkowych udzielanych przez banki,
- udzielanie nieoprocentowanych pożyczek na sfinansowanie nieuregulowanych zobowiązań cywilno-prawnych dla producentów świń prowadzących działalność rolniczą na obszarach występowania ASF,
- finansowanie lub dofinansowanie kosztów zbioru, transportu lub unieszkodliwiania padłych zwierząt gospodarskich,
- udzielanie dopłat z tytułu zużytego do siewu lub sadzenia materiału siewnego kategorii elitarny lub kwalifikowany,
- przejęcie przez KOWR długu podmiotu prowadzącego gospodarstwo rolne powstałego w związku z prowadzeniem działalności rolniczej,
- udzielanie dopłat do składek producentów rolnych z tytułu zawarcia umów ubezpieczenia od wystąpienia zdarzeń losowych,
- zwracanie części podatku zawartego w cenie zakupionego oleju napędowego wykorzystanego do produkcji rolnej.

W ramach szerokiego wachlarza krajowych narzędzi wsparcia rolnictwa i obszarów wiejskich znalazły się realizowane przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW), tzw. priorytetowe programy pomocowe. Programy te mają na celu realizację przedsięwzięć z zakresu ochrony środowiska, które zostały wyznaczone w przyjętej w 2014 r. *Strategii Bezpieczeństwo Energetyczne i Środowisko* [Strategia... 2014]. Jednym z nich jest *Program racjonalnego gospodarowania odpadami i ochrony powierzchni ziemi*, którego celem jest ograniczenie negatywnego oddziaływania na środowisko oraz przywrócenie do ponownego użytkowania terenów zdegradowanych poprzez rekultywację, w tym remedia-

cję, wraz z usuwaniem odpadów. W ramach tego Programu ujętych zostało dziesięć kluczowych zadań, a jednym z nich jest regeneracja środowiskowa gleb poprzez ich wapnowanie. Zadanie to zostało zawarte w postaci *Ogólnopolskiego programu regeneracji środowiskowej gleb poprzez ich wapnowanie*, mającym na celu wsparcie finansowe działań regeneracyjnych gleb zakwaszonych w wyniku oddziaływania czynników antropogenicznych.

6.2. Ogólnopolski program regeneracji środowiskowej gleb poprzez ich wapnowanie – założenia programowe i kryteria dostępu

Zgodnie z zapowiedziami Ministra Środowiska oraz Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi (MRiRW), Zarząd Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW) przyjął w 2019 r. realizację programu priorytetowego pt.: *Ogólnopolski program regeneracji środowiskowej gleb poprzez ich wapnowanie* (zw. w dalszej części Programem). *Polskie gleby z natury, ze względu na swoją strukturę i mineralne pochodzenie, w zdecydowanej większości są glebami, które ulegają naturalnym procesom zakwaszenia. Stąd wynika konieczność wapnowania. Program, który dzisiaj w sposób formalny rusza, jest programem, który ma przynieść szybkie efekty dla znacznej części rolników – mówił podczas uroczystości podpisania porozumienia ówczesny minister rolnictwa Jan Krzysztof Ardanowski. Pod względem merytorycznym wapnowaniem zajmą się stacje chemiczne, a pod względem finansowym – Wojewódzkie Fundusze Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej – dodał minister środowiska Henryk Kowalczyk, dokonujący uroczystego podpisania porozumienia między oboma ministerstwami [Pokora-Kalinowska 2019].*

Ogólnopolski program regeneracji środowiskowej gleb poprzez ich wapnowanie ruszył 1 sierpnia 2019 r., a jego realizacja jest przewidziana do 31 grudnia 2023 r. Głównym celem Programu jest wsparcie działań regeneracyjnych gleb zakwaszonych w wyniku oddziaływania czynników antropogenicznych. W programie zaplanowano regenerację gleb na powierzchni co najmniej 250 tys. ha UR, przeznaczając na ten cel budżet w wysokości 300 mln zł. Dofinansowanie udzielane jest – zgodnie z zapowiedzią Ministra – przez Wojewódzkie Fundusze Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (WFOŚiGW) z wykorzystaniem środków udostępnionych przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW). Budżety udostępniane na ten cel wojewódzkim funduszom ochrony środowiska i gospodarki wodnej ustalane są pomiędzy nimi a NFOŚiGW, po rozpoznaniu faktycznego zapotrzebowania na środki w danym regionie, według algorytmu opisanego w regulaminie naboru.

Udostępnienie środków finansowych WFOŚiGW przez NFOŚiGW jest nieodpłatne i bezzwrotne, a NFOŚiGW odstępuje od pobrania zabezpieczenia na ten cel od WFOŚiGW. Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej zobowiązany jest do zapewnienia, aby wsparcie udzielane ostatecznym beneficjentom było zgodne z zasadami pomocy publicznej określonymi w rozporządzeniu Komisji (UE) nr 1408/2013 z dnia 18 grudnia 2013 r. w sprawie stosowania art. 107 i 108 Traktatu o funkcjonowaniu Unii Europejskiej do pomocy *de minimis* w sektorze rolnym (Dz. Urz. UE L 352 z dnia 24.12.2013, str. 9, z późn. zm.: Dz. Urz. UE L I 51 z dnia z 22.02.2019), a także do realizacji innych obowiązków podmiotu udzielającego pomocy.

Beneficjentem końcowym Programu byli dotychczas posiadacze użytków rolnych o powierzchni nieprzekraczającej 75 ha, a dofinansowaniu podlegała regeneracja gleb o odczynie pH mniejszym lub równym 5,5. W 2023 r. grono uprawnionych do dopłat powiększono o większe gospodarstwa. Jak podają Wojewódzkie Fundusze Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, gospodarstwa powyżej 75 ha użytków rolnych mogą uzyskać dofinansowanie do zakupu wapna nawozowego lub środka wapnującego niezbędnego do wysiewu na powierzchni nieprzekraczającej 75 ha użytków rolnych w ciągu 1 roku kalendarzowego [Andrzejewska 2023]. Nabór wniosków prowadzony jest w trybie ciągłym. Terminy, sposób składania wniosków i ich rozpatrywania określone zostają w ogłoszeniach o naborze, które zamieszczone są na stronie internetowej właściwego WFOŚiGW. Wnioski beneficjentów końcowych obsługują WFOŚiGW, które zawarły z NFOŚiGW umowę udostępnienia środków.

Dofinansowanie działań regeneracyjnych dla danej działki ewidencyjnej udzielane jest w ramach Programu raz na cztery lata, a kwota dofinansowania wynosi odpowiednio:

- do 300 zł/t czystego składnika odkwaszającego (CaO oraz CaO+MgO) dla gospodarstw o powierzchni nie przekraczającej 25 ha użytków rolnych,
- do 200 zł/t czystego składnika odkwaszającego (CaO oraz CaO+MgO) dla gospodarstw o powierzchni powyżej 25 ha, ale nie przekraczającej 50 ha użytków rolnych,
- do 100 zł/t czystego składnika odkwaszającego (CaO oraz CaO+MgO) dla gospodarstw o powierzchni powyżej 50 ha, przy czym gospodarstwa powyżej 75 ha użytków rolnych mogą uzyskać dofinansowanie do zakupu wapna nawozowego lub środka wapnującego niezbędnego do wysiewu na powierzchni nieprzekraczającej 75 ha użytków rolnych w ciągu 1 roku kalendarzowego (obowiązuje w 2023 r.).

Realizacja *Ogólnopolskiego programu regeneracji środowiskowej gleb poprzez ich wapnowanie* zakłada udzielanie dotacji WFOŚiGW ze środków udostępnionych przez NFOŚiGW. Dlatego też, WFOŚiGW partycypują w pokryciu kosztów realizacji Programu. Minimalne łączne zaangażowanie środków WFOŚiGW w realizację niniejszego programu priorytetowego wynosi:

- 1% kosztów kwalifikowanych dla WFOŚiGW, w których stan funduszu na dzień 31.12.2018 r. wynosił nie więcej niż 250 mln zł,
- 3% kosztów kwalifikowanych dla WFOŚiGW, w których stan funduszu na dzień 31.12.2018 r. wynosił nie więcej niż 500 mln zł,
- 5% kosztów kwalifikowanych dla WFOŚiGW, w których stan funduszu na dzień 31.12.2018 r. wynosił nie więcej niż 750 mln zł,
- 7% kosztów kwalifikowanych dla WFOŚiGW, w których stan funduszu na dzień 31.12.2018 r. wynosił powyżej 750 mln zł.

Do kosztów kwalifikowanych zalicza się koszty zakupu wapna nawozowego lub środka wapnującego, zakupionego nie wcześniej niż od dnia 01.06.2019 r. (data na fakturze nie może być wcześniejsza niż data 01.06.2019 r.) i planowanego do zastosowania po złożeniu wniosku. Ważnym elementem jest podanie na fakturze zakupu informacji o typie i odmianie zakupionego wapna nawozowego lub środka wapnującego oraz informacji o zawartości CaO lub CaO+MgO. Koszty kwalifikowane obejmują wyłącznie koszty zakupu (z wyłączeniem kosztów transportu i rozsiewania):

- wapna nawozowego odpowiadającego typom wapna nawozowego, określonego w załączniku nr 6 do rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 8 września 2010 r. w sprawie sposobu pakowania nawozów mineralnych, umieszczania informacji o składnikach nawozowych na tych opakowaniach, sposobu badania nawozów mineralnych oraz typów wapna nawozowego [Dz. U. Nr 183, poz. 1229],
- do dnia 15 lipca 2022 r. środka wapnującego, o którym mowa w przepisach rozporządzenia (WE) nr 2003/2003 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 13 października 2003 r. w sprawie nawozów,
- od dnia 16 lipca 2022 r. środka wapnującego, o którym mowa w przepisach rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/1009 z dnia 5 czerwca 2019 r. ustanawiającego przepisy udostępniania na rynku produktów nawozowych UE, zmieniającego rozporządzenia (WE) nr 1069/2009 i (WE) nr 1107/2009 oraz uchylającego rozporządzenie (WE) nr 2003/2003.

Formularz wniosku o wsparcie wapnowania regeneracyjnego gleb znajduje się na stronach internetowych właściwych WFOŚiGW. Rolnicy chcący skorzystać z dofinansowania mają obowiązek pobrać odpowiedni (obowiązujący w danym roku/naborze) wzór formularza wniosku, a następnie wy-

pełnić go w formie elektronicznej. Wniosek o wsparcie wapnowania regeneracyjnego gleb wymaga od wnioskodawcy podania danych ewidencyjnych i adresowych rolnika, dokonania charakterystyki użytków rolnych posiadanych w gospodarstwie, wyliczenia kosztów dofinansowania, upoważnienia OSChR do przekazania wniosku właściwemu miejscowo WFOŚiGW, a także złożenia oświadczeń m.in. o:

- odpowiedzialności karnej za składanie fałszywych zeznań,
- karalności przestępstw polegających na wprowadzaniu w błąd instytucji w celu wyłudzenia środków publicznych,
- statusie podatnika podatku VAT,
- (nie)otrzymaniu pomocy *de minimis* w rolnictwie lub rybołówstwie,
- (nie)zaleganiu z opłatami za korzystanie ze środowiska,
- (nie)zaleganiu z płatnościami do ZUS/KRUS oraz Urzędu Skarbowego,
- dokonaniu wyboru wykonawcy z zachowaniem zasad konkurencyjności,
- terminie zastosowania wapna nawozowego na posiadanych gruntach rolnych.

Wypełniony poprawnie wniosek o wsparcie wapnowania regeneracyjnego gleb w wersji elektronicznej wraz z oświadczeniami oraz załącznikami rolnik powinien wydrukować, czytelnie podpisać, a następnie złożyć drogą pocztową lub osobiście we właściwej miejscowo Okręgowej Stacji Chemiczno-Rolniczej (OSCh-R). Ponadto, ma obowiązek również przesłać niniejszą wersję elektroniczną wniosku na adres mailowy OSCh-R, w której złożył tenże wniosek w wersji papierowej. „Podwójne” złożenie wniosku, tj. w wersji papierowej oraz elektronicznej jest warunkiem koniecznym do przyznania dofinansowania. Wymaganymi załącznikami do wniosku są m.in.:

- opinia OSCh-R o zalecanej dawce CaO lub CaO+MgO,
- faktura (oryginał) za wapno nawozowe lub środki wapnujące,
- oświadczenie o pomocy *de minimis* w rolnictwie,
- oświadczenie o uzyskanym dofinansowaniu,
- oświadczenie o dochodach.

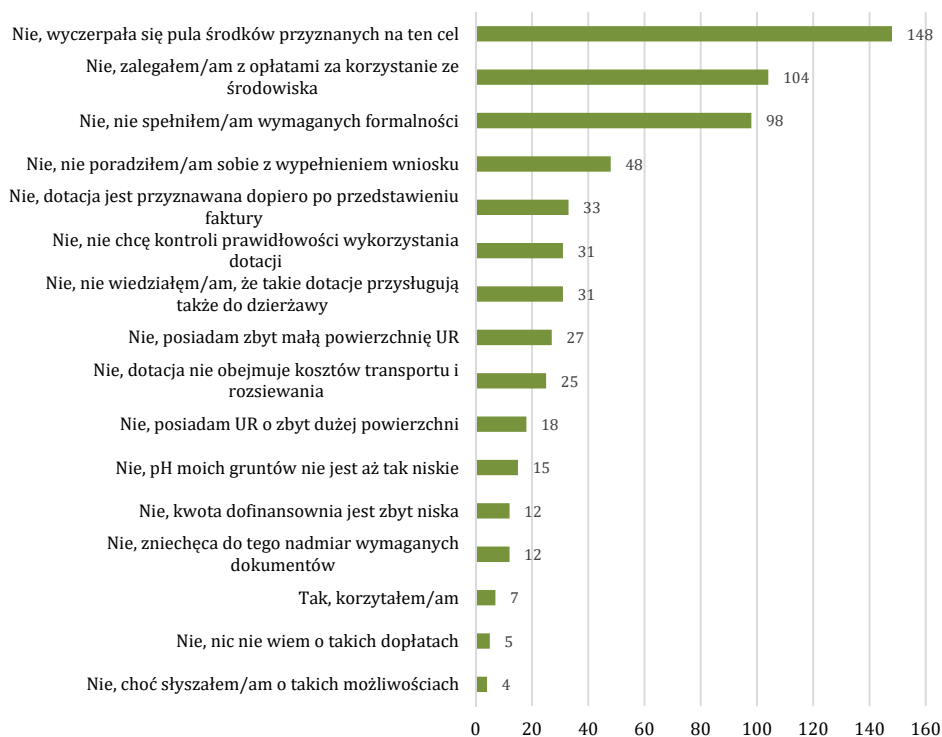
Jeżeli rolnik złoży wniosek o wsparcie wapnowania regeneracyjnego gleb do innej niż właściwa miejscowo OSCh-R, wówczas zostanie on przekazany do oceny do właściwej miejscowo OSCh-R. Właściwa miejscowo OSCh-R przekaze następnie kompletny wniosek, oceniony pod względem formalnym i merytorycznym do właściwego miejscowo WFOŚiGW, który podejmie decyzję o przyznaniu lub nieprzyznaniu pomocy. Informacja o przyznaniu dofinansowania zostanie przekazana przez WFOŚiGW bezpośrednio producentowi rolnemu. Błędnie wypełniony wniosek lub brak któregoś z załączników spowoduje, że wnioskodawca nie otrzyma dofinansowania.

Przed złożeniem wniosku o wsparcie wapnowania regeneracyjnego gleb do OSCh-R rolnik powinien zbadać pH gleby w OSCh-R lub w laboratorium akredytowanym w zakresie analiz fizycznych, fizykochemicznych i chemicznych gleb, aby otrzymać wyniki badania pH gleby. Za ważne uznaje się badania pH gleby wykonane w OSCh-R lub w laboratorium akredytowanym w zakresie analiz fizycznych, fizykochemicznych i chemicznych gleb, od dnia 1 stycznia 2017 r. Miejsce wykonania badania pH gleby warunkuje dalsze postępowanie beneficjenta. Jeżeli bowiem badanie pH gleby zostało wykonane w laboratorium, uzyskany wynik badania pH gleby rolnik ma obowiązek dostarczyć do właściwej miejscowo OSCh-R i na tej podstawie uzyskać opinię zalecającą dawkę czystego składnika CaO lub CaO+MgO w Mg na 1 ha UR. Z kolei badanie pH gleby wykonane w OSCh-R, skutkuje automatycznym otrzymaniem w OSCh-R opinii o zalecanej dawce nawożenia wapniowego. W uwagach końcowych przy wypełnianiu wniosku o wsparcie wapnowania regeneracyjnego gleb zamieszczono informacje dodatkowe wskazujące, iż rolnik w ramach dofinansowania może rozliczyć kwotę nie większą niż wynikająca z faktury za zakup wapna lub środka wapnującego. W przypadku, gdy rolnik zakupi nawóz w ilości niższej, niż zapotrzebowanie na wapń wskazane w zaleceniach nawozowych, dofinansowanie zostanie naliczone proporcjonalnie do zawartości czystego składnika. Z kolei zakupiona ilość nawozu powyżej zapotrzebowania na CaO+MgO nie zostanie dofinansowana.

6.3. Wsparcie finansowe nawożenia wapniowego gleb w opiniach respondentów

Ogólnopolski program poprawy jakości gleby poprzez ich wapnowanie według NFOŚiGW cieszy się dużym zainteresowaniem rolników. Liczba składanych wniosków corocznie wzrasta. Łącznie od 2019 r. złożono 41 880 wniosków. Jak podaje rzecznik NFOŚiGW, od początku trwania Programu do listopada 2022 r. przekazano rolnikom dofinansowanie na ogólną kwotę wynoszącą blisko 160 mln zł [www.topagrar.pl 2022]. Optymistyczna ocena realizacji Programu w skali kraju nie znalazła jednak potwierdzenia w wynikach przeprowadzonych badań ankietowych. Respondentów posiadających gospodarstwa rolne zapytano: Czy znane są im jakiegokolwiek formy dofinansowania do zakupu i stosowania nawozów wapniowych oraz czy z takich możliwości skorzystali w okresie ostatnich 4 lat? Celowo przy konstrukcji pytania nie posłużono się wskazaniem *Ogólnopolskiego programu*

poprawy jakości gleby poprzez ich wapnowanie, jako kluczowego i obecnie jedynego narzędzia bezpośredniego wsparcia finansowego w tym zakresie. Chciano tym samym uzyskać informacje nt. znajomości wśród rolników samego programu wspierającego wapnowanie gleb. Z danych uzyskanych od właścicieli gospodarstw rolnych wynikało, iż zaledwie 22,6% z nich skorzystało z dofinansowania do zakupu wapna nawozowego (bez wskazania programu wsparcia). Należy jednak przypuszczać, iż środki te pochodziły właśnie z przedmiotowego Programu, bowiem krajowa polityka rolna przewiduje obecnie promocję i wsparcie wapnowania tylko w ramach tego Programu. Pozostała część respondentów, albo nie posiadała wiedzy na temat takich możliwości wsparcia (24,1%), albo nie mogła z nich skorzystać ze względu na niespełnienie w ich opinii wymaganych kryteriów (wykres 17).



Objaśnienia do wykresu: n = 433, suma wskazań = 418, na wykresie podano możliwe do wyboru odpowiedzi na pytanie: *Czy korzystał/a Pan/i z dopłat do zakupu i stosowania nawozów wapniowych w ostatnich 4 latach?*

Wykres 17. Główne powody niewykorzystania dopłat do zakupu i stosowania nawozów wapniowych w opiniach rolników [liczba wskazań]

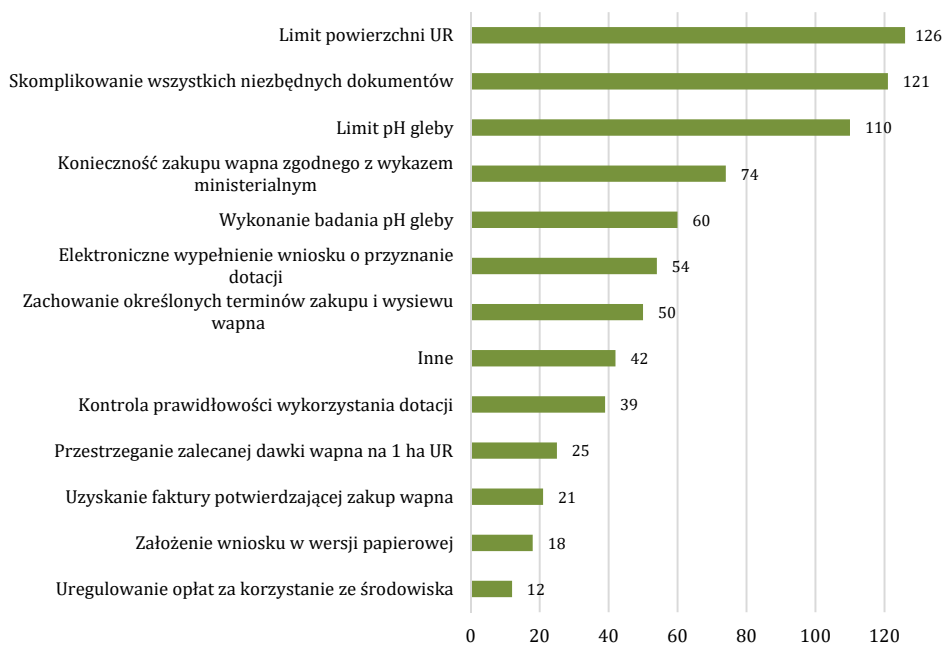
Źródło: opracowanie własne na podstawie: badań ankietowych 2023.

Zastanawiającym jest wysoki odsetek odpowiedzi wskazujących na znajomość możliwości finansowego wsparcia wapnowania gleb, a pomimo tego nieskorzystanie z oferowanej pomocy. Ponad 1/3 respondentów deklarowała bowiem, iż o takich dopłatach słyszała, lecz nie podjęła starań, aby z nich skorzystać. Jednym z kluczowych powodów zniechęcających rolników do skorzystania z dotacji na zakup nawozów wapniowych była zbyt niska kwota dofinansowania (7,8% wskazań), a następnie nadmiar wymaganych dokumentów koniecznych do ubiegania się o jakąkolwiek dotację (5,3% wskazań).

Po uzyskaniu niezbędnych od rolników informacji dotyczących ich ogólnej znajomości możliwości wsparcia finansowego zabiegów wapnowania gleb, w kolejnej części ankiety respondentom przedstawiono obecnie obowiązujący *Ogólnopolski program regeneracji środowiskowej gleb poprzez ich wapnowanie*. Pytanie zostało tak sformułowane, aby w swej treści zawarte były informacje o nazwie programu, okresie jego realizacji oraz o warunkach, jakie musi spełnić rolnik, aby mógł ubiegać się o wsparcie finansowe w ramach niniejszego Programu. Poproszono respondentów, aby wskazali, które z kryteriów przyznawania dotacji do zakupu wapna nawozowego lub środków wapnujących w ramach Programu, stanowiły w ich przypadku największą barierę. W ramach możliwości wyboru respondent mógł wskazać maksymalnie trzy odpowiedzi (kryteria). Według respondentów, kluczowym problemem eliminującym z ubiegania się o skorzystanie z dofinansowania w ramach *Ogólnopolskiego programu regeneracji środowiskowej gleb poprzez ich wapnowanie* była deklarowana przez blisko 30,0% rolników powierzchnia użytków rolnych (UR) objęta wsparciem (16,8% wskazań) (wykres 18). W Programie założono bowiem, iż beneficjentem końcowym Programu mogą być posiadacze UR o powierzchni nieprzekraczającej 75 ha. Należy w tym miejscu zaznaczyć, iż w okresie prowadzenia badań, kryterium to było obligatoryjnym. Z początkiem 2023 r. zostało jednak zmodyfikowane. Do Programu dołączono gospodarstwa większe, posiadające użytki rolne powyżej 75 ha. Gospodarstwa te mogą uzyskać w ramach Programu dofinansowanie do zakupu wapna nawozowego lub środka wapnującego niezbędnego do wysiewu, ale tylko na powierzchni nieprzekraczającej 75 ha użytków rolnych w ciągu 1 roku kalendarzowego.

Drugim z kryteriów stanowiącym barierę w skorzystaniu z dotacji w opinii 27,9% rolników była konieczność skompletowania wszystkich niezbędnych dokumentów obowiązujących przy złożeniu wniosku na dofinansowanie zadań w ramach *Ogólnopolskiego programu regeneracji środowiskowej gleb poprzez ich wapnowanie* (16,1% wskazań). Dokumenty te, prawidłowo

wypełnione i zawierające wymagane zapisy, obejmują m.in.: opinię Okręgowej Stacji Chemiczno-Rolniczej (OSCh-R) o zalecanej dawce CaO lub CaO + MgO, fakturę (oryginał) za zakup wapna nawozowego lub środków wapnujących, formularze dotyczące pomocy *de minimis* w rolnictwie czy formularze informacji przedstawianych przez wnioskodawcę (w tym oświadczenie o uzyskanym dofinansowaniu czy oświadczenie o dochodach). Błędnie wypełniony wniosek lub brak któregoś z załączników powoduje, że wnioskodawca nie otrzyma dofinansowania.



Objaśnienia do wykresu: n = 433, suma odpowiedzi = 752, na wykresie podano możliwe do wyboru odpowiedzi na pytanie: *Które z kryteriów przyznania dotacji do zakupu wapna nawozowego lub środków wapnujących (w ramach obecnie obowiązującego „Ogólnopolskiego programu regeneracji środowiskowej gleb poprzez ich wapnowanie”) stanowią w przypadku Pana/i gospodarstwa największą barierę?*

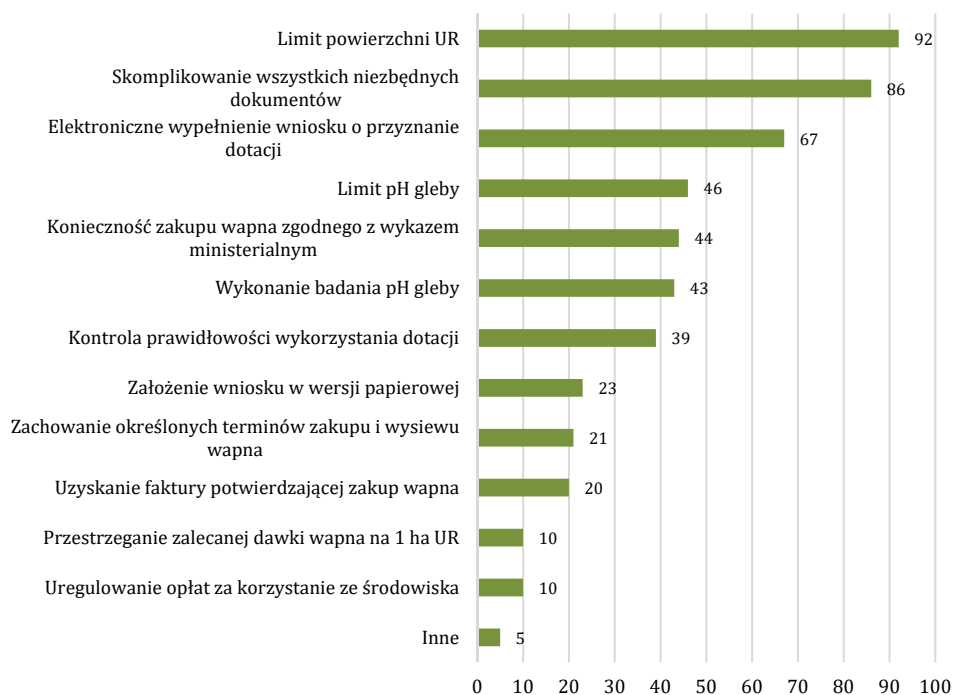
Wykres 18. Bariery w ubieganiu się o dofinansowanie zadań w ramach Ogólnopolskiego programu regeneracji środowiskowej gleb poprzez ich wapnowanie w opiniach rolników [liczba wskazań]

Źródło: opracowanie własne na podstawie: badań ankietowych 2023.

Na trzeciej pozycji wśród kryteriów stanowiących barierę w ubieganiu się o wsparcie finansowe pozyskania nawozów wapniowych znalazło się kryterium limitu pH gleby (14,6% wskazań), które wskazała ponad 1/4 respondentów. W Programie przyjęto, iż pomoc przysługiwać będzie gospodarstwom rolnym dla działek rolnych (ewidencyjnych) o pH gleby poni-

żej lub równym 5,5. W dalszej kolejności znalazły się: konieczność zakupu wapna nawozowego, o którym mowa w przepisach rozporządzenia Ministra Gospodarki i Parlamentu Europejskiego (9,8% wskazań), konieczność zbadania odczynu (pH) gleby (8,0% wskazań) oraz elektroniczne wypełnienie wniosku (7,2% wskazań).

Podobne opinie na temat kluczowych barier, z jakimi spotykają się rolnicy chcący uzyskać wsparcie w ramach *Ogólnopolskiego programu regeneracji środowiskowej gleb poprzez ich wapnowanie*, wyrazili również pracownicy instytucji otoczenia rolnictwa (tzw. eksperci), uczestniczący w tworzeniu i realizacji polityki rozwoju rolnictwa i obszarów wiejskich (wykres 19).



Objaśnienia do wykresu: n = 325, suma odpowiedzi = 506, na wykresie podano możliwe do wyboru odpowiedzi na pytanie: *Które z kryteriów przyznania dotacji do zakupu wapna nawozowego lub środków wapnujących (w ramach obecnie obowiązującego „Ogólnopolskiego programu regeneracji środowiskowej gleb poprzez ich wapnowanie”) stanowi w Pana/i opinii największą barierę dla rolników?*

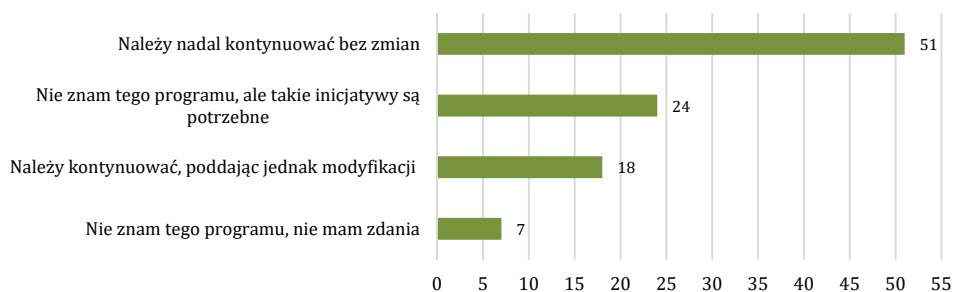
Wykres 19. Bariery w ubieganiu się o dofinansowanie zadań w ramach *Ogólnopolskiego programu regeneracji środowiskowej gleb poprzez ich wapnowanie* w opiniach ekspertów [liczba wskazań]

Źródło: opracowanie własne na podstawie: badań ankietowych 2023.

Według wskazań ekspertów, na dwóch pierwszych pozycjach znalazły się, podobnie jak w przypadku badanych właścicieli gospodarstw rolnych,

kryterium limitu powierzchni UR uprawnionych do wsparcia (18,2% wskazań) oraz konieczność wypełnienia, przygotowania i skompletowania dokumentów niezbędnych przy ubieganiu się o dotację (17,0%). Tuż za nimi, eksperci wskazali na barierę elektronicznego wypełnienia wniosku o wsparcie wapnowania regeneracyjnego gleb plasując ją na trzeciej pozycji (w przypadku rolników bariera ta była wskazana w rankingu jako szósta). Wyprzedziła ona tym samym ograniczenie limitu pH gleby poniżej lub równe 5,5, które z kolei rolnicy uznali za ważniejsze (trzecia pozycja w rankingu).

Wskazania ekspertów dotyczące identyfikacji barier w ubieganiu się przez rolników o dofinansowanie zadań w ramach *Ogólnopolskiego programu regeneracji środowiskowej gleb poprzez ich wapnowanie* ciekawie prezentują się z wynikami dotyczącymi opinii ekspertów na temat tego Programu. Ekspertów zapytano bowiem co myślą na temat założeń programowych, a pytanie to celowo umieszczono w ankiecie przed pytaniem dotyczącym kryteriów przyznawania wsparcia finansowego w ramach Programu. Ponad połowa ekspertów wskazała, iż obecny program wsparcia wapnowania regeneracyjnego gleb należy nadal kontynuować w niezmienionej formule/postaci (51,0%). Tak wysoki odsetek odpowiedzi daje podstawy sądzić, że przyjęte kryteria dostępu do środków finansowych w ramach Programu, nie stanowią w opiniach ekspertów barier w dostępie rolników do ubiegania się o dotacje. Zaledwie 18,0% pracowników instytucji okołorolniczych widziało potrzebę modyfikacji Programu poprzez wyeliminowanie lub też złagodzenie kryteriów będących największymi barierami w dostępie do środków finansowych (wykres 20).



Objaśnienia do wykresu: n = 325.

Wykres 20. Opinie ekspertów nt. znajomości *Ogólnopolskiego programu regeneracji środowiskowej gleb poprzez ich wapnowanie* [%]

Źródło: opracowanie własne na podstawie: badań ankietowych 2023.

Niepokojącym jest fakt, iż ponad 30,0% ekspertów nie słyszało, a tym samym nie znało realizowanego od 2019 r. *Ogólnopolskiego programu regeneracji środowiskowej gleb poprzez ich wapnowanie*. Ponad połowę z nich

stanowili pracownicy jednostek samorządu terytorialnego (Urzędów Gmin, Starostw Powiatowych i Urzędów Wojewódzkich), a 30,0% pracownicy instytucji rządowych (m.in. ARiMR, KOWR, RDOŚ, RZGW, Lasy Państwowe). Pocięszającym jest, iż z grupy 43 ankietowanych pracowników ODR, tylko jedna osoba deklarowała brak znajomości tego Programu. Można zatem przypuszczać, iż doradcy rolni mający bezpośredni kontakt z rolnikami będą w stanie udzielać zainteresowanym właścicielom gospodarstw rolnych informacji o możliwościach skorzystania z dofinansowania zakupu nawozów wapniowych w ramach *Ogólnopolskiego programu regeneracji środowiskowej gleb poprzez ich wapnowanie*.

Wyniki badań przeprowadzonych wśród 433 rolników i 325 ekspertów ankietowych zostały uzupełnione informacjami pochodzącymi z wywiadów pogłębianych. W trakcie wyjazdów terenowych oprócz badań ankietowych prowadzono również rozmowy z wybranymi pracownikami instytucji okołorolniczych i rolnikami, mające na celu próbę głębszego poznania badanego zjawiska. Eksperti uczestniczący w wywiadach, zapytani o kluczowe bariery w ubieganiu się przez rolników o dofinansowanie zadań w ramach *Ogólnopolskiego programu regeneracji środowiskowej gleb poprzez ich wapnowanie* wskazali przede wszystkim limit powierzchni UR oraz wartość pH gleby ($\text{pH} < 5,5$). Zaznaczyli przy tym, iż ograniczenia te dotyczą przede wszystkim rolników z województwa zachodniopomorskiego czy opolskiego, prowadzących duże gospodarstwa rolne, nastawione na maksymalizację produkcji rolnej, dla których kryterium powierzchni stanowi istotne ograniczenie.

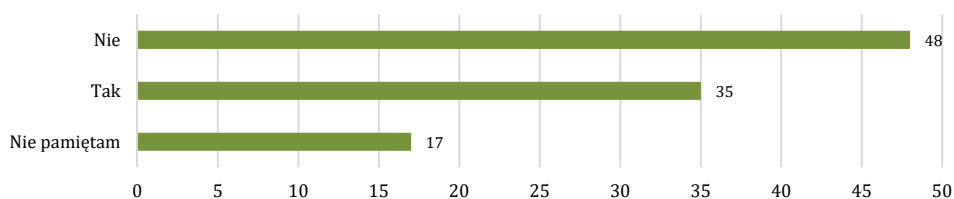
Ciekawe opinie z niniejszego zakresu badawczego wyrażano również w przypadku gospodarstw zlokalizowanych w województwach małopolskim i podkarpackim, charakteryzujących się dużym rozdrobnieniem agrarnym. Eksperti podkreślili bowiem, iż w tych regionach dominuje grupa rolników o mniejszej świadomości potrzeb wapnowania. Zdaniem respondentów większość rolników z tych województw (najczęściej prowadzących małe gospodarstwa rolne) nie widzi potrzeby prowadzenia zabiegów odkwaszania gleb, a tym samym nie ma potrzeby korzystania z programów dofinansowania wapnowania gleb. Zabieg ten postrzega się jako zabieg zwiększający koszty produkcji rolnej, którego efekt nie jest widoczny w krótkim okresie, bezpośrednio po zastosowaniu nawozu wapniowego tak, jak jest to widoczne przy zastosowaniu nawozów NPK. Dużą rolę w takim podejściu rolników do wapnowania odgrywało zdaniem ekspertów tzw. przyzwyczajenie i nawyki prowadzenia gospodarstwa rolnego, jak również uprzedzenia.

Eksperti, tj. pracownicy zarówno Izb Rolniczych (IR), jak i Ośrodków Doradztwa Rolniczego (ODR) wskazywali, że problemem dla rolni-

ków jest zebranie prób glebowych i wysłanie lub dostarczenie ich do stacji chemiczno-rolniczych. Często eksperci cytowali wypowiedzi rolników, którzy stwierdzali: „...przecież nie wapnuję i tak rośnie”, „...szkoda mi czasu na dojazd do stacji chemiczno-rolniczej”, „...przecież wapnowałem pole 5 lat wstecz i tak to nic nie dało”, „...za wapno i wapnowanie trzeba zapłacić”. Warto także podkreślić, iż bez względu na kryterium lokalizacji, tj. powiatów w których prowadzono badania ankietowe i wywiady pogłębione, ważnymi czynnikami powodującymi ograniczenia w wykorzystaniu dofinansowania według ekspertów były także: skomplikowana według rolników procedura oraz dokumentacja jaką należy przedłożyć w celu uzyskania dopłat, konieczność wyłożenia własnych środków na zakup nawozów odkwaszających oraz koszty wykonania zabiegów odkwaszania gleb.

6.4. Wsparcie wapnowania gleb a potrzeby szkoleniowe respondentów

Wysoki odsetek odpowiedzi wskazujących na brak wiedzy respondentów na temat możliwości wsparcia finansowego zakupu nawozów wapniowych skonfrontowano z kwestią przekazywania respondentom informacji na temat programów wspierających wapnowanie gleb przez uprawnione do tego instytucje. Zwrócono się więc z pytaniem, czy rolnik uczestniczył kiedykolwiek w szkoleniu/kursie obejmującym szeroko rozumianą tematykę wapnowania gleb. Uzyskane wyniki nie pozostawiały złudzeń. Blisko połowa z 433 rolników nie uczestniczyła w takim spotkaniu, a prawie 1/5 respondentów nie pamiętała czy informacje dotyczące dotacji do wapnowania gleb były im przekazywane (wykres 21). Można więc przypuszczać, iż skoro o nich nie pamiętała, to albo ich nie było, albo były przedstawione zdawkowo i na tyle nieciekawie, aby zachęcić potencjalnych beneficjentów do skorzystania z dofinansowania.



Objaśnienia do wykresu: n = 433.

Wykres 21. Uczestnictwo rolników w szkoleniach (kursach) dotyczących wapnowania gleb [%]

Źródło: opracowanie własne na podstawie: badań ankietowych 2023.

Wyniki te stoją jednak w sprzeczności z opiniami ekspertów, którzy w trakcie przeprowadzania wywiadów pogłębionych stwierdzili, że temat wapnowania gleb jest omawiany z rolnikami podczas różnych okazji. Eksperti, będący głównie pracownikami Izb Rolniczych oraz Ośrodków Doradztwa Rolniczego deklarowali, iż wskazywali na potrzebę wapnowania gleb w trakcie konsultacji, świadczenia usług doradczych czy rozmów z rolnikami. Ponadto, w odpowiedzi na pytanie: „Czy w ostatnich 5 latach Instytucja, którą Pani/Pan reprezentuje organizowała szkolenia, na których omawiano tematykę wapnowania gleb?” respondenci stwierdzili, że tematyka związana z wapnowaniem gleb była omawiana w trakcie szkoleń z rolnikami. Podkreślali, że nawet jeżeli szkolenie bezpośrednio nie dotyczyło problematyki odkwaszania gleb, to tematyka ta była omawiana w ramach innych zagadnień. Eksperti byli jednak zgodni co do konieczności dalszego prowadzenia szkoleń w tym zakresie. Wskazywali, iż dotychczasowe działania mogły nie przynieść oczekiwanych rezultatów (o czym świadczą wyniki badań ankietowych wśród rolników), dlatego też koniecznym jest oferowanie rolnikom tego typu możliwości zdobycia czy uzupełnienia wiedzy. Optymistycznie przewidywali, iż większość rolników najprawdopodobniej weźmie w tego typu spotkaniach udział.

Uczestnictwo w szkoleniach najczęściej deklarowali respondenci z wyższym wykształceniem (49,5%). Można ostrożnie przyjąć, iż wraz ze wzrostem poziomu wykształcenia zwiększał się odsetek uczestnictwa respondentów w szkoleniach. Można by przypuszczać, iż podobne tendencje powinny towarzyszyć kryterium doświadczenia rolnika, wyrażonego latami pracy w gospodarstwie rolnym. Uzyskane wyniki badań jednak nie potwierdziły tych przypuszczeń. Uwydatniły tym samym niepokojący, wysoki odsetek wskazań braku udziału w szkoleniach/kursach wśród rolników doświadczonych, prowadzących gospodarstwa ponad 10 lat. Najwięcej takich wskazań zadeklarowali rolnicy z ponad 40-letnim stażem pracy (50,0%) (tabela 15).

Tabela 15. Uczestnictwo rolników w szkoleniach/kursach dotyczących wapnowania gleb według kryterium częstotliwości wapnowania gleb [%]

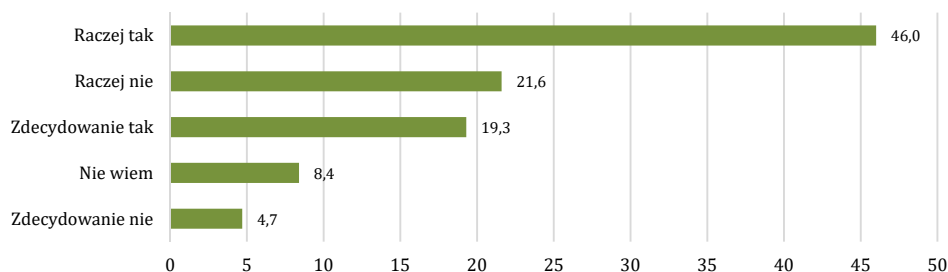
Częstotliwość wapnowania	Uczestnictwo w szkoleniu (kursie) dotyczącym wapnowania gleb według kryterium częstotliwości wapnowania gleb (%)		
	tak	nie	nie pamiętam
Systematycznie	42,1	43,0	14,5
Sporadycznie	17,2	63,8	19,0
Brak	6,7	60,0	33,3

Objaśnienia do tabeli: n = 433.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: badań ankietowych 2023.

Ciekawym z punktu widzenia badacza wydawało się również zestawienie zagadnienia teoretycznego, rozumianego jako uczestnictwo rolnika w szkoleniu (kursie) dotyczącym wapnowania gleb, z podejściem praktycznym czyli częstotliwością wykonywania zabiegów wapnowania w gospodarstwie. Uzyskane wyniki nie pozostawiały złudzeń. Respondenci, którzy nigdy nie uczestniczyli w kursach czy szkoleniach informujących o efektach i korzyściach z wapnowania gleb, zwykle też nie wykonywali takich zabiegów agrotechnicznych w swoich gospodarstwach (13,1%) lub wykonywali je sporadycznie (18,0%).

Wyniki badań prezentujące zagadnienie dotychczasowego (nie)uczestniczenia rolników w szkoleniach/kursach związanych z tematyką wapnowania gleb uzupełniono kolejnym pytaniem dotyczącym możliwości zdobycia/uzupełnienia wiedzy w tym zakresie. W odpowiedzi na pytanie: „Czy byłby/byłaby Pan/i zainteresowany/a wzięciem udziału w szkoleniu dotyczącym wapnowania gleb?“, aż 65,0% respondentów odpowiedziało pozytywnie wskazując „zdecydowanie tak” (19,3%) oraz „raczej tak” 46,0% (wykres 22). Zaledwie 4,7% respondentów z próby badawczej liczącej 430 rolników zdecydowanie nie było zainteresowanych udziałem w tego typu spotkaniach. Relatywnie wysoki odsetek właścicieli gospodarstw rolnych wskazało odpowiedź „raczej nie” (21,6%) lub nie miało w tej kwestii zdania (8,4%).



Objaśnienia do wykresu: n = 430.

Wykres 22. Zainteresowanie rolników udziałem w szkoleniach (kursach) dotyczących wapnowania gleb [%]

Źródło: opracowanie własne na podstawie: badań ankietowych 2023.

Zastanawiającym okazał się wynik wskazujący, iż 30,0% ankietowanych rolników, którzy do tej pory nie uczestniczyli w żadnym szkoleniu związanym z tematyką wapnowania gleb lub też o takim nie pamiętali, nie skorzystałoby z takiej możliwości w przyszłości (tabela 16). Duże zainteresowanie udziałem w spotkaniach informujących o potrzebie i korzyściach wapnowa-

nia gleb oraz możliwościach skorzystania na ten cel z dofinansowania wykazywali respondenci, którzy systematycznie wykonywali zabiegi wapnowania w swoich gospodarstwach (73,8%). Po przeciwnej stronie znaleźli się z kolei rolnicy, którzy nie wapnowali gleb, a równocześnie nie deklarowali zainteresowania wzięciem udziału w szkoleniach/kursach dotyczącej tej tematyki.

Tabela 16. Zainteresowanie rolników udziałem w szkoleniach/kursach dotyczących wapnowania gleb według kryterium dotychczasowego braku uczestnictwa w szkoleniach [osób] oraz częstotliwości wapnowania gleb [%]

Dotychczasowe uczestnictwo w szkoleniu	Zainteresowanie wzięciem udziału w szkoleniu (kursie) dotyczącym wapnowania gleb według kryterium dotychczasowego (nie)uczestnictwa w szkoleniach (os.)					Razem*	
	zdecydowanie tak	raczej tak	nie wiem	raczej nie	zdecydowanie nie		
Brak	38	87	19	48	14	206	
Nie pamiętam	7	33	13	17	4	74	
Częstotliwość wapnowania	Zainteresowanie wzięciem udziału w szkoleniu (kursie) dotyczącym wapnowania gleb według kryterium częstotliwości wapnowania (%)					Razem**	
	Systematycznie	Sporadycznie	Brak	zdecydowanie tak	raczej tak		nie wiem
Systematycznie	23,5	50,3	6,4	17,4	2,4	100	
Sporadycznie	8,8	36,8	14	33,3	7	100	
Brak	2,2	26,7	15,6	37,8	17,8	100	

Objaśnienia do tabeli: *n = 280 (bez respondentów deklarujących dotychczasowy udział w szkoleniu/kursie); **n = 433.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: badań ankietowych 2023.

Biorąc pod uwagę wysoki odsetek rolników deklarujących niechęć uczestniczenia w szkoleniach związanych z tematyką wapnowania gleb, zastanawiano się czy efektywnym rozwiązaniem zachęcającym rolników do większej aktywności w tym zakresie byłoby wprowadzenie obowiązkowości badania odczynu gleby. Z zagadnieniem tym zwrócono się do ekspertów – doradców rolnych oraz pracowników instytucji okołorolniczych. Ponad 56,0% badanych ekspertów, odpowiadając na pytanie „Czy Pana(i) zdaniem badanie pH gleby powinno być obowiązkowe i połączone z możliwością uzyskania dopłat rolno-środowiskowych?” odpowiedziało „zdecydowanie tak” lub „raczej tak”. Przeciwnych takiemu rozwiązaniu było 32,0% ekspertów, a 12,0% nie miało w tej kwestii opinii. Wprowadzanie dla rolników dodatkowych obowiązków będzie wiązało się ze znacznym oporem. Jednocześnie prawidłowa gospodarka nawozowa oraz poszukiwanie rozwiązań mogących poprawić efektywność wykorzystania składników pokarmowych

wprowadzanych wraz z nawozami mineralnymi wymaga systematycznego wapnowania gleb poprzedzonego kompleksowym badaniem ich pH i zasobności. Niezmiernie ważne są możliwości ograniczania presji rolnictwa na środowisko. Kluczowe w tym zakresie wydają się nade wszystko kwestie edukacji, zarówno pracowników instytucji okołorolniczych, jak i samych rolników, pomimo stawianych przez nich oporów.

7. Wykorzystanie cyfrowych map glebowo-rolniczych oraz danych lotniczego skaningu laserowego dla identyfikacji zagrożeń związanych z eutrofizacją wód

7.1. Charakterystyka danych wejściowych wykorzystanych w procesie modelowania wpływu wapnowania gleb na eutrofizację wód powierzchniowych

Proces analizy mającej na celu określenie wpływu wapnowania gleb na zmiany zagrożenia eutrofizacją z wykorzystaniem cyfrowych map glebowo-rolniczych oraz nowoczesnych źródeł danych przestrzennych został zaprezentowany na przykładzie jednej z małopolskich gmin. Wieś i zarazem gmina Polanka Wielka, co jest jednym z ewenementów w skali Polski, leży w powiecie oświęcimskim (województwo małopolskie). Na podstawie przeprowadzonych analiz można wskazać na następujące cechy charakterystyczne obszaru, istotne z merytorycznego punktu widzenia:

- interesujący z punktu widzenia celu badań układ cieków i zbiorników wód powierzchniowych,
- układ pól uprawnych, które kwalifikują obszar wsi do realizacji scaleń gruntów z uwagi na niekorzystne parametry rozdrobnienia gruntów, w tym głównie bardzo wydłużone działki,
- zróżnicowane parametry szorstkości terenu przez różne formy jego użytkowania, w tym również występowanie obszarów zwartych pokrytych lasami,
- duża deniwelacja obszaru badań, pomiędzy 245 a 285 m n.p.m., co odpowiada różnicy wysokości 40 m, przy czym wartość ta pozwala zaobserwować istotny poziom erozji powierzchniowej na badanym obszarze oraz potencjalnie wysoki udział wymywania składników z gleb w skutek spływu powierzchniowego,
- intensywnie użytkowane grunty orne (przy czym na obszarze badań znajdują się również trwałe użytki zielone),

- intensywnie użytkowane grunty orne (dostępne są ponadto inne kluczowe dla realizacji celów badań dane przestrzenne).

Obiekt badań charakteryzuje się dużym zróżnicowaniem odczynu gleb (pH od 4,6 do 6,0). Gleby, zwłaszcza na terenach narażonych na oddziaływanie emisji komunikacyjnych i komunalnych charakteryzują się zawartością WWA (wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne). Istotnym zjawiskiem jest również mokra depozycja zanieczyszczeń. Naturalny proces polegający na traceniu przez glebę wapnia w trakcie pobierania go przez rośliny, powodujący zakwaszenie gleb, nasila się wraz ze wzrostem poziomu nawożenia mineralnego. Do zakwaszenia gleb przyczyniają się też tzw. kwaśne deszcze, towarzyszące występowaniu tlenków siarki i azotu w powietrzu. Ze względu na wyżej wymienione uwarunkowania gleby wymagają zasilenia wapnem palonym mielonym (przy odczynie 6,1–7,2 wapnowanie węglanem wapnia) [Bochenek 2014] (mapa 10).



Mapa 10. Obiekt badań na tle ortofotomapy

Źródło: Nicia i inni 2022.

Gmina Polanka Wielka narażona jest podobnie, jak inne obszary rolnicze na różnorodne źródła zanieczyszczeń związanych z prowadzeniem gospodarki rolnej, do których zaliczyć można:

- obszary intensywnego stosowania nawozów i środków ochrony roślin,
- miejsca niewłaściwego magazynowania nawozów mineralnych,
- miejsca usuwania przeterminowanych pestycydów,
- miejsca wykonywania kiszzonek paszowych,
- tereny rolniczego wykorzystywania gnojowicy,
- obejścia gospodarskie.

Wśród substancji stosowanych w rolnictwie największy problem stanowią pestycydy. Należy również podkreślić, iż scharakteryzowane w podrozdziale dalszej części niniejszej monografii cieki stanowią odbiornik wód drenarskich z intensywnie użytkowanych gruntów rolnych, co wiąże się z zanieczyszczeniem wód substancjami nawozowymi. Z tego względu należy się również liczyć z okresowymi zagrożeniami wynikającymi z pozostałości środków ochrony roślin⁸. Obiekt położony jest w zlewni Wisły, a jego teren odwadniają drobne cieki wodne, biorące początek na jego terenie lub w gminach sąsiednich. Naturalny charakter zachowało częściowo koryto strumienia Tyran, odwadniającego centralną część analizowanego obszaru. Pozostałe cieki zostały zamienione w rowy melioracyjne. Według Bochenka [2014] główne rowy melioracyjne to:

- ciek Podymacz z dopływami Farawiec i Szatanek, odwadniający południowo-wschodnią część gminy,
- rów Wilczak z dopływami Olszewik i Wawrzyniec, odwadniający środkową i częściowo północną część gminy,
- rów Majcherowiec, odwadniający zachodnią część gminy.

Wyżej wymienione cieki posiadają niewielkie zlewnie zasilane głównie z terenów rolnych, a także częściowo osadniczych (o zalesieniu rzędu 10,0%) i niosą małe ilości wody. W latach suchych przepływ w mniejszych rowach praktycznie zanika. Właściwy terytorialnie Nadzór Wodny administruje ciek Tyran, a pozostałymi ciekami administrują spółki wodne. Cieki powierzchniowe zasilają nieliczne i niewielkie stawy rybne. Znajduje się tu 15 stawów rybnych, w większości należących do Rolniczej Spółdzielni Produkcyjnej Polanka Wielka. Dodatkowo sześć stawów prywatnych znajduje się w dolinie potoku Wawrzyniec. Na terenie Polanki Wielkiej brak

⁸ Są one substancjami chwastobójczymi (herbicydy), grzybobójczymi (fungicydy) i owadobójczymi (insektycydy). Mogą być także skierowane przeciwko gryzoniom (rodentycydy), mięczakom (moluskicydy) i innym szkodnikom roślin uprawnych. Ogólnie pestycydy można podzielić na nieorganiczne i organiczne, a te ostatnie – na naturalne i syntetyczne.

jest zbiorników wodnych służących celom rekreacyjnym. Jako, że jedynym źródłem zasilania stawów w wodę są rowy melioracyjne, prowadzące niewielkie ilości wody niskiej jakości, właściciele stawów borykają się z jej niedoborem. W okresach niżówkowych deficyt wody zaostrza się wskutek czego pojawia się w takiej sytuacji deficyt tlenowy, powodujący szkody w hodowli ryb [Bochenek 2014] (mapa 11).

Stan jakości wód na obiekcie Polanka Wielka określono na podstawie stanu jednolitych części wód powierzchniowych (JCWP), który stanowi podstawową jednostkę gospodarowania wodami. Stan jednolitych części wód rzek i jezior ocenia się jako dobry lub zły, analizując wyniki klasyfikacji ich stanu lub potencjału ekologicznego. Stan ekologiczny określa się dla naturalnych JCWP, natomiast potencjał ekologiczny dla wód sztucznie i silnie zmienionych w wyniku działalności człowieka. Ocenie podlega także stan chemiczny wód. Do oceny wód śródlądowych brane są przede wszystkim elementy: biologiczne (obfitość, liczebność, skład gatunkowy), hydromorfologiczne (reżim hydrologiczny, ciągłość cieków), chemiczne (substancje priorytetowe: metale ciężkie, WWA, pestycydy chloroorganiczne) oraz fizykochemiczne (warunki natlenienia, warunki termiczne, zasolenie, zakwaszenie, substancje biogenne, specyficzne zanieczyszczenia syntetyczne i niesyntetyczne).



Mapa 11. Główne ciekі przepływające przez obiekt Polanka Wielka oraz zbiorniki wodne

Źródło: www.wody.isok.gov.pl 2023.

Ocenę stanu jednolitych części wód powierzchniowych określono na podstawie danych pozyskanych z Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska (WIOŚ). Na obszarze gminy Polanka Wielka występują dwa cieki (rowy melioracyjne), dla których określono stan wód, jako zły, a potencjał ekologiczny jako umiarkowany. Podstawą określenia była klasyfikacja stanu i potencjału ekologicznego oraz stanu chemicznego jednolitych części wód powierzchniowych. Wśród elementów, które w największym stopniu decydowały o stanie wód i potencjale ekologicznym poniżej dobrego, należy w przypadku JCWP rzecznych wyróżnić elementy fizykochemiczne i biologiczne – zasolenie (37,7% przypadków) oraz substancje biogenne (35,6% przypadków). Klasyfikacja JCWP osiągnęła stan chemiczny poniżej dobrego. Zatem można stwierdzić, iż wody odpływające z obiektu Polanka Wielka należą do mocno zanieczyszczonych związkami, które wpływają na eutrofizację wód.

Jednym z niezbędnych etapów przy modelowaniu zjawisk przestrzennych jest decyzja o wyborze odpowiednich zbiorów danych. Wybór ten powinien być podyktowany uzyskaniem zbiorów informacji o odpowiedniej jakości, dokładności i aktualności. Istotne jest również, aby zaplanowane do wykorzystania źródła gwarantowały kompletność danych oraz ich dostępność w założonym okresie czasu. W przypadku projektowanego modelu wpływu wapnowania gleb na poziom zagrożenia eutrofizacją wód powierzchniowych niezbędne było zgromadzenie informacji z następujących zakresów tematycznych:

- rozmieszczenia powierzchniowej sieci wodnej na badanym obszarze,
- ukształtowania terenu,
- rodzajów gleb,
- zróżnicowania sposobu pokrycia (użytkowania) terenu,
- podziału własnościowego na działki (danych katastralnych),
- zbiorów informacji przedstawiających zmienność kluczowych dla zaplanowanej analizy czynników meteorologicznych.

Wyżej określony zakres tematyczny badań dotyczył: zmienności temperatury oraz opadów dla wybranego okresu czasowego. Przy konstrukcji modelu zdecydowano się wykorzystać jedynie ogólnodostępne, publiczne zbiory danych przestrzennych oraz informacje o przebiegu zjawisk meteorologicznych. Podejście takie pozwala na łatwe powtórzenie zrealizowanych badań dla dowolnego obszaru Polski z wykorzystaniem zaprezentowanej metodyki. Informacje o ukształtowaniu terenu zostały uzyskane w wyniku przetworzenia zbiorów skaningu laserowego (LiDAR) dla obszaru opracowania [Bożek i Janus 2017]. Zbiory te są jednym z rezulta-

tów projektu Informatycznego Systemu Osłony Kraju (ISOK), realizowanego od 2010 r. przez konsorcjum instytucji rządowych i naukowych, mającego na celu utworzenie systemu poprawiającego osłonę gospodarki, środowiska i społeczeństwa przed nadzwyczajnymi zagrożeniami, w szczególności przed powodzią. Chmury punktów utworzone w ramach wspomnianego projektu od 2022 r. są udostępniane w ramach systemu udostępniania danych geoprzestrzennych o nazwie Geoportal [www.geoportal.gov.pl 2023]. Dostępne do pobrania są również produkty pochodne tych zbiorów danych (w tym numeryczny model terenu – NMT). Jednak model ukształtowania terenu o parametrach dostosowanych do potrzeb danego projektu może być z powodzeniem wykonany w oparciu o wyjściowe dane skaningu laserowego. Kolejnym źródłem danych, o którym należy wspomnieć, jest wysokorozdzielcza ortofotomapa analizowanego obszaru, która została wykorzystana w postaci usługi WMS w środowisku programu QGIS.

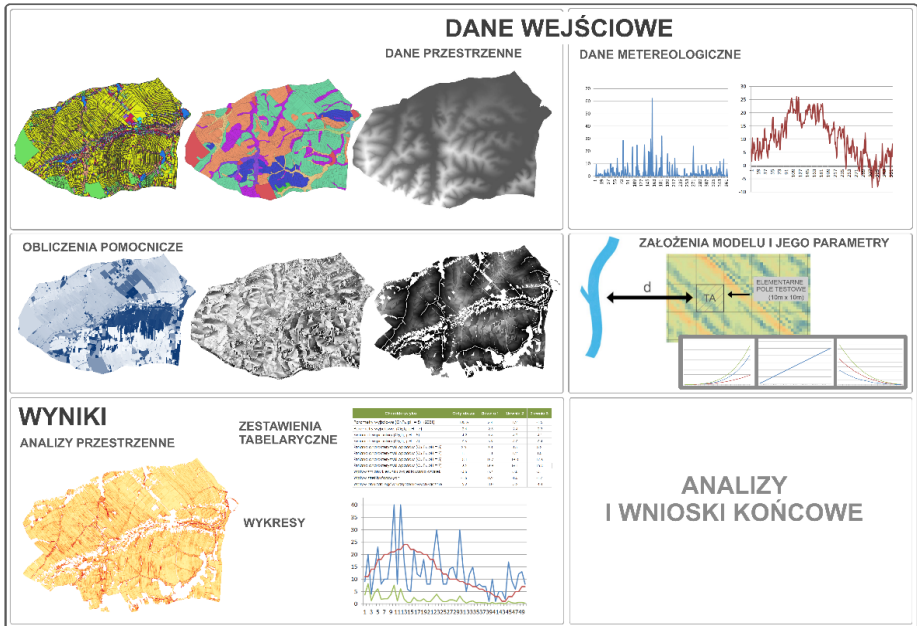
Informacje o użytkowaniu terenu (rodzajach użytków gruntowych) zostały pozyskane z Powiatowego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej jako część bazy danych ewidencji gruntów i budynków (EGiB). Umożliwiły one dokonanie podziału opracowanego obszaru ze względu na sposób użytkowania, co pozwoliło na realizację trzech celów. Pierwszym z nich była identyfikacja sieci wód powierzchniowych na badanym obszarze. Drugim z celów była identyfikacja, a następnie wyłączenie z analizy tych terenów, które nie są użytkowane rolniczo (dotyczyło to głównie obszarów zabudowanych, komunikacyjnych oraz innych, które nie miały charakteru użytków rolnych). Ostatnim z celów było dokonanie podziału obszaru użytkowanego rolniczo ze względu na typ użytku gruntowego (grunty orne oraz trwałe użytki zielone w postaci łąk i pastwisk). Informacje o podziale własnościowym (podział opracowywanego obszaru na działki ewidencyjne), podobnie jak dane na temat użytkowania gruntów zostały pozyskane z Powiatowego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w formacie GML (Geography Markup Language), który jest obowiązującym w Polsce formatem wymiany danych z zakresu EGiB. Pliki GML zostały następnie przetworzone w środowisku programu QGIS do postaci warstwy wektorowej, przechowywanej następnie w formacie shapefile (*.shp).

Wykorzystana wektorowa, cyfrowa mapa glebowo-rolnicza (pozyskana również w postaci zbioru danych w formacie shapefile) odpowiada zawartości baz danych przestrzennych o zróżnicowaniu jakości gleb województwa małopolskiego. Natomiast informacje meteorologiczne, obejmujące

lata 2017, 2019 i 2021 (opady atmosferyczne) oraz lata 2019 i 2021 (przeciętne temperatury dobowe) zostały pozyskane na podstawie danych publikowanych i udostępnionych do pobrania przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMiGW) z siedzibą w Warszawie [<https://danepubliczne.imgw.pl> 2023], przy czym zbiory te udostępniane są w postaci plików tekstowych (format CSV). Wybrano wskazania z najbliższego punktu pomiarowego w stosunku do badanego obszaru, którym okazała się stacja pomiarowa Pszczyna – powiat pszczyński. Należy podkreślić, że wszystkie pozyskane informacje przestrzenne wykorzystane w procesie modelowania zmian zagrożenia eutrofizacją pochodzą z publicznych zbiorów danych, które stanowią zawartość baz danych ewidencji gruntów i budynków, są wynikiem dużych projektów finansowanych ze środków publicznych (dane LiDAR, cyfrowa mapa glebowo-rolnicza) lub stanowią zbiory danych o charakterze pomiarowym udostępnione przez wyspecjalizowane instytucje badawcze (dane meteorologiczne). Z tego powodu odstąpiono od procesu dodatkowej weryfikacji pozyskanych danych w zakresie ich poprawności merytorycznej.

7.2. Założenia metodyczne analizy wpływu wapnowania gleb na zamianę zagrożenia eutrofizacją wód powierzchniowych

Celem zaprezentowanego procesu obliczeniowego była próba odpowiedzi na pytanie o potencjalny zakres, w tym siłę i kierunek wpływu procesu wapnowania gleb na zmiany zagrożenia eutrofizacją wód powierzchniowych występujących na obszarach rolnych gminy Polanka Wielka. Wpływ poziomu wapnowania został ujęty w postaci potencjalnych zmian przeciętnego odczynu gleb, będących skutkiem ich wapnowania. Zaproponowany model miał także na celu dokonanie oceny przydatności wybranych zabiegów urządzeniowo-rolnych dla ograniczenia analizowanego zjawiska eutrofizacji [Nicia i inni 2022] (rysunek 19).



Rysunek 19. Schemat zaproponowanego procesu obliczeniowego

Źródło: Nicia i inni 2022.

Niemal wszystkie badania nad procesami utraty i przemieszczania się składników pokarmowych w profilu glebowym wskazują jednoznacznie na dużą złożoność tego rodzaju zjawiska. W przypadku fosforu do głównych czynników warunkujących intensywność utraty fosforu z gleby należy zaliczyć: natężenie opadów (będące również przyczyną erozji i wypłukiwania powierzchniowego), rodzaj i odczyn gleby, obecność substancji organicznych, związków wapnia, związków żelaza, glinu, jak również obecność i aktywność określonej grupy mikroorganizmów glebowych. Natomiast w przypadku związków azotu dochodzą również dodatkowo zjawiska denitryfikacji, immobilizacji azotu, nieodpowiednie stosowanie nawozów azotowych czy wpływ temperatury. Wpływ tego ostatniego czynnika na utratę zarówno azotu, jak i fosforu z gleby jest związany nie tylko z procesami chemicznymi, biologicznymi i hydrologicznymi zachodzącymi w glebie, ale również ze zmianami aktywności pokrywy roślinnej, które są uzależnione od temperatury, fazy rozwoju roślin, odczynu lub wilgotności gleb. W szczególności wpływ temperatury na utratę azotu z gleby jest złożony.

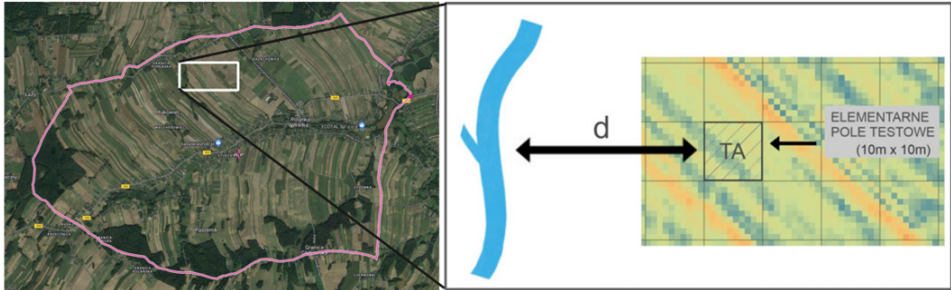
Wysoka temperatura może zwiększać szybkość procesów mikrobiologicznych, co prowadzi do przyspieszenia mineralizacji azotu organicznego

do formy amonowej lub azotanowej. Z drugiej strony, wysoka temperatura może także zwiększać utratę azotu z gleby za pośrednictwem denitryfikacji, czyli procesu, w którym bakterie przekształcają azotany w gazowy azot. Do wspomnianej złożoności zjawisk należy dodać trudności w oszacowaniu prędkości i dróg przemieszczania się utraconych związków do otaczających wód powierzchniowych z podziałem na spływ powierzchniowy oraz przemieszczanie się składników wymytych w głąb profilu glebowego. Wyniki badań stanowiących źródło danych na temat takich zależności mają charakter lokalny lub są przeprowadzane w warunkach laboratoryjnych. Pozwalają jednak na wykorzystanie pewnych ogólnych zależności, które mogą być następnie zaimplementowane do modelowania większych obszarów, które jak w przypadku niniejszego opracowania, bazują na ogólnodostępnych zbiorach danych przestrzennych o przestrzeni rolniczej lub czynnikach meteorologicznych.

Przyjęto, że proces obliczeniowy zostanie przeprowadzony z wykorzystaniem rastrowego modelu GRID o rozmiarze do 10 m x 10 m. Dane wejściowe w formatach wektorowych oraz rastrowych zostały przekonwertowane do postaci modelu GRID. W przypadku testowej wsi o powierzchni 24 km² oznaczało to około 240 000 pól obliczeniowych (rysunek 20). Wszystkie zbiory danych użyte w procesie obliczeniowym zostały przetworzone w środowisku programu QGIS oraz z wykorzystaniem procedur zaprojektowanych w środowisku Visual Studio z wykorzystaniem języka C#. Powodowało to konieczność zapisu wszystkich wykorzystanych zbiorów w postaci plików tekstowych reprezentujących odpowiednią, przyjętą rozdzielczość przestrzenną.

Celem podjętych działań było opracowanie modelu umożliwiającego ocenę zagrożenia eutrofizacją, a który jednocześnie byłby dostosowany do dostępności danych w warunkach Polski bez potrzeby realizacji wieloletnich badań środowiskowych. Projektując proces modelowania, po analizie istniejących metod i narzędzi, takich jak *Soil and Water Assessment Tool* [Abbaspour i inni 2017], który jest zaawansowanym modelem symulującym procesy fizyczne związane z przemieszczaniem się wody w glebie, świadomie zdecydowano się na ocenę z wykorzystaniem procesu obliczeniowego, który jest potencjalnie lepiej dostosowany do wykorzystania go w przyszłości dla szybkich ocen wykonywanych również przez osoby nie mające dostępu do zaawansowanych komercyjnych narzędzi typu GIS. Jest on również dostosowany do specyfiki i dostępności danych przestrzennych na obszarze Polski. Wybranie takiej drogi pozwoliło jednocześnie na dostosowanie modelu do odpowiedzi na pytanie o możliwość wpływania na

zmienność zagrożenia zjawiskami eutrofizacji, a jednocześnie na możliwość rozpatrywania efektu potencjalnych zabiegów o charakterze urządzeniowo-rolnym (strefy buforowe, zmiana kierunku uprawy ziemi). Również z powyżej podanych powodów odstąpiono od operowania konkretnymi wartościami związków azotu i fosforu w ujęciu wagowym, przedstawiając wyniki działania modelu w ujęciu procentowym oraz przedstawiając zmiany utraty wspomnianych związków również w taki sam sposób.

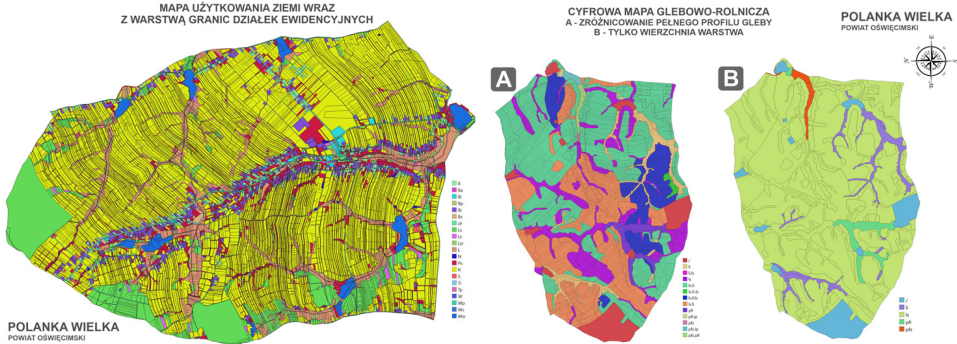


Rysunek 20. Przyjęta koncepcja analizy poprzez ocenę wpływu pól testowych o rozmiarze 10x10 m wraz z fragmentem analizowanego obszaru z widocznym podziałem na siatkę GRID

Źródło: Nicia i inni 2022.

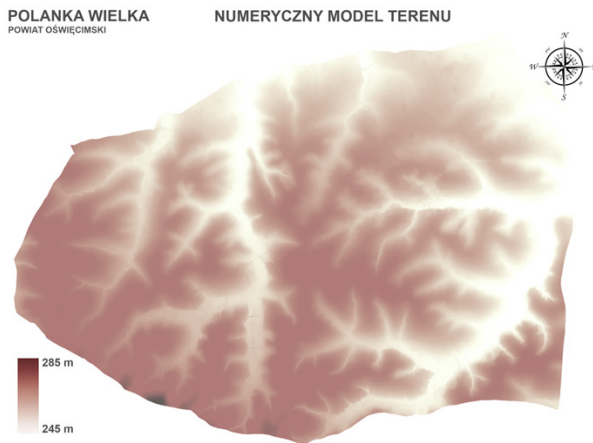
Proces obliczeniowy zaproponowany w niniejszym badaniu i zrealizowany na przykładzie wsi Polanka Wielka może być przedstawiony w kilku kolejnych krokach, które zostaną poniżej krótko scharakteryzowane. Etap wstępnego przetwarzania danych miał na celu kontrolę kompletności pozyskanych danych, a następnie ich transformację do jednolitego układu współrzędnych 1992 (EPSG 2180). Pozyskane warstwy tematyczne zostały wprowadzane do środowiska utworzonego w tym celu projektu z wykorzystaniem oprogramowania QGIS. Poniższe rysunki przedstawiają wizualizację zawartości tych warstw, które można uznać za warstwy wejściowe w zaproponowanym procesie obliczeniowym (rysunek 21 i 22).

7. Wykorzystanie cyfrowych map glebowo-rolniczych oraz danych lotniczego skaningu laserowego



Rysunek 21. Układ granic własności na badanym obszarze wraz z mapą użytkowania terenu oraz zawartość jednej z warstw cyfrowej mapy glebowo-rolniczej

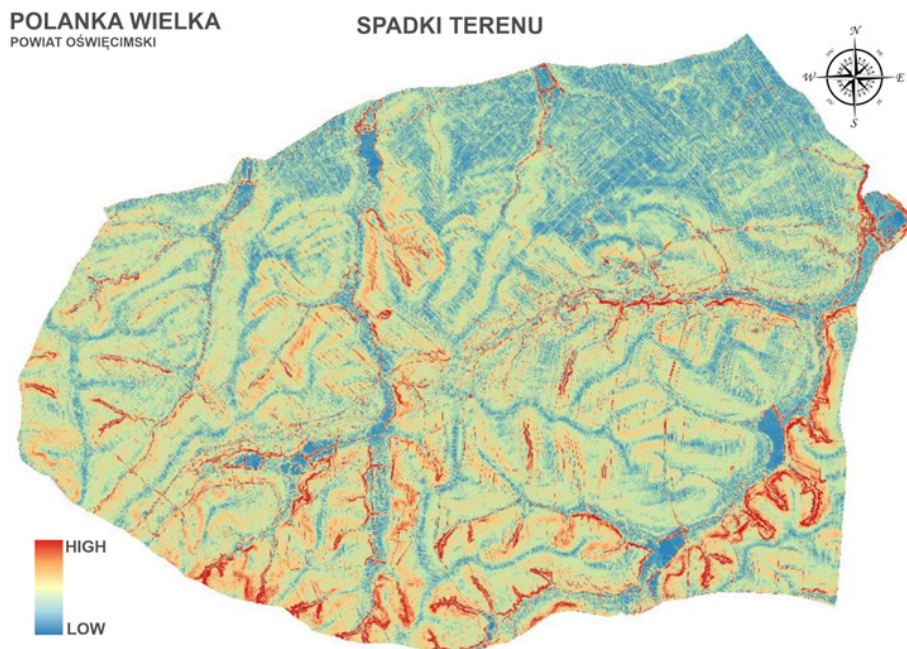
Źródło: Nicia i inni 2022.



Rysunek 22. Zawartość numerycznego modelu terenu

Źródło: Nicia i inni 2022.

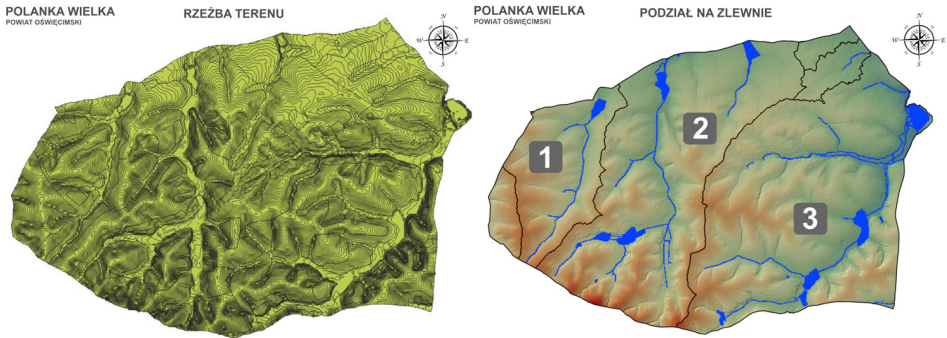
Pierwszym etapem procesu obliczeniowego było opracowanie mapy spadków na analizowanym obszarze (rysunek 23). Dane z tej warstwy tematycznej zostały następnie przetworzone do formatu tekstowego z wykorzystaniem formatu zapisu danych ASC (standardowy format tekstowy danych firmy ESRI). Format ten był metodą wymiany danych pomiędzy platformą QGIS a wszystkimi procedurami zewnętrznymi utworzonymi z wykorzystaniem języka C#, zarówno w zakresie importu, jak i eksportu danych.



Rysunek 23. Mapa przedstawiająca natężenie parametru określającego nachylenie terenu na analizowanym obszarze

Źródło: Nicia i inni 2022.

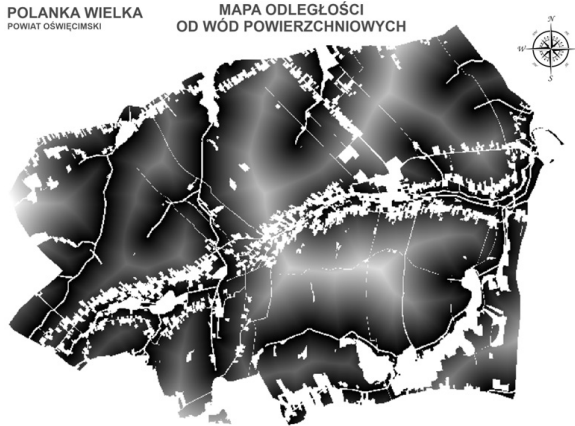
Kolejnym etapem procesu obliczeniowego, bezpośrednio związanym z wykorzystaniem numerycznego modelu terenu, był podział obszaru badań na zlewnie. Podział miał charakter orientacyjny, ponieważ przyjęte jako zakres opracowania granice administracyjne wsi Polanka Wielka (pomimo jej stosunkowo dużych rozmiarów), nie pozwoliły na wydzielenie typowych zlewni w znaczeniu hydrologicznym. Jednak przyjęty podział miał istotne znaczenie ilustracyjne, a jednocześnie pozwalał na przedstawienie zróżnicowania otrzymanych wyników z podziałem na mniejsze podobszary, które mogą się różnić od siebie z uwagi na ich odmienną charakterystykę w zakresie cech wpływających na natężenie eutrofizacji. Mapa warstwiczna terenu oraz wynikowa z podziałem na zlewnie została zaprezentowana na rysunku 24.



Rysunek 24. Mapa warstwiczna oraz mapa przedstawiająca podział obszaru badań na zlewnie na tle numerycznego modelu terenu

Źródło: Nicia i inni 2022.

Odległość od pól uprawnych do wód powierzchniowych ma istotny wpływ na przedostawanie się związków chemicznych związanych z nawożeniem do środowiska wodnego. Im większa odległość, tym mniejsze ryzyko przedostania się tych związków, które mogą być transportowane przez spływ powierzchniowy, erozję gleby oraz przez działanie wód gruntowych. Uwzględniając powyższe, uzyskanie wiarygodnej mapy odległości pomiędzy rozpatrywanymi elementami modelu badanego obszaru (w analizowanym przypadku są to elementy siatki grid) do elementów otaczającej sieci wodnej jest bardzo istotnym elementem procesu obliczeniowego. Obliczenia tego typu mogą być przeprowadzone na kilka sposobów, w sposób uproszczony jako odległość prostoliniowa lub w sposób uwzględniający szczegółowe kierunki spływu wody (na podstawie analizy numerycznego modelu terenu). Otrzymana, wyjściowa mapa odległości od najbliższych elementów sieci wód powierzchniowych została zaprezentowana na rysunku 25.



Rysunek 25. Mapa odległości pomiędzy elementami podziału powierzchniowego a siecią wód powierzchniowych

Źródło: Nicia i inni 2022.

Zaprezentowane odległości stanowią wystarczające dane dla potrzeb szacowania wpływu na zjawisko spływu podziemnego. Jednak odległość taka może stanowić jedynie punkt wyjścia do bardziej precyzyjnej oceny odległości dla potrzeb oszacowania wpływu spływu powierzchniowego. Szybkość i ostateczna wielkość spływu powierzchniowego zależą bowiem również od utrudnień lub ułatwień, jakie może napotkać na swojej drodze woda opadowa. Jednym z istotnych czynników jest kierunek uprawy ziemi, który dodatkowo może być przedmiotem zmian w związku z przeprowadzanymi zabiegami o charakterze urządzeniowo-rolnym. Zmiana kierunku orki (uprawy ziemi) może dać pozytywne efekty w wielu aspektach, do których należą:

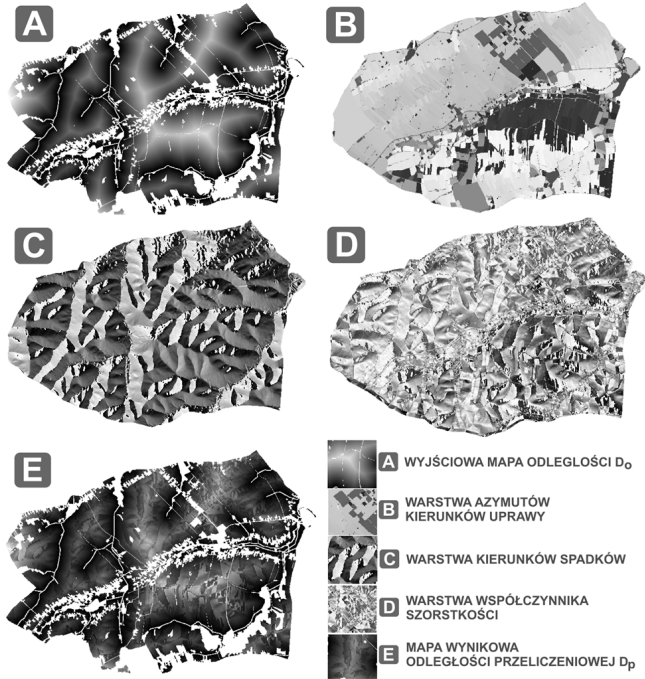
- ochrona przed erozją: orka w kierunku prostopadłym do kierunku spływu wody jest skuteczniejsza w ochronie przed erozją, ponieważ tworzy więcej przeszkód dla wody niż orka w kierunku równoległym do kierunku spływu,
- zwiększenie retencji wody: orka w kierunku prostopadłym do kierunku spływu wody tworzy więcej niewielkich rowów odwadniających, które pochłaniają wodę, co zwiększa retencję wody w glebie,
- ochrona przed wymywaniem składników pokarmowych: orka w kierunku prostopadłym do kierunku spływu wody zwiększa retencję składników pokarmowych w glebie, ponieważ składniki te są mniej skłonne do wymywania się z gleby w przypadku spływu wody,

- zwiększenie pojemności wodnej gleby: orka w kierunku prostopadłym do kierunku spływu wody pomaga zwiększyć pojemność wodną gleby poprzez zwiększenie liczby rowów odwadniających i zwiększenie powierzchni przeznaczanej na infiltrację wody.

W związku z tym zdecydowano, że wpływ kierunku uprawy zostanie uwzględniony w postaci współczynnika przeliczeniowego, który w rezultacie wprowadzi do modelu zmienną o nazwie odległość przeliczeniowa, wykorzystaną następnie do bardziej dokładnego szacowania wpływu na zjawisko spływu powierzchniowego. Aby obliczyć wartość współczynnika dla każdego z elementów siatki podziału powierzchniowego (elementy 10x10m), utworzona została w pierwszej kolejności mapa prawdopodobnych kierunków uprawy ziemi na podstawie analizy azymutów działek, określonych na podstawie azymutu najmniejszego prostokąta, w który można wpisać daną działkę. Metoda ta jest często wykorzystywana w pracach związanych z analizą struktury przestrzennej gruntów, a prawdopodobieństwo poprawnego określenia kierunku orki jest bardzo wysokie zwłaszcza w przypadku działek wydłużonych. Drugim wykorzystanym źródłem informacji była mapa kierunków wystawy (nachylenia) stoków (nachylenie to można utożsamiać z kierunkiem spływu wody) dla każdego z badanych elementów. Kąt pomiędzy tymi kierunkami (w praktyce zredukowany do wartości z przedziału od 0 do 90 stopni) stanowi argument funkcji zwracającej wartość docelowego parametru (mającego charakter współczynnika szorstkości) z zakresu od 1 do 1,5. Ostateczna wartość odległości przeliczeniowej D_p stanowi iloczyn odległości wyjściowej D_0 i współczynnika szorstkości W_s :

$$D_p = D_0 \times W_s$$

Rysunek 26 ilustruje proces obliczenia odległości przeliczeniowej oraz ostateczną zawartość tej warstwy. Przebieg zjawisk o charakterze meteorologicznym wydaje się kluczowy dla procesów, które mogą wpływać na zwiększenie prawdopodobieństwa wystąpienia eutrofizacji lub ograniczenie procesów z nią związanych. Dotyczy to przede wszystkim zmienności opadów w czasie, ich charakteru oraz okresów, w którym występują. Drugim czynnikiem, który w sposób oczywisty wpływa na badane zjawiska, jest zmienność temperatury w ciągu całego roku. Należy zaznaczyć, że wpływ tych samych opadów w tej samej jednostce czasu będzie miał inne znaczenie w zależności od rodzaju pokrycia terenu, ale również w zależności od pory roku czy temperatury powietrza.



Rysunek 26. Zasada uzyskania mapy odległości przeliczeniowych biorących udział przy obliczaniu parametrów związanych ze spływem powierzchniowym

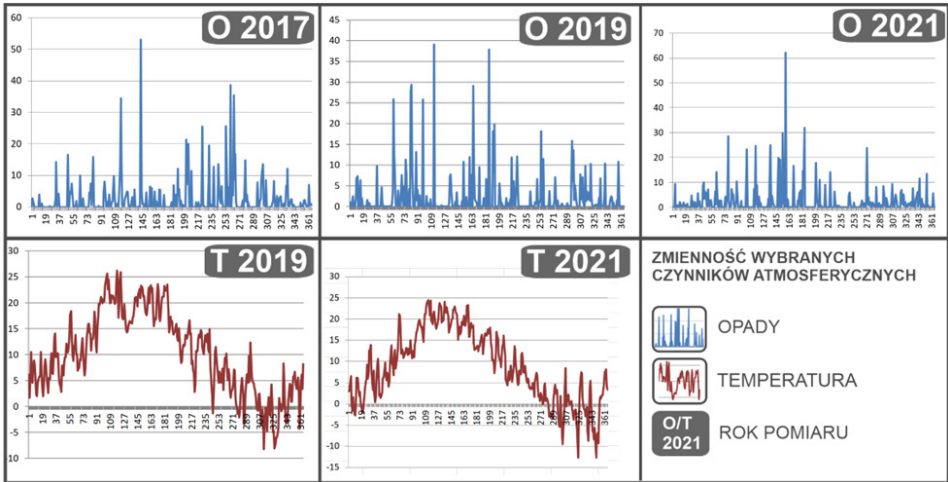
Źródło: Nicia i inni 2022.

Z punktu widzenia zagrożenia wymywaniem składników pokarmowych z gleby istotne znaczenie ma nie tylko poznanie całkowitej sumy opadów w ciągu roku, czy w poszczególnych miesiącach, ale również identyfikacja zjawisk o intensywnym lub ekstremalnym charakterze, ponieważ wpływają one na utratę składników mineralnych z profilu glebowego w sposób o wiele bardziej istotny niż opady o niskim lub umiarkowanym natężeniu. Przeprowadzone badanie ma z założenia charakter modelowy, więc w całym procesie obliczeniowym przyjęto szereg założeń, które z jednej strony pozwoliły na uproszczenie modelu, a z drugiej na rozpatrzenie kilku wariantów przebiegu zjawisk meteorologicznych. Przebieg zjawisk o charakterze meteorologicznym wydaje się kluczowy dla procesów, które mogą wpływać na zwiększenie prawdopodobieństwa lub ograniczenie procesów związanych z eutrofizacją. Dotyczy to przede wszystkim zmienności opadów w czasie, ich charakteru oraz okresów, w którym występują. Drugim czynnikiem, który w sposób oczywisty wpływa na badane zjawiska, jest zmienność temperatury w ciągu całego roku. Należy zaznaczyć, że wpływ

tych samych opadów w tej samej jednostce czasu będzie miał inne znaczenie w zależności od rodzaju pokrycia terenu, ale również w zależności od pory roku czy temperatury powietrza.

Wyjściowym źródłem danych o zmienności temperatury i opadów w ciągu roku były dostępne wyniki publikowane przez służby meteorologiczne. Wykorzystano dane z lat 2021, 2019 oraz 2017, ponieważ w momencie rozpoczęcia prac nie były dostępne jeszcze opracowane dane za 2022 r. W zakresie temperatur wykorzystano dwa zbiory danych, aby ocenić wpływ odmiennego przebiegu tego parametru. Jednak w porównaniu do temperatury, wielkości opadów podlegają o wiele większej zmienności w ciągu zarówno kolejnych lat, jak i w ciągu roku. Dotyczy to zarówno liczby obserwowanych opadów, ich czasu trwania, natężenia i łącznej ich sumy w poszczególnych interwałach czasu lub w ciągu całego roku. W przypadku opadów przyjęto 3 odmienne modele ich zmienności. Wykorzystana tygodniowa rozdzielczość czasowa danych nie pozwoliła wnioskować precyzyjnie o ich charakterystyce, stąd przyjęto założenie o jednym opadzie, o określonej wielkości w danym tygodniu (co stanowi pewne uproszczenie). Dane obrazujące przyjęte zmienności temperatur i opadów zostały zaprezentowane na rysunku 27.

W modelu przyjęto wielkości dawek nawozowych na 1 ha UR w wysokości 120 kg N w przypadku azotu oraz 50 kg P_2O_5 w przypadku fosforu. Przyjęto również założenie jednorazowego wprowadzenia nawozów na pola uprawne, jednak proces obliczeniowy może być łatwo zmodyfikowany i rozpatrywać również ich podawanie w dawkach podzielonych na kilka terminów. Przyjęty sposób modelowania zakładał, że pierwszy tydzień analizy następuje po wysiewie nawozów. W przypadku nawozów azotowych przyjęto nawożenie w pierwszym tygodniu marca. W przypadku nawozów fosforowych przyjęto identyczny termin podania nawozów, pomimo tego że z punktu widzenia potrzeb roślin bardziej zalecanym terminem jest termin jesienny (jednak terminy wiosenne również są stosowane). Z powyższego powodu wykresy zmienności badanych zjawisk nie rozpoczynały się od 1 stycznia (czy raczej od pierwszego tygodnia roku), tylko zostały odpowiednio przesunięte w czasie. Uzyskane w procesie obliczeniowym wartości prawdopodobnego przedostawania się składników do wód powierzchniowych wyrażono w procentach wartości wyjściowych i mogły być docelowo przeliczone na wartości wyrażone w jednostkach masy odpowiednich związków azotu i fosforu.



Rysunek 27. Przyjęte w modelu zmienności temperatur (lata: 2019 i 2021) oraz opadów atmosferycznych (lata: 2017, 2019, 2021)

Źródło: Nicia i inni 2022.

Istniejące wyniki badań obrazują wpływ wapnowania na zmianę odczynu gleby w sposób niejednoznaczny, ponieważ na ostateczny rezultat wapnowania, zwłaszcza w dłuższym okresie wpływa bardzo wiele czynników takich jak między innymi zmienność opadów atmosferycznych, parametry gleby czy sposób jej uprawy [Ameyu 2019, Motowicka-Terelak 1985, Fotyma i Zięba 1998, Li i inni 2019, Mahmud i Chong 2022, Nasedjanow 2012]. Badania te pokazują również, że nie ma możliwości precyzyjnej oceny, jaka dawka nawozów wapniowych spowoduje uregulowanie odczynu gleby o wskazaną wartość i w jakim czasie. Zmiany te, jak wszystkie inne w środowisku glebowym, zależą od wielu czynników, np.: składu chemicznego i granulometrycznego gleby, zmienności opadów i temperatury, aktywności pokrywy roślinnej.

Odmienne są również dawki nawozów wapniowych, które mają na celu istotne podniesienie odczynu, a inne które mają za cel jedynie utrzymanie istniejących, korzystnych parametrów gleby. Kierując się, podobnie jak w innych aspektach przeprowadzonego modelowania, uproszczeniem parametrów w celu skupienia się na celu analizy, zdecydowano się rozpatrzyć dwa poziomy wapnowania: duży, zalecany w literaturze na poziomie nawet do 6 ton CaO/ha (gleby ciężkie, duże potrzeby w zakresie wapnowania), który powoduje utrzymanie odczynu gleby na korzystnym dla uprawy większości roślin poziomie pH=7. Drugi wariant zakłada brak wapnowania

lub jego niski poziom, tj. do kilkuset kg/na ha na rok. W takim przypadku założono przeciętny poziom odczynu gleby na poziomie pH=5. Analiza uzyskanych wyników w zakresie przemieszczania się niekorzystnych związków zawartych w nawozach do wód powierzchniowych została zatem przeprowadzona przy założeniu tych dwóch wartości pH gleby.

Zakres wykorzystania przez rośliny nawozów azotowych i fosforowych różni się w zależności od rodzaju uprawy, warunków glebowych i klimatycznych oraz stosowanej technologii uprawy [Batten 1992, Mengel 1997]. Według różnych źródeł stopień wykorzystania nawozów azotowych może wynosić od 33,0% do 55,0% [Rutkowska 2014], natomiast w przypadku fosforu jest niższy i może sięgać niecałych 40,0% [Tujaka i Gosek 2009]. Również szybkość uwalniania składników pokarmowych w glebie jest zależna od wielu czynników, w tym szczególnie od pH gleby. W glebach o obniżonym pH (kwaśnych) procesy mineralizacji są ograniczone, co prowadzi do ograniczonego uwalniania składników pokarmowych z humusu. Natomiast w glebach o podwyższonym pH (zasadowych) procesy mineralizacji są przyspieszone, co prowadzi do zwiększonego uwalniania składników pokarmowych. Trudno określić zatem dokładną liczbową charakterystykę zmienności tych procesów, ponieważ szybkość uwalniania składników pokarmowych zależy od wielu czynników, takich jak: rodzaj gleby, jej skład chemiczny, obecność mikroorganizmów itp. Badania przeprowadzone przez Sadowskiego (1987) wykazały jednak, że zwiększenie wartości pH gleby o 1 (np. z 5 do 6) może prowadzić do zwiększenia szybkości mineralizacji azotu o kilkadziesiąt procent. Bardzo rozbieżne szacunki na ten temat uzyskiwane w wielu badaniach naukowych pozwalają więc na przyjęcie uproszczonych wartości parametrów w tym zakresie.

Analiza dostępnej literatury wskazuje jednoznacznie, że w przypadku stałości innych czynników środowiskowych, to charakterystyka opadów w największym stopniu wpływa na większość zjawisk związanych z przemieszczaniem się składników pokarmowych zarówno w głąb profilu glebowego, jak i w wyniku spływu powierzchniowego [Kopeć 2007, Krasowska 2016]. Jednym z kluczowych etapów obliczeń było zatem określenie szacunkowej relacji pomiędzy opadami pochłoniętymi przez roślinność oraz powierzchnią warstwę gleby (bez uruchamiania procesów wymywania składników pokarmowych) a pozostałą częścią opadów. Opady te w zależności od przyjętych parametrów (między innymi wpływ typu gleby, odczynu oraz nachylenia) rozdzielane są na opady wywołujące spływ powierzchniowy oraz związane z wymywaniem składników w głąb profilu glebowego (którego część dociera również do otaczającej sieci wód powierzchni-

wych). Proporcje pomiędzy wodą wchłoniętą przez glebę a spływem powierzchniowym zależą od kilku czynników, w tym:

- typu gleby: różne typy gleby mają różne pojemności wodne, co wpływa na ilość wody, którą jest w stanie przyjąć gleba przed spływem powierzchniowym,
- wilgotności gleby: im bardziej wilgotna jest gleba, tym mniej wody jest w stanie przyjąć, co prowadzi do większego spływu powierzchniowego,
- topografii: spływ powierzchniowy jest większy na stromych terenach niż na płaskich, ponieważ woda jest bardziej skłonna do płynięcia po powierzchni niż do wchłaniania się w glebę, a zjawisko to dotyczy w szczególności gleb ciężkich,
- wegetacji: roślinność ma zdolność do zwiększania retencji wody w glebie poprzez zwiększenie pojemności wodnej gleby i zwiększenie spływu infiltracyjnego,
- warunków atmosferycznych: intensywne deszcze i nagłe burze powodują większy spływ powierzchniowy, ponieważ gleba jest w stanie przyjąć tylko niewielką część wody opadowej.

Przyjmuje się że od 20,0 do 50,0% opadu jest pochłaniane przez glebę i roślinność, a pozostała część jest odprowadzana powierzchniowo. Jednak, proporcje te mogą się znacznie różnić w zależności od wielu warunków lokalnych oraz zmienności opadów. W celu określenia niezbędnych wartości parametrów związanych z natężeniem opadów, zaproponowano w pierwszej kolejności określenie tej części opadów, która nie bierze udziału w jakimkolwiek procesie zauważalnej utraty składników pokarmowych, czyli opadów bezpośrednio zaabsorbowanych przez roślinność i najbardziej wierzchnią warstwę gleby (O_z). Dzieje się tak w przypadku istniejącej pokrywy roślinnej na odpowiednim etapie jej wegetacji, co można w przybliżeniu utożsamiać z przebiegiem temperatury w ciągu sezonu wegetacyjnego. Jest to pewne uproszczenie, jednak przebieg zmienności temperatury jest jednym z parametrów modelu i można z niego w tym przypadku skorzystać. Również proces utraty wody bezpośrednio po opadzie z powierzchni roślin lub z wierzchnich warstw gleby jest silnie uzależniony od temperatury powietrza i gleby.

$$O_z = f(\text{Temp}[n], \text{UZ.GR}[a, b])$$

$\text{Temp}[n]$ to przeciętna temperatura w jednostce czasu 'n' (w analizowanym przypadku z przedziału od 1 do 52 oznaczającego poszczególne tygodnie), natomiast parametr $\text{UZ.GR}[a, b]$ określa sposób użytkowania gruntu w ko-

mórcze siatki o współrzędnych przestrzennych 'a' i 'b'. Współczynnik O_z przyjmuje zakres wartości z przedziału od 0 do 1, przy czym wartość współczynnika wzrasta wraz z temperaturą i zależy od pokrycia terenu. Wartość powyższego współczynnika jest wykorzystana do ostatecznego podziału pozostałej części opadu na składowe związane z późniejszą analizą opadu związanego ze spływem w głąb profilu glebowego (S_{WG}) oraz opadu związanego ze spływem powierzchniowym (S_{PW}):

$$S_{WG(a,b)} = f(\text{Rain}[n](1-O_z), \text{SP.GR}[a, b], \text{pH}) \quad S_{PW} = \text{Rain}[n] - S_{WG}$$

Parametr $\text{Rain}[n]$ określa natężenie opadu w okresie 'n', parametr $\text{SP.GR}[a, b]$ identyfikuje spadek terenu w danej rozpatrywanej komórce [a,b], a parametr pH określa rozpatrywany odczyn gleby, który również wpływa na intensywność wchłaniania wody po opadzie. Natomiast do sposobu zachowania się rozpatrywanych składników w glebie (szybkość ich utraty i przemieszczania się) przyjęto jako pomocnicze trzy zależności liniowe, szacujące wpływ temperatury P_T , odczynu P_O oraz rodzaju gleby W_{GL} :

$$P_{T(a,b)} = f(\text{Temp}[n]), P_{O(a,b)} = f(\text{pH}), W_{GL(a,b)} = f(\text{GL.GR}[a, b])$$

Ostatnia zależność (W_{GL}) nie ma charakteru ciągłego i przyporządkowuje określone wartości współczynnika dla każdego rodzaju gleby. Ostatecznie, wpływ spływu powierzchniowego (dla elementu siatki [a,b]) na proces przedostawania się niepożądanych składników do otaczających wód za pośrednictwem spływu powierzchniowego został określony parametrem U_{pw} :

$$U_{pw(a,b)} = f(S_{PW}, W_{GL}, D_p, \text{UZ.GR}[a, b])$$

U_{pw} uwzględnia określony udział części opadów związanych ze spływem powierzchniowym S_{PW} , odległość przeliczeniową D_p oraz użytkowanie terenu $\text{UZ.GR}[a, b]$. Natomiast analogiczny wpływ spływu o charakterze podziemnym został określony parametrem U_{pz} :

$$U_{pz(a,b)} = f(S_{WG}, D_0, W_{GL}, P_T, P_O);$$

U_{pz} uwzględnia części opadów związanych ze spływem w głąb profilu glebowego S_{WG} , odległość D_0 oraz parametry związane z odczynem, temperaturą oraz rodzajem gleby (W_{GL}, P_T, P_O). W rezultacie, całkowita utrata związków (odpowiednio azotu lub fosforu), które przedostają się do wód powierzch-

niowych (w ujęciu procentowym), w kolejnym rozpatrywanym okresie 'T=n' wynosi:

$$U_{c(a,b)(n)} = U_{pw(a,b)(n)} + U_{pz(a,b)(n)}$$

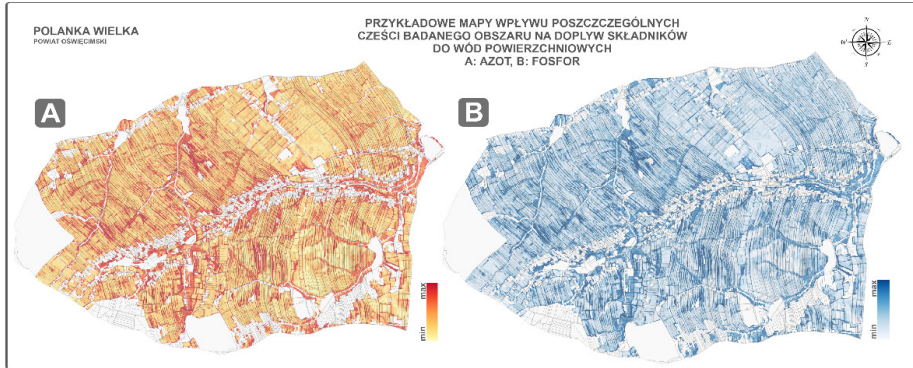
przy takim ujęciu, całkowita utrata związków w przeciągu całego roku wyniesie:

$$U_{rok}[\%] = U_1 \sum_{n=2}^n (U_n U_{n-1}), \text{ gdzie } U_1 = 100\%$$

Badanie przeprowadzono w ujęciu tygodniowym (n=52), chociaż można rozpatrywać dowolne interwały czasowe, w tym jednodniowe (wtedy n=365). Uzyskane wartości mogą być następnie, po ich obliczeniu (dla każdej komórki, jej grup, całych zlewni lub całego obiektu) porównywane przy założeniu zmian zarówno poziomu wapnowania (skutkującego określonym zmianom odczynu gleby), jak również przy założeniu zmian przebiegu opadów, temperatury oraz z uwzględnieniem opcjonalnych zabiegów urządzeniowo-rolnych. Wśród zabiegów urządzeniowo-rolnych zaproponowano do rozważenia wprowadzenie stref buforowych o szerokości 10 metrów wzdłuż istniejących cieków i zbiorników wodnych, jak również zmianę kierunku projektowania działek na obszarze które były pod tym względem najbardziej niekorzystne.

7.3. Prezentacja wyników procesu modelowania i wynikające z niego wnioski końcowe

Przeprowadzony proces obliczeniowy pozwolił na uzyskanie przestrzennych map obrazujących intensywność utraty związków chemicznych, przy czym jako rezultat uznano jedynie tę część utraconych związków azotu i fosforu, która według założonych parametrów dostała się w rezultacie do otaczających wód powierzchniowych z rozpatrywanego pola obliczeniowego. Przykładowa mapa (dla wyjściowych parametrów oraz obrazująca przedstawianie się związków azotu) została zaprezentowana na rysunku 28. Zmienność uzyskanych wartości w zależności od przyjętych zmian parametrów wyjściowych (opady, odczyn gleby) jest mało widoczna na zobrazowaniach mapowych nawet w skali pojedynczych zlewni, stąd zmiany te mogły być przedstawione i jednocześnie widoczne tylko w skali lokalnej.



Rysunek 28. Przykładowe mapy obrazujące zróżnicowanie wpływu poszczególnych pól obliczeniowych na zasilanie najbliższych elementów wód powierzchniowych (na przykładzie azotu)

Źródło: Nicia i inni 2022.

Z tego powodu wpływ zmienności wybranych parametrów został przedstawiony w postaci tabelarycznej, gdzie wyniki te są łatwiejsze do przedstawienia i interpretacji. Dla potrzeb interpretacji, dane zawarte w tabeli 17 i 18 przedstawiają zaobserwowane procentowe zmiany (wzrost lub zmniejszenie) w stosunku do modelu wyjściowego. Wyniki zostały otrzymane niezależnie dla potencjalnego wpływu związków azotu oraz fosforu. Kluczowe dla przeprowadzonych analiz było określenie prawdopodobnego kierunku i siły zmian zagrożenia eutrofizacją w zależności od wybranych parametrów. Z tego powodu przejęto, że uzyskane wartości liczbowe określające ilość przemieszczonych do wód powierzchniowych związków azotu i fosforu dla całego obszaru przy założonych warunkach uznanych za podstawowe (pH=5, opady i temperatury z 2021 r., brak zabiegów urządzeniowych), stanowią 100,0% wyjściowego wpływu nawożenia na otaczające wody powierzchniowe. Natomiast wartości w pozostałych komórkach tabeli wynikowej odnoszą się do tej wyjściowej sytuacji (na całym obszarze, jak i w poszczególnych zlewniach) i pokazują, w jakim stopniu i w jakim kierunku nastąpiła procentowa zmiana w zakresie ilości niekorzystnych związków chemicznych, które dostały się do środowiska wodnego.

Wyniki przedstawiają 11 przypadków, zarówno dla całego obszaru badań, jak i dla trzech wydzielonych zlewni oznaczonych symbolem 1, 2 oraz 3 na rysunku 24. Kolejne rozpatrzone w tabeli przypadki to:

- parametry wyjściowe: ($o_{2021}, T_{2021}, \text{pH}=5$), brak prac urządzeniowo-rolnych,
- zmiana pH ($o_{2021}, T_{2021}, \text{pH}=7$),
- parametry wyjściowe + zmiana przebiegu temperatury ($o_{2021}, T_{2019}, \text{pH}=5$),
- parametry wyjściowe + zmiana przebiegu temperatury i pH ($o_{2021}, T_{2019}, \text{pH}=7$),
- parametry wyjściowe + zmiana przebiegu opadów (2019 r.) ($o_{2019}, T_{2021}, \text{pH}=5$),
- parametry wyjściowe + zmiana przebiegu opadów (2019 r.) i odczynu ($o_{2019}, T_{2021}, \text{pH}=7$),
- parametry wyjściowe + zmiana przebiegu opadów (2017 r.) ($o_{2017}, T_{2021}, \text{pH}=5$),
- parametry wyjściowe + zmiana przebiegu opadów (2017 r.) i odczynu ($o_{2017}, T_{2021}, \text{pH}=7$),
- wpływ zmiany kierunku projektowania działek,
- wpływ zaprojektowania stref buforowych,
- wpływ obu zabiegów urządzeniowych łącznie.

Otrzymane wyniki pokazały zróżnicowany wpływ poszczególnych czynników na badane zjawisko. Wyjściowe zróżnicowanie pomiędzy zlewniami nie było duże i sięgało 4,0%, jednak ich charakterystyka (ukształtowanie terenu i sposób użytkowania) jest zbliżona do siebie. Wapnowanie gleb, a co za tym idzie podwyższenie jej pH, w każdym przypadku powoduje zmniejszenie liczby związków, które dostają się do otaczających wód. Jednak nie jest to redukcja znacząca, co należy wiązać z tym, że zwiększenie wartości pH gleby wpływa zarówno na łatwość wykorzystywania związków pokarmowych przez rośliny, jak i jednocześnie ułatwia ich wymywanie, więc te dwa efekty działające przeciwnie do siebie w pewnym stopniu, przy czym skonstruowany model wykazał jednak pewien pozytywny wpływ wapnowania. Kluczowym czynnikiem wpływającym na zagrożenie przedostawaniem się niekorzystnych czynników do środowiska wodnego jest charakterystyka opadów, co najlepiej ilustrują wyniki bardzo dużego wzrostu wymywania odpowiadającemu charakterystyce opadów z 2017 r.

Tabela 17. Wyniki przeprowadzonych symulacji zmian w zakresie przedostawania się substancji sprzyjających eutrofizacji (związki azotu) w zależności od zmienności wybranych czynników [%]

Charakterystyka	Cały obszar	Zlewnia 1	Zlewnia 2	Zlewnia 3
Parametry wyjściowe (O ₀ , T ₀ , pH = 5), (2021)	100,0	2,4	1,9	-1,5
Parametry wyjściowe (O ₀ , T ₀ , pH = 7)	-2,4	-2,5	-2,4	-2,3
Zmiana temperatury (O ₀ , T ₁ , pH = 5)	-4,2	-4,4	-4,2	-4,1
Zmiana temperatury (O ₀ , T ₁ , pH = 7)	-6,6	-6,9	-6,6	-6,4
Zmiana charakterystyki opadów (O ₁ , T ₀ , pH = 5)	3,5	3,8	3,5	3,3
Zmiana charakterystyki opadów (O ₁ , T ₀ , pH = 7)	1,1	1,3	1,2	1,0
Zmiana charakterystyki opadów (O ₂ , T ₀ , pH = 5)	18,1	18,7	18,0	17,6
Zmiana charakterystyki opadów (O ₂ , T ₀ , pH = 7)	16,2	16,8	16,1	15,8
Wpływ zmiany kierunku projektowania działek	-3,6	-5,4	-3,8	-3,1
Wpływ stref buforowych	-1,6	-1,9	-1,5	-1,7
Wpływ obu zabiegów urządzeńowych łącznie	-5,2	-8,0	-5,2	-4,8

Objaśnienia do tabeli: dane zawarte w tabeli przedstawiają zmiany w stosunku do parametrów wyjściowych, O₀ = opady 2021 r., O₁ = opady 2019 r., O₂ = opady 2017 r., T₀ = temperatury 2021 r., T₁ = temperatury 2019 r.

Źródło: Nicia i inni 2022.

Tabela 18. Wyniki przeprowadzonych symulacji zmian w zakresie przedostawania się substancji sprzyjających eutrofizacji (związki fosforu) w zależności od zmienności wybranych czynników [%]

Charakterystyka	Cały obszar	Zlewnia 1	Zlewnia 2	Zlewnia 3
Parametry wyjściowe (O ₀ , T ₀ , pH = 5), (2021)	100,0	2,5	2,0	-1,6
Parametry wyjściowe, (O ₀ , T ₀ , pH = 7)	-1,2	-1,3	-1,2	-1,1
Zmiana temperatury (O ₀ , T ₁ , pH = 5)	-2,7	-2,8	-2,7	-2,6
Zmiana temperatury (O ₀ , T ₁ , pH = 7)	-3,9	-4,1	-3,9	-3,7
Zmiana charakterystyki opadów (O ₁ , T ₀ , pH = 5)	-0,6	-0,5	-0,6	-0,6
Zmiana charakterystyki opadów (O ₁ , T ₀ , pH = 7)	1,1	1,2	1,1	1,0
Zmiana charakterystyki opadów (O ₂ , T ₀ , pH = 5)	9,5	9,8	9,4	9,2
Zmiana charakterystyki opadów (O ₂ , T ₀ , pH = 7)	10,9	11,4	10,9	10,7
Wpływ zmiany kierunku projektowania działek	-5,1	-6,4	-5,2	-4,7
Wpływ stref buforowych	-3,7	-4,0	-3,6	-3,7
Wpływ obu zabiegów urządzeniowych łącznie	-6,1	-7,5	-6,1	-5,8

Objaśnienia do tabeli: dane zawarte w tabeli przedstawiają zmiany w stosunku do parametrów wyjściowych, O₀ = opady 2021 r., O₁ = opady 2019 r., O₂ = opady 2017 r., T₀ = temperatury 2021 r., T₁ = temperatury 2019 r.

Źródło: Nicia i inni 2022.

Również wpływ zabiegów urządzeniowo-rolnych okazał się zgodny z założeniami, chociaż ich efekt mógłby być większy, zwłaszcza gdyby założono szerszy zakres stref buforowych. Jednak wydzielanie tego typu stref jest zawsze uzależnione od pozyskania terenu na ten cel podczas prac scaleńowych, co nie zawsze jest technicznie możliwe. Stosunkowo niewielki zakres efektów związanych ze zmianą kierunków projektowania jest również podyktowany tym, że problem kierunku uprawy ziemi wzdłuż kierunków istotnych spadków nie występował na badanym obszarze z dużym natężeniem (choć lokalnie był dużym problemem). Dane w tabeli prezentującej

analizę związków fosforu, pokazują nieco odmienną niż w przypadku azotu charakterystykę całego procesu, a w szczególności słabszy wpływ zwiększonych opadów, co jest zgodne z ogólnymi wynikami badań w zakresie szybkości utraty tych dwóch grup związków chemicznych z profilu glebowego. Wpływ pozostałych czynników jest na zbliżonym poziomie.

Na poziom zagrożenia eutrofizacją największy wpływ ma zmienność opadów w ciągu sezonu wegetacyjnego w połączeniu ze sposobem użytkowania ziemi oraz terminem nawożenia. W szczególności największe zagrożenia powodować mogą intensywne deszcze pojawiające się w krótkim czasie po nawożeniu, a czynnikiem zwiększającym zagrożenie jest nie tylko nachylenie pól uprawnych, ale również typ gleby oraz występująca w momencie opadów zdolność do przyjęcia wody przed rozpoczęciem intensywnego spływu powierzchniowego (choć ten czynnik nie był uwzględniany w obliczeniach). Zmiany wynikające z poprawnie przeprowadzonych działań o charakterze urządzeniowo-rolnym pozwalają na zmniejszenie zagrożenia eutrofizacją w bardziej oczywisty sposób niż zmiany w zakresie wapnowania gleb. Proponowane zabiegi urządzeniowo-rolne powodują zarówno zatrzymywanie wód opadowych z powodu prowadzenia poprzeczno-stokowego kierunku zabiegów uprawowych, jak również z uwagi na działanie stref buforowych w otoczeniu wód powierzchniowych, które są w stanie wchłonąć dużą część spływających składników przed ich dotarciem do wody. Również w omawianym przypadku wpływ wapnowania jest korzystny, ponieważ podwyższenie wartości pH gleby pozytywnie wpływa na jej strukturę, a przez to na szybkość wchłaniania wód opadowych i objętość wchłoniętych opadów.

Należy zauważyć, że w przypadku zagrożeń związanych z wypłukiwaniem składników mineralnych w głąb profilu glebowego, interpretacja wpływu wapnowania nie jest jednoznaczna. Długotrwałe, trwające kilkanaście lub kilkadziesiąt godzin bez przerwy nawet mało intensywne opady w przypadku gleb o wysokim pH (po wapnowaniu) zwiększają dostępność składników mineralnych, ale także powodują łatwiejsze ich przemieszczanie się w głąb profilu glebowego. Jednocześnie długi (jak na opady), ale krótki z uwagi na wegetację roślin okres nie pozwala na wykorzystanie wymywanych w tym czasie składników, zwłaszcza w uprawach o niezbyt głębokim systemie korzeniowym. Największe zagrożenie niesie ze sobą okres, w którym mamy do czynienia z brakiem pokrywy roślinnej lub z pokrywą na etapach inicjalnych rozwoju roślin uprawnych. W takich przypadkach zwiększony poziom wapnowania może przyczynić się do zwiększania zagrożenia eutrofizacją. Stąd rolnicy powinni stosować nawożenie mine-

ralne w określonych terminach i fazach wzrostu roślin tak, aby składniki wnoszone do gleby mogły być wykorzystane przez rośliny. Na przeciwnym biegunie można postawić sytuację, w której w dłuższym okresie występują opady deszczu o natężeniu odpowiadającym bieżącemu potrzebom roślinności i jej etapom rozwoju w ciągu sezonu wegetacyjnego. W takim przypadku wapnowanie, które poprawia strukturę gleby i wpływa na lepsze udostępnienie składników pokarmowych roślinom, powinno zmniejszyć prawdopodobieństwo pojawienia się niekorzystnych związków chemicznych w środowisku wodnym. Mamy bowiem do czynienia z ograniczeniem spływu powierzchniowego oraz ze zwiększeniem pobierania azotu i fosforu z gleby w tempie, które jest wystarczające, aby uwalniane składniki pokarmowe nie przemieszczały się w głąb profilu glebowego.

Do zalet zaproponowanego podejścia należy zaliczyć łatwość pozyskania danych do tego typu analizy, która może być przeprowadzona na obszarze praktycznie każdego obiektu na terenie Polski bez konieczności korzystania z komercyjnych źródeł danych przestrzennych oraz oprogramowania. Na podstawie zrealizowanych badań można wskazać jednak pewne słabości związane zarówno z uproszczeniami modelu, jakością wykorzystanych danych czy związanymi z tym problemami z interpretacją. Analizując przykładowe wyniki w zakresie natężenia utraty składników pokarmowych, które przedostały się do otaczających wód widoczne jest wyraźne zwiększenie negatywnego wpływu na granicach pomiędzy polami uprawnymi, odpowiadającym miedzom o różnej wysokości. O ile dane lotniczego skaningu laserowego dały możliwość szczegółowej identyfikacji badanego zjawiska oraz pozwoliły na scharakteryzowanie lokalnych zmian wysokości na poziomie kilkunastu centymetrów. O tyle wykorzystując precyzyjne dane oraz te opisujące w sposób ogólny użytkowanie gruntów, otrzymano zdecydowanie zawyżone wartości charakteryzujące zjawisko utraty składników pokarmowych. Przyczyną takiego stanu jest fakt, iż model traktował jako grunty orne również obszar miedz.

Z uwagi na bardzo silną zależność intensywności spływu powierzchniowego od spadku, który lokalnie potrafi przyjmować w tych miejscach bardzo duże wartości, łączny wpływ tej wady modelu może być zauważalny, a jego siła jest wprost zależna od parametrów rozdrobnienia gruntów – niskie przeciętne wielkości działek oraz ich nieregularny kształt zwiększają całkowitą powierzchnię zajętą przez miedze w całkowitej powierzchni użytków rolnych, a wartości te mogą sięgać nawet do kilku procent obszaru wsi. Rozwiązaniem tego problemu w przyszłych badaniach może być poprawa rozdzielczości przestrzennej określenia sposobu użytkowania ziemi,

czyli rezygnacja z istniejących baz danych na korzyść klasyfikacji użytkowania dedykowanej dla danego obszaru w oparciu o istniejące wysokorozdzielcze zobrazowania lub pomiary wykonane bezpośrednio dla potrzeb danego opracowania. Alternatywnym sposobem rozwiązania tego problemu może być założenie niewielkiej (np. pół metra) strefy buforowej wzdłuż granic działek ewidencyjnych, która nie będzie brana pod uwagę przy obliczeniach. Jednak to rozwiązanie może być skuteczne tylko dla obszarów po przeprowadzonej modernizacji lub scaleniu gruntów. W przeciwnym bowiem przypadku występuje bardzo duża rozbieżność pomiędzy przebiegiem granic działek wynikających z zawartości baz danych katastralnych a ich faktycznym przebiegiem w terenie. W takich przypadkach wyznaczona strefa buforowa nie pokryłaby właściwego obszaru o deniwelacjach wskazanego w wyniku pomiarów metodą skaningu laserowego.

Celem tej części badań było wskazanie wpływu wapnowania gleb na zmiany zagrożenia eutrofizacją w aspekcie nawożenia gleb nawozami azotowymi i fosforowymi. Jednak również inny, ważny czynnik związany z wapnowaniem, który nie był przedmiotem badań, a o którym koniecznie należy wspomnieć w aspekcie wpływu wapnowania wód powierzchniowych na eutrofizację. Efekt ten związany jest z przedostawaniem się związków wapnia do otaczających systemów wód powierzchniowych. Związki wapnia są stosunkowo łatwo wymywane, a ich przemieszczanie się do wód powoduje wzrost pH wody, co jest silnie zauważalne w przypadku wód stojących. Zwiększenie poziomu związków wapnia w wodzie może być skutkiem procesów naturalnych lub efektów nawożenia i w rezultacie zwiększania pH wody. W takim przypadku, nawożenie wapnem może pomóc w zapobieganiu eutrofizacji, poprzez zwiększenie jego poziomu w wodzie i neutralizację nadmiernego poziomu przyswajania składników odżywczych przez organizmy wodne.

Otrzymane wyniki pozwoliły na sformułowanie szeregu wniosków. Wykonana analiza wskazała na korzystny wpływ wapnowania gleb na zmniejszenie zagrożenia zjawiskami eutrofizacji w otaczających wodach powierzchniowych. Wpływ ten nie był jednak silny. Należy podkreślić również znaczenie procesu wapnowania dla skali rozwoju niekorzystnych mikroorganizmów w środowisku wodnym, które nie są związane bezpośrednio z procesami nawożenia nawozami azotowymi i fosforowymi, natomiast wynikają ze zmiany odczynu wód powierzchniowych. Proces ten nie był przedmiotem analizy, jednak powinien być brany pod uwagę jako dodatkowy czynnik potencjalnie ograniczający zjawisko eutrofizacji, co nie oznacza jednocześnie, że należy proces przedostawania się związków wapnia bę-

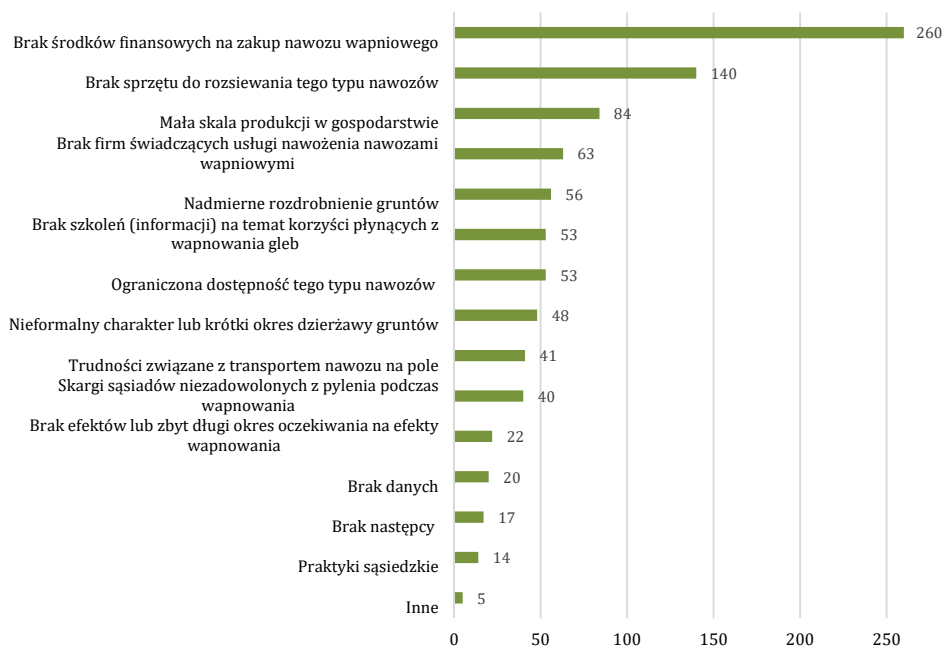
dających pochodną procesu wapnowania gleby do wód powierzchniowych, uznać za zjawisko pozytywne dla środowiska naturalnego. Otrzymane wyniki pozwoliły na stwierdzenie, że działania o charakterze urządzeniowo-rolnym mogą wpływać na zmniejszenie zagrożenia eutrofizacją w większym stopniu niż zmiany poziomu wapnowania. Jednak doprowadzenie odczynu gleby do poziomu optymalnego dla uzyskania odpowiedniej ilości plonów roślin jest konieczne z punktu widzenia opłacalności produkcji rolnej. Obydwa z zaproponowanych działań (wprowadzenie stref buforowych wzdłuż cieków i zbiorników wodnych oraz zmiana kierunku uprawy ziemi na poprzeczno-stokową) zauważalnie wpłynęły na obserwowane wskazania w zakresie przedostawania się niekorzystnych związków chemicznych do wód.

Nie ma możliwości całkowicie zapobiec zjawisku przedostawania się związków azotu i fosforu pochodzenia nawozowego do wód. Współczesne intensywne rolnictwo charakteryzuje się wysokim poziomem nawożenia i taki stan będzie się utrzymywał. Możemy jednak w pewnym zakresie wpływać na ograniczenie tego zjawiska, a opisane wcześniej działania urządzeniowo-rolne są jednym z przykładów efektywnego rozwiązania w tym zakresie. Natomiast zmiana odczynu gleb w wyniku wapnowania może być również czynnikiem ograniczającym eutrofizację, zwłaszcza w połączeniu z działaniami zmierzającymi do podziału dawek nawozu w zależności od etapu rozwoju i potrzeb roślin w danym okresie. Wapnowanie może być korzystne również w przypadku sprzyjających dla procesów utraty i asymilacji składników pokarmowych zmienności opadów i temperatury w ciągu roku, nawet przy założeniu jednorazowego procesu nawożenia. Jednak, jak wspomniano wcześniej, w określonych sytuacjach, głównie związanych z niekorzystną strukturą opadów (zarówno bardzo intensywnych w niedługim czasie po nawożeniu, jak i długotrwałych średnio intensywnych opadów), podwyższone pH gleby może przyczyniać się do zwiększenia zagrożenia erozją.

8. Bariery nawożenia gleb nawozami odkwaszającymi w opiniach rolników i pracowników instytucji otoczenia rolnictwa

8.1. Bariery wapnowania w opinii rolników

Do głównych czynników ograniczających wapnowanie rolnicy zdecydowanie najczęściej zaliczali te o charakterze ekonomicznym: brak środków finansowych na zakup nawozu wapniowego (60,0%), brak sprzętu do rozsiewania nawozów wapniowych (32,0%) oraz małą skalę produkcji w gospodarstwie rolnym (20,0%). Te trzy czynniki stanowiły połowę z wszystkich 916 wskazań (respondent mógł wskazać maksymalnie trzy najważniejsze bariery). Na pozostałe kwestie zwracano uwagę wyraźnie rzadziej (wykres 23).



Wykres 23. Bariery wapnowania w opiniach rolników [liczba wskazań]

Źródło: opracowanie własne na podstawie: badań ankietowych 2023.

Warto jednak zauważyć, że dopiero w dalszej kolejności w odpowiedziach rolników pojawiały się ograniczenia o charakterze przestrzenno-organizacyjnym (takie jak: brak firm świadczących usługi nawożenia wapniowego, rozdrobnienie gruntów, brak dostępności nawozów, nieformalny charakter lub krótki okres dzierżaw, a także trudności związane z transportem nawozu na pole) i społecznym: skargi sąsiadów na pylenie podczas wapnowania). Warto zwrócić też uwagę na barierę informacyjną w postaci braku szkoleń/informacji na temat korzyści płynących z wapnowania gleb. Inne bariery o charakterze społecznym (w tym brak następcy i praktyki sąsiedzkie), miały już raczej charakter marginalny.

W ujęciu regionalnym na główną barierę ekonomiczną w postaci braku środków na zakup nawozu wapniowego najczęściej zwracano uwagę w powiatach nowosądeckim (74,0%) i łobeskim (67,0%), czyli w jednostkach o skrajnie różnym według danych GUS poziomie nawożenia wapniowego (odpowiednio: grupa D i grupa A). Brak sprzętu do rozsiewania tego typu nawozów również najczęściej wskazywano w powiatach łobeskim (46,0%) i nowosądeckim (43,0%). Mała skala produkcji była przeszkodą najczęściej wskazywaną przez rolników powiatu łobeskiego (20,0%) i jarosławskiego (22,0%). Obiekty te łączył najwyższy średni poziom nawożenia wapniowego wedle danych Głównego Urzędu Statystycznego (grupa A) (tabela 19).

Tabela 19. Identyfikacja głównych barier wapnowania przez rolników w ujęciu przestrzennym [liczba wskazań]

Powiat	Główne czynniki ograniczające wapnowanie (liczba wskazań)							Razem*	Razem**	Respondenci
	brak środków	brak sprzętu	skala produkcji	brak firm	rozdrobnienie	brak szkoleń	dostępność			
drawski	33	15	8	9	8	7	8	88	123	57
jarosławski	33	21	12	13	10	10	6	105	133	54
jasielski	35	19	5	7	14	12	1	93	114	54
łobeski	31	21	9	6	4	4	2	77	96	46
nowosądecki	39	23	3	5	23	7	1	101	127	53
opolski	22	12	1	3	7	6	7	58	78	48
oświęcimski	24	14	5	11	10	5	9	78	105	47
prudnicki	43	15	10	9	8	5	6	96	140	74
Ogółem	260	140	53	63	84	56	40	696	916	433

Objaśnienia do tabeli: n = 433, *suma wskazań dla 7 najważniejszych czynników, **suma wskazań dla wszystkich 15 czynników.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: badań ankietowych 2023.

Brak firm świadczących usługi wapnowania najczęściej zauważali rolnicy powiatu oświęcimskiego (23,0%) i jarosławskiego (24,0%). Rozdrobnienie agrarne było postrzegane jako bariera wapnowania zwłaszcza w powiecie nowosądeckim (43,0%) i jasielskim (26,0%), czyli w jednostkach o najniższym średnim poziomie wapnowania (grupa D), położonych na południu Polski. Na brak szkoleń częściej zwracali uwagę rolnicy z powiatu jasielskiego (22,0%) i jarosławskiego (19,0%), a ograniczoną dostępność nawozów akcentowano w powiatach opolskim (15,0%) i oświęcimskim (19,0%). Generalnie trudno jest mówić o jakiejś wyraźnej prawidłowości przestrzennej, o grupowaniu się konkretnych barier wg położenia czy sąsiedztwa badanych regionów. Można natomiast zauważyć, że rolnicy z powiatu łobeskiego przodowali w identyfikacji barier ekonomicznych, tj. w braku środków, w braku sprzętu i małej skali produkcji. Relatywnie najrzadziej w regionie tym zwracano także uwagę na inne bariery takie, jak brak szkoleń, czy rozdrobnienie gruntów. Rzadko akcentowano również problem dostępności nawozów. W powiecie nowosądeckim duży odsetek rolników wskazywał na bariery ekonomiczne (brak środków i brak sprzętu) oraz barierę przestrzenno-organizacyjną w postaci nadmiernego rozdrobnienia gruntów. Zarazem jednak rolnicy z tego regionu wyraźnie rzadziej zwracali uwagę na problem małej skali produkcji, braku firm świadczących usługi wapnowania oraz na barierę dostępności nawozów.

W powiecie jarosławskim, relatywnie częściej niż w innych, powiatach akcentowano barierę małej skali produkcji, braku firm świadczących usługi wapnowania oraz deficytu szkoleń. W ujęciu regionalnym identyfikacja siedmiu najczęstszych barier znajdowała największe nasilenie w odpowiedziach rolników z powiatów o skrajnie różnym poziomie wapnowania: łobeskiego i jarosławskiego (grupa A) oraz nowosądeckiego (grupa D). W powiatach drawskim i prudnickim, a więc także regionach różnych pod względem nawożenia wapniowego (odpowiednio grupa C i grupa A) wszystkie kluczowe bariery wapnowania rolnicy wskazywali relatywnie rzadziej niż w pozostałych regionach. Zatem tylko w powiecie prudnickim zależność pomiędzy wysokim poziomem nawożenia wapniowego (grupa A) a niskim odsetkiem identyfikowanych przez rolników barier zdawała się znajdować bardziej czytelne potwierdzenie.

Mając na uwadze liczbę lat pracy w gospodarstwie trzeba zauważyć, że brak środków na zakup nawozów wapniowych rzadziej akcentowali rolnicy z krótszym stażem, tj. gospodarujący nie dłużej niż 10 lat (33,0%). Bariera braku sprzętu nie podlegała pod tym względem wyraźniejszym prawidłowościom, a problem małej skali produkcji był podobnie postrzegany przez

rolników niezależnie od stażu. Na brak firm świadczących usługi wapnowania relatywnie częściej zwracali uwagę rolnicy z największym stażem, tj. gospodarujący ponad 40 lat (23,0%), a zatem także osoby starsze i zapewne mniej sprawnie operujące internetowymi źródłami informacji. Ale zarazem w tej samej grupie rolników najrzadziej jako barierę wapnowania postrzegano rozdrobnienie gruntów (13,0%) (tabela 20).

Tabela 20. Identyfikacja głównych barier wapnowania przez rolników według liczby lat pracy w gospodarstwie rolnym [liczba wskazań]

Liczba lat pracy w gospodarstwie	Główne czynniki ograniczające wapnowanie (liczba wskazań)							Razem*	Razem**	Respondenci
	brak środków	brak sprzętu	skala produkcji	brak firm	rozdrobnienie	brak szkoleń	dostępność			
poniżej 10 lat	38	26	12	15	19	22	13	145	206	115
10–20 lat	84	40	15	19	24	10	11	203	271	115
20–40 lat	107	58	20	18	35	19	11	268	338	159
powyżej 40 lat	20	9	3	7	4	2	5	50	68	30
brak danych	11	7	3	4	2	3	0	30	33	14
Ogółem	260	140	53	63	84	56	40	696	916	433

Objaśnienia do tabeli: n = 433, *suma wskazań dla 7 najważniejszych czynników, **suma wskazań dla wszystkich 15 czynników.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: badań ankietowych 2023.

Rolnicy o najkrótszym stażu pracy wyraźnie dominowali w akcentowaniu bariery informacyjnej: braku szkoleń/informacji na temat korzyści płynących z wapnowania gleb (19,0%). Natomiast postrzeganie jako bariery kwestii dostępności nawozów podlegało polaryzacji. Tą przeszkodę najczęściej wskazywali rolnicy najmłodszy stażem (11,0%), być może mniej zorientowani w lokalnych rynkach oraz rolnicy najstarszy stażem (17,0%), prawdopodobnie mniej zaawansowani w wykorzystywaniu źródeł internetowych. Biorąc pod uwagę strategie wapnowania można było zauważyć, że dwie kluczowe bariery ekonomiczne (brak środków na zakup nawozu i brak sprzętu do jego rozsiewania) dominowały zwłaszcza w odpowiedziach rolników, którzy w ogóle nie stosowali wapnowania lub stosowali ten zabieg sporadycznie (tabela 21).

Tabela 21. Identyfikacja głównych barier wapnowania przez rolników w kontekście częstotliwości wykonywania tego zabiegu [liczba wskazań]

Częstotliwości wykonywania zabiegu wapnowania	Główne czynniki ograniczające wapnowanie (liczba wskazań)							Razem*	Razem**	Respondenci
	brak środków	brak sprzętu	skala produkcji	brak firm	rozdrobienie	brak szkoleń	dostępność			
Systematycznie	185	104	43	56	49	50	36	523	692	330
Sporadycznie	42	19	8	5	18	3	1	96	123	58
Brak danych	33	17	2	2	17	3	3	77	101	45
Ogółem	260	140	53	63	84	56	40	696	916	433

Objaśnienia do tabeli: n = 433, *suma wskazań dla 7 najważniejszych czynników, **suma wskazań dla wszystkich 15 czynników.

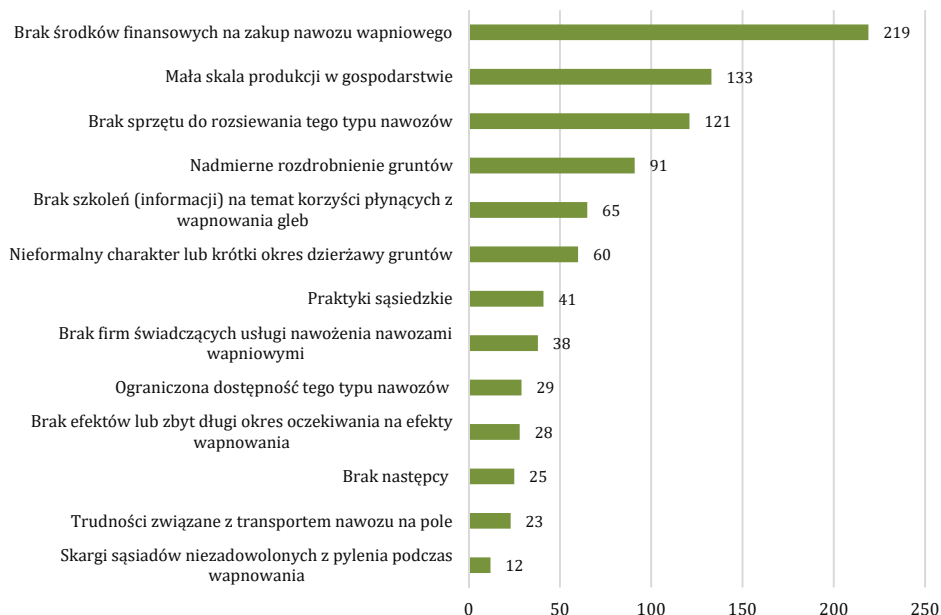
Źródło: opracowanie własne na podstawie: badań ankietowych 2023.

W grupie rolników systematycznie wapnujących gleby częściej zauważano przeszkody takie jak: brak firm świadczących usługi wapnowania, brak szkoleń oraz ograniczona dostępność nawozów wapniowych. Z kolei rolnicy wapnujący swoje grunty sporadycznie zwracali relatywnie częściej uwagę na małą skalę produkcji oraz rozdrobnienie gruntów.

8.2. Bariery wapnowania w opinii pracowników instytucji otoczenia rolnictwa

Przechodząc do barier wapnowania identyfikowanych przez przedstawicieli instytucji okołorolniczych warto zauważyć interesującą zbieżność trzech najczęściej wskazywanych czynników, które można zaliczyć do barier o charakterze ekonomicznym: brak środków na zakup nawozu, mała skala produkcji oraz brak sprzętu do rozsiewania nawozów wapniowych. Wysoko w hierarchii częstości wskazań ekspertów plasowały się też kwestie nadmiernego rozdrobnienia gruntów oraz braku szkoleń na temat korzyści wapnowania (wykres 24).

8. Bariery nawożenia gleb nawozami odkwaszającymi w opiniach rolników i pracowników



Objaśnienia do wykresu: n = 325, respondenci mogli wskazać więcej niż jedną odpowiedź.

Wykres 24. Bariery wapnowania w opiniach przedstawicieli instytucji [liczba wskazań]

Źródło: opracowanie własne na podstawie: badań ankietowych 2023.

Można zatem stwierdzić, że istniała znacząca zgodność identyfikacji pięciu kluczowych barier dla agrotechnicznych zabiegów odkwaszania gleb we wskazaniach rolników i pracowników instytucji okołorolniczych. Natomiast eksperci zdawali się nieco przeceniać rolę praktyk sąsiedzkich („nikt w okolicy nie wapnuje gleb, więc rolnik też tego nie robi”). Na ten aspekt zwróciło uwagę tylko 3,0% rolników i aż 13,0% pracowników instytucji. Z drugiej strony na tle odpowiedzi rolników (9,0%) relatywnie mniejszy odsetek ekspertów (4,0%) postrzegał jako barierę skargi sąsiadów niezadowolonych z pylenia podczas wapnowania. W obu badanych grupach rzadziej zwracano uwagę na barierę wapnowania w sytuacji braku następcy.

Struktura odpowiedzi przedstawicieli instytucji wg stażu pracy podlegała interesującemu zróżnicowaniu. Otóż wyraźnie rzadziej na bariery ekonomiczne (brak środków na zakup nawozu, mała skala produkcji i brak sprzętu do rozsiewania nawozu) zwracali uwagę pracownicy najmłodszy stażem. W ocenach tej grupy podobnie rzadziej też akcentowano problem rozdrobnienia gruntów. Natomiast pracownicy najstarsi stażem

na tle pozostałych grup odmiennie spoglądali na problemy takie, jak brak szkoleń, nieformalny charakter/krótki okres dzierżaw czy swoisty konformizm znajdujący usprawiedliwienie w praktykach sąsiedzkich, na aspekty te wskazywał wyraźnie niższy odsetek najstarszych stażem ekspertów (tabela 22).

Tabela 22. Identyfikacja głównych barier wapnowania w kontekście doświadczenia zawodowego pracownika instytucji [liczba wskazań]

Liczba lat pracy w gospodarstwie	Główne czynniki ograniczające wapnowanie (liczba wskazań)							Razem*	Razem**	Respondenci
	brak środków	brak sprzętu	skala produkcji	rozdrobienie	brak szkoleń	dostępność	praktyki sąsiedzkie			
poniżej 10 lat	62	3	31	5	46	29	8	184	277	107
10–20 lat	71	9	43	11	41	35	2	212	285	97
20–40 lat	51	10	30	12	32	19	1	155	203	73
powyżej 40 lat	4	1	3	3	1	1	0	13	16	6
brak danych	31	6	14	7	13	7	1	79	106	42
Ogółem	219	29	121	38	133	91	12	643	887	325

Objaśnienia do tabeli: n = 325, *suma wskazań dla 7 najważniejszych czynników, **suma wskazań dla wszystkich 15 czynników.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: badań ankietowych 2023.

Podsumowując, można stwierdzić, że bariery wapnowania w świetle wyników badań ankietowych prowadzonych wśród rolników ośmiu celowo dobranych powiatów o zróżnicowanym przeciętnym poziomie wapnowania wykazywały się zróżnicowaniem przestrzennym, ale poza jednym wyjątkiem (powiat prudnicki) nie podlegały tendencji: dużo barier = niski poziom wapnowania. W różnych regionach różnie postrzegano przeszkody i utrudnienia dla praktyki odkwaszania gleb. Jak wykazano, kluczowe na tle 15 czynników (najczęściej akcentowane przez rolników) były 3 bariery o charakterze ekonomicznym, a mianowicie brak środków na zakup nawozu i sprzętu do jego rozsiania oraz zbyt mała skala produkcji. Te spostrzeżenia bardzo wyraźnie potwierdzały także opinie ekspertów. Korespondowały one też z wynikami dalej prezentowanego modelu drzewa klasyfikacyjnego wyjaśniającego strategię wapnowania, w którym

pierwsze kryterium podziału stanowił odsetek dochodów gospodarstwa domowego pochodzących z rolnictwa. Wśród 15 czynników mających charakter nie tylko ekonomiczny, ale też organizacyjno-przestrzenny, społeczny oraz informacyjny, główną rolę zdawały się odgrywać bariery ekonomiczne.

W świetle dokonanych obserwacji można z dużym prawdopodobieństwem wnioskować, że bariery wapnowania mają charakter systemowy: te ekonomiczne synergicznie oddziałują nie tylko między sobą (ale także z barierami organizacyjno-przestrzennymi i społecznymi). Przykładowo: mała skala produkcji zniechęca właściciela gospodarstwa do inwestowania w droższy sprzęt rolniczy (w tym w szczególności w rozsiewacz do wapna). Towarzyszyć temu może także relatywnie częściej brak środków na zakup nawozu, a tym bardziej na skorzystanie z usługi wapnowania generującej dodatkowy koszt. Próby rozsiewania tańszego nawozu (np. wapna pylistego) na własną rękę mogą być małoefektywne (więc rolnik nie zobaczy efektów wapnowania), a przy tym mogą wzbudzać niezadowolenie sąsiadów ze względu na pylenie podczas wapnowania. W efekcie zniechęcony rolnik podejmie zabieg odkwaszania tylko sporadycznie lub nie wykona go wcale. Może się przy tym czuć usprawiedliwiony powszechną praktyką sąsiedzką ponieważ – zwłaszcza na obszarach rozdrobnionych agrarnie – podobnie postąpią inni rolnicy. Przełamywanie takiego splotu czynników wydaje się bardzo trudne bez wsparcia z zewnątrz. W tym kontekście system dopłat do zakupu nawozów wapniowych wydaje się być ważnym elementem polityki utrzymywania gleb w dobrej kulturze rolnej.

8.3. Identyfikacja determinant i barier wapnowania – próba ujęcia modelowego

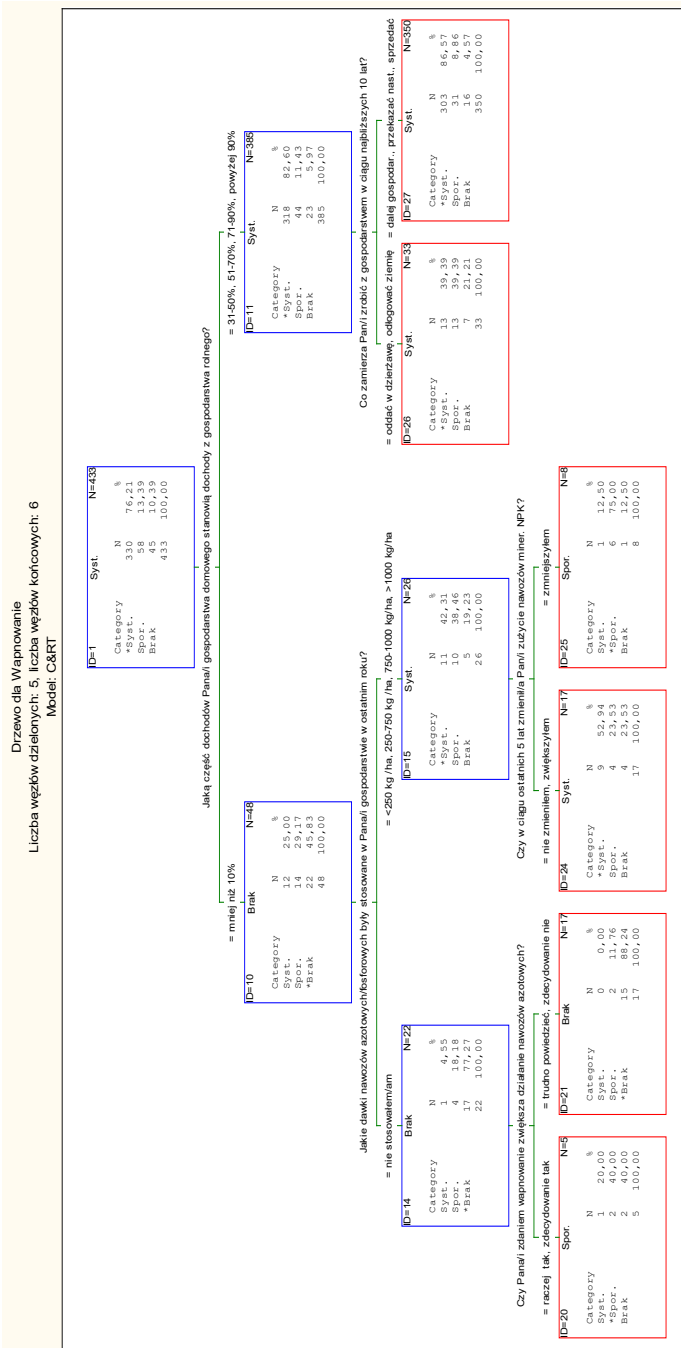
Wiele zidentyfikowanych na podstawie przeprowadzonych badań ankietowych wniosków, potwierdza zaprezentowany poniżej model interakcyjnego drzewa klasyfikacyjnego CART. W modelu tym odsetek błędnych klasyfikacji ukształtował się na poziomie 19,0% i uznano go za wynik dobry. Należy podkreślić, że model miał charakter eksploracyjny (a nie predykcyjny), więc szczególna precyzja nie była aż tak potrzebna. Pomimo dużej złożoności motywów i czynników które determinowały podejście rolników do zabiegu wapnowania, osiągnięta została 81,0% trafność przewidywań modelu. Niemniej, należy mieć na uwadze, że niektóre istotne

determinanty strategii wapnowania mogły pozostawać poza polem obserwacji statystycznej.

Skonstruowany model dzieli się na 5 węzłów (ID=1, 10, 11, 14, 15) dzielonych oraz 6 węzłów (ID=20, 21, 24, 25, 26, 27) końcowych. W kolejnych podziałach diagram tego drzewa przedstawiał determinanty strategii wapnowania stosowanych przez rolników. Obserwując pierwszy węzeł drzewa warto zwrócić uwagę, że zabieg wapnowania (podejmowany systematycznie lub sporadycznie) deklarowało niemal 90,0% ankietowanych, a jedynie niewiele ponad 10% respondentów deklarowało zupełne zaniechanie takich praktyk. Stosowane strategie wapnowania ulegały zróżnicowaniu w zależności od roli gospodarstwa rolnego jako źródła utrzymania rodziny rolnika. W przypadku, gdy dochody z gospodarstwa rolnego stanowiły mniej niż 10,0% dochodów gospodarstwa domowego (węzeł ID=10) dominującą strategią było zaniechanie wapnowania lub podejmowanie sporadycznie takiego zabiegu (rysunek 29).

W gronie 48 respondentów deklarujących tak niewielki udział dochodów z gospodarstwa rolnego istotne było stosowanie nawozów azotowych/fosforowych w ostatnim roku. Wśród odpowiedzi 22 rolników, którzy nie stosowali takich nawozów wyraźnie dominowało zaniechanie praktyki wapnowania (węzeł ID=14). Natomiast rolnicy, którzy ponosili wydatki na nawozy azotowe/fosforowe i stosowali je nawet w niewielkich ilościach, zdecydowanie częściej deklarowali systematyczne bądź sporadyczne wapnowanie gleb (węzeł ID=15), co pośrednio świadczyło o świadomości respondentów nt. roli kompleksowości zabiegów agrotechnicznych, nawet gdy dochód z gospodarstwa nie był kluczowy dla rodziny rolnika.

Strategie wapnowania w grupie rolników niestosujących nawozów azotowych/fosforowych (węzeł ID=14) różnicowała opinia nt. korzyści tego zabiegu w postaci wzmocnienia działania nawozów azotowych. Osoby sceptyczne bądź nie mające ugruntowanej opinii w tej kwestii (węzeł ID=21) wyraźnie częściej rezygnowały z wapnowania w przeciwieństwie do osób, które zgadzały się z poglądem o korzystnym wpływie wapnowania na nawożenie azotowe (węzeł ID=20). Natomiast w grupie rolników stosujących nawozy azotowe/fosforowe strategie wapnowania korespondowały ze zmianami zużycia nawozów NPK w ostatnich 5 latach.



Rysunek 29. Diagram drzewa klasyfikacyjnego CART dla strategii wapnowania

Źródło: opracowanie własne.

Węzeł ID=11 objął dużą grupę 385 rolników, których dochody z gospodarstwa rolnego stanowiły co najmniej 10,0% dochodów gospodarstwa domowego. Wyższy udział dochodów z rolnictwa zdawał się dość wyraźnie determinować praktykę systematycznego wapnowania gleb. Aż 83,0% rolników stosowało taką strategię, ponad 11,0% wapnowało swoje gleby sporadycznie, a jedynie niecałe 6,0% rolników nie robiło tego wcale. Wybór tych praktyk mógł być w pewnym stopniu wyjaśniony indywidualną racjonalnością rolnika powiązaną z planami co do przyszłości gospodarstwa. Podział węzła ID=11 prowadził do następującego wniosku: rolnicy deklarujący, że w ciągu najbliższych 10 lat zamierzają dalej gospodarować, ewentualnie przekazać gospodarstwo następcy lub je sprzedać, to osoby, którym bardziej zależało na utrzymaniu gruntów w dobrej kulturze rolnej i zachowaniu ich wartości. Można domniemywać zatem, że byli to rolnicy wapnujący gleby systematycznie (węzeł ID=27). Natomiast w przypadku rolników zamierzających w perspektywie 10 lat oddać grunty w dzierżawę lub je odłogować (węzeł ID=26), systematyczne wapnowanie deklarowano równie często, jak sporadyczne. Wyraźnie wyższy był też w tej grupie odsetek rolników, którzy wapnowania w ogóle nie stosowali. A zatem zachowanie własności ziemi przy zaniechaniu produkcji rolniczej osłabiało stosowanie praktyki systematycznego wapnowania.

Wyjaśniając motywy wyboru strategii wapnowania wykorzystano zestaw licznych cech i czynników, które respondenci zaznaczali w wypełnianych formularzach ankiet. W sposób oczywisty tylko część z nich wystąpiła na finalnym diagramie. Należy jednak wyjaśnić, że jako predyktory strategii wapnowania w modelu uwzględniono:

- lokalizację gospodarstwa rolnego (powiat),
- rodzaj i poziom wykształcenia rolnika,
- liczbę lat pracy w gospodarstwie rolnym,
- źródła utrzymania gospodarstwa domowego rolnika ze wskazaniem głównego źródła,
- udział dochodów z gospodarstwa rolnego w dochodach gospodarstwa domowego,
- powierzchnię gruntów gospodarstwa rolnego,
- powierzchnię najważniejszych upraw,
- zużycie w ciągu ostatnich 5 lat nawozów mineralnych (NPK),
- zużycie w ciągu ostatnich 5 lat nawozów organicznych,
- zużycie w ciągu ostatnich 5 lat regulatorów wzrostu,
- zużycie w ciągu ostatnich 5 lat pestycydów,
- zużycie w ciągu ostatnich 5 lat biostymulatorów,

- zagrożenia dla przyszłości gospodarstwa rolnego,
- zamierzenia związane z przyszłością gospodarstwa w ciągu najbliższych 10 lat,
- odniesienie rolnika do praktyki badania pH i wapnowania w miejscowości,
- opinie rolnika nt. roli odczynu gleby i jego regulowania w kontekście ich skutków na działanie nawozów mineralnych i plonowania roślin,
- wskazania rolników nt. ograniczeń i utrudnień stosowania nawożenia wapniowego,
- informacje nt. korzystania z dopłat do zakupu nawozów wapniowych w ostatnich 4 latach,
- informacje o korzystaniu z doradztwa rolnego w kwestii badania pH gleby i jej wapnowania,
- informacje o uczestnictwie w szkoleniach nt. wapnowania gleb,
- informacje o dawkach nawozów azotowych/fosforowych stosowanych w ostatnim roku,
- informacje o dawkach nawozów organicznych stosowanych w ostatnim roku.

Ze wstępnych analiz wynikało, że obok dochodów osiągniętych z gospodarstwa rolnego istotną rolę dla podjęcia decyzji o wapnowaniu odgrywała uprawa konkretnych roślin, np. buraków cukrowych, które wymagają dla prawidłowego rozwoju pH w granicach 6–7 pH. Wskazania respondentów były jednak w przypadku uprawianych roślin bardzo fragmentaryczne i niekompletne co sprawiło, że diagram drzewa kończył się na dwóch podziałach. Zrezygnowano także z wykorzystania czynnika lokalizacyjnego do podziałów drzewa. Rolę położenia gospodarstwa w konkretnym powiecie stosunkowo dobrze opisywały bowiem tabele przestawne, opracowane we wcześniejszych podrozdziałach. Warto jednak nadmienić, że w świetle rankingu predyktorów w gronie pierwszych 10 czynników sprawczych przesądzających o wyborze strategii wapnowania znalazły się: powierzchnie najważniejszych upraw (warzyw, ziemniaków, zbóż i kukurydzy), zużycie w ciągu ostatnich 5 lat nawozów mineralnych NPK, opinie rolnika nt. wpływu wapnowania na działanie nawozów mineralnych i plonowanie roślin oraz odniesienie rolnika do praktyki wapnowania w miejscowości, a także dawki nawozów azotowych/fosforowych stosowane przez rolnika w ostatnim roku. Trzy z wymienionych aspektów wystąpiły na finalnym diagramie drzewa jako kryteria podziału.

Podsumowując wyniki modelu należy stwierdzić, że drzewo interakcyjne pozwoliło ze stosunkowo wysokim prawdopodobieństwem opisać motywy

stosowanych strategii wapnowania. Można stwierdzić, że zaniechanie tego zabiegu statystycznie częściej było odnotowywane w gospodarstwach, które przynosiły rodzinom rolniczym niewielki dochód. W takich sytuacjach decyzje rolników zdawały się być częściej podporządkowane priorytetowi minimalizacji nakładów i wydaje się (co model częściowo potwierdzał), że jednym z pierwszych nakładów, z których rolnicy wówczas rezygnowali, były nakłady na odkwaszanie gleb. Trzeba zauważyć, że nawet w przypadku gospodarstw, przynoszących rolnikom na tle innych źródeł marginalne dochody, doceniano znaczenie kompleksowości zabiegów agrotechnicznych – z wapnowania chętniej rezygnowali ci, którzy zaniechali w ostatnim roku też nawożenia mineralnego, a skłonności tej jeszcze bardziej sprzyjał sceptycyzm wobec pozytywnego wpływu wapnowania na działanie nawozów azotowych. Ale nawet, gdy dochody z rolnictwa nie miały dużego znaczenia, konieczność rozpatrywania nawożenia wapniowego w powiązaniu z nawożeniem mineralnym zdawali się respektować rolnicy, którzy w ostatnim roku stosowali nawozy azotowe bądź fosforowe. Byli to rolnicy systematycznie lub przynajmniej sporadycznie odkwaszający gleby.

Trzeba zauważyć, że strategia sporadycznego odkwaszania była powiązana ze zmniejszeniem zużycia nawozów mineralnych w ostatnich 5 latach, co mogło znajdować swoje wytłumaczenie w pogarszającej się sytuacji ekonomicznej rodziny rolniczej, a w dalszej kolejności ograniczaniu kosztów, m.in. nawożenia wapniowego i mineralnego. Warto przypomnieć także, że wśród maksymalnie 3 czynników ograniczających lub utrudniających stosowanie nawożenia wapniowego rolnicy najczęściej wskazywali w ankiecie na brak środków finansowych na zakup nawozu wapniowego. Należy zwrócić jednak uwagę na fakt, iż w przypadku gospodarstw rolnych, w których dochody z działalności rolniczej miały większe znaczenie w kształtowaniu dochodów rodziny rolnika ogółem, wapnowanie stawało się raczej powszechną praktyką. Można przypuszczać zatem, że bardziej podporządkowaną ekonomicznej zasadzie maksymalizacji efektów.

Niemal 83,0% ankietowanych rolników zdawało się dobrze rozumieć, że zabiegu tego nie można bagatelizować i odkwaszało swoje gleby systematycznie. Z modelu wynikało, że mogły to niekiedy weryfikować plany na przyszłość. Rolnicy odchodzący od produkcji, zamierzający oddać swoje grunty w dzierżawę lub je odłogować, obok wapnowania systematycznego równie często preferowali sporadyczność takich zabiegów. Jednak rolnicy, w których planach uwidaczniała się kontynuacja działalności (osobista lub poprzez następcę), albo myśl o sprzedaży gospodarstwa, doceniali korzyści utrzymania pożądanego odczynu gleby (zarówno dla dalszego gospodarowania, jak i uzyskania dobrej ceny ziemi rolniczej na lokalnym rynku).

9. Efektywność ekonomiczna gospodarstw rolnych o różnym poziomie nawożenia wapniowego gleb

9.1. Wysokość dochodu rolniczego w gospodarstwach o różnym poziomie wapnowania gleb

Wśród kategorii ekonomicznych najczęściej wykorzystywanych do opisu wyników gospodarstwa rolnego należy wymienić jego dochód, zdefiniowany według metodyki FADN jako dochód z gospodarstwa rolnego. Kategoria ta stanowi opłatę za zaangażowanie do działalności gospodarstwa rolnego czynników wytwórczych stanowiących własność rodziny rolniczej, tj. ziemi, pracy i kapitału, jak również opłatę za zarządzanie gospodarstwem i poniesione ryzyko. Jednym z kluczowych pytań postawionych w trakcie prowadzonych analiz ekonomicznych, było pytanie o efektywność nawożenia wapniowego, ze wskazaniem w jaki sposób zabiegi wapnowania wpływały na wyniki ekonomiczne gospodarstw rolnych? Odpowiedź na tak sformułowane pytanie okazała się jednak bardzo trudna. Każde gospodarstwo jest inne, a na kształtowanie dochodu rolniczego wpływ wywiera bardzo dużo czynników, z których część nie jest kwantyfikowalna. Wśród czynników kwantyfikowalnych jedynie część ma odzwierciedlenie w bazie danych FADN. Próbując zbliżyć się do odpowiedzi na pytanie o efektywność ekonomiczną wapnowania, dokonano obliczeń średniej wysokości dochodu rolniczego na 1 ha UR w gospodarstwach o różnym natężeniu stosowania nawozów wapniowych.

Przeprowadzone obliczenia wartości dochodu rolniczego w badanych gospodarstwach rolnych nie wykazały jednoznacznie wyższych nadwyżek przychodów nad kosztami w gospodarstwach stosujących wyższe dawki nawozów wapniowych (tabela 23). Wynikało to z różnorodności badanej populacji gospodarstw, różnych systemów prowadzenia produkcji, uwarunkowań lokalnych (w tym zwłaszcza czynników hydrotermalnych) oraz cech indywidualnych poszczególnych jednostek. Co dość zaskakujące, tendencję do wzrostu dochodu rolniczego wraz ze wzrostem poziomu wapnowania

stwierdzono jedynie w grupie gospodarstw specjalizujących się w produkcji mleka. W przypadku innych typów gospodarstw dochód rolniczy zmieniał się niemonotonicznie wraz ze wzrostem poziomu wapnowania i nie można było wskazać na takim poziomie uogólnienia żadnych prawidłowości przydatnych z punktu widzenia realizowanych badań. Jednocześnie należy zaznaczyć, że wysokości dawki nawozów odkwaszających były kilkukrotnie a nawet kilkudziesięciokrotnie niższe od zaleceń Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w zakresie wapnowania. Niskie dawki nawozów odkwaszających w większości przypadków nie pokrywały nawet strat związanych z wymywaniem wapnia i magnezu przez wody opadowe. Nawożenie odkwaszające na poziomie 100 kg CaO/ha UR nie może bowiem wpłynąć znacząco na zoptymalizowanie odczynu gleby, a tym samym na wysokość uzyskiwanych plonów i wynik ekonomiczny.

Tabela 23. Dochód z gospodarstwa rolnego w zależności od typu produkcji i poziomu wapnowania gleb

Wyszczególnienie	Średnia roczna dawka CaO/ha UR (t)*				Ogółem (zł/ha)
	< 0,01	0,01–0,50	0,50–1,00	> 1,00	
	Średnia wartość dochodu z gospodarstwa (zł/ha UR)**				
Uprawy polowe (1)	3 087	2 834	2 407	2 561	2 806
Uprawy ogrodnicze (2)	21 872	25 706	***	***	22 586
Uprawy trwałe (4)	7 049	7 154	4 827	***	7 015
Krowy mleczne (5)	4 227	4 653	4 986	7 773	4 596
Zwierzęta trawożerne (6)	1 942	3 050	***	***	2 344
Zwierzęta ziarnożerne (7)	12 866	4 283	5 774	5 449	7 429
Mieszane (8)	2 728	2 721	2 776	2 618	2 725
Razem	4 392	3 900	3 286	3 510	3 987

Objaśnienia do tabeli: * średnie wielkości dla okresu 2016–2019; ** średnie wielkości dla okresu 2017–2020, *** brak możliwości publikacji wyników ze względu na zbyt małą liczebność grupy (<15 podmiotów).

Źródło: opracowanie własne na podstawie: danych FADN 2023.

Abstrahując od innych niż nawożenie determinant dochodu z gospodarstwa, wapnowanie gleb jako jeden z elementów agrotechniki na tym poziomie stosowanych dawek nie decydowało zatem samo w sobie o wysokości dochodu uzyskiwanego przez badane gospodarstwa rolne. Analiza wysokości dochodu z gospodarstwa rolnego (zł/ha) nie tylko nie dawała

podstaw do twierdzenia, iż wapnowanie pozytywnie wpływało na wyniki ekonomiczne gospodarstw rolnych, ale wręcz sugerowała prawidłowość odwrotną (tabela 24). W gospodarstwach, w których w latach 2017–2020 nie stosowano nawożenia NPK, dochód rolniczy malał wraz ze zwiększaniem dawek nawozu wapniowego. Z kolei w gospodarstwach stosujących nawożenie NPK zależności między dochodem rolniczym a poziomem wapnowania ponownie miały charakter niemonotoniczny.

Tabela 24. Dochód z gospodarstwa rolnego w gospodarstwach w zależności od poziomu nawożenia NPK i poziomu wapnowania gleb

Wyszczególnienie		Średnia roczna dawka CaO/ha UR (t)*				Ogółem (zł/ha)
		< 0,01	0,01–0,50	0,50–1,00	> 1,00	
		Średnia wartość dochodu z gospodarstwa (zł/ha UR)**				
Średnia roczna dawka NPK/ha UR (dt)**	0,00	5 793	2 375	1 581	1 355	4 919
	0,01–1,00	4 607	3 569	2 874	3 375	4 103
	1,01–3,00	4 065	3 558	3 506	3 360	3 718
	> 3,00	5 326	5 804	2 961	3 748	4 822
Razem		4 392	3 900	3 286	3 510	3 987

Objaśnienia do tabeli: * średnie wielkości dla okresu 2016–2019; ** średnie wielkości dla okresu 2017–2020.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: danych FADN 2023.

Rozpatrując kwestie wapnowania na poziomie ogólnym nie można było wykazać jednoznacznie wpływu tego zabiegu agrotechnicznego na wyniki ekonomiczne gospodarstw mierzone dochodem rolniczym (SE420⁹). Zależności były niemonotoniczne – w wygenerowanych tabelach przestawnych, w których uwzględniono takie aspekty jak typ gospodarstwa czy stosowane przez gospodarstwo dawki NPK, dochód rolniczy zdawał się być luźno związany z praktyką wapnowania: rósł on dla tylko jednego typu gospodarstw (nie tam gdzie się tego spodziewano *a priori*), a rozpatrywany w kontekście intensywności nawożenia NPK także nie dawał argumentów zachęcających do wapnowania. W związku z powyższym podjęto próbę opracowania krokowych modeli liniowej regresji wielorakiej, weryfikując istotność wapnowania jako jednej z determinant dwóch

⁹ Symbole cech stosowane w bazach FADN.

kluczowych kategorii wynikowych: dochodu rolniczego (zł/ha UR) (Y_1) oraz wartości dodanej brutto (zł/ha UR) (Y_2). Liniowy model matematyczny regresji wielorakiej opisuje zależność liniową między zmiennymi niezależnymi X_1, X_2, \dots, X_k a zmienną zależną Y . Model taki może być zapisany w postaci funkcji:

$$Y_t = \sum_{i=1}^k a_i \cdot X_i + u_t$$

gdzie: Y_t – zmienna endogeniczna wyjaśniana przez dane równanie, a_i – szukane parametry, X_i – zmienne objaśniające ($i=1, \dots, k$), u_t – składnik losowy modelu.

Graficznym obrazem powyższej funkcji jest hiperpłaszczyzna w przestrzeni n wymiarowej (gdzie n to liczba zmiennych objaśniających). Parametry modelu regresji są zazwyczaj estymowane metodą najmniejszych kwadratów [Luszniewicz 1977, Zeliaś i inni 2002, Snarska 2005]. Polega ona na takim ich dopasowaniu, aby suma kwadratów reszt otrzymywanych po odjęciu od siebie wartości faktycznych i przewidywanych przez model była minimalna. Zaletą funkcji krokowej regresji wielorakiej, oprócz wyrażania zależności w kategoriach ilościowych, jest możliwość wyodrębnienia grupy zmiennych niezależnych o istotnym związku z badanym zjawiskiem i pominięcia zmiennych, które pozostają nieistotne. Modele takie mają jednak także swoje ograniczenia, tj. zmiennych objaśniających powinno być relatywnie niewiele i nie powinny one być ze sobą nadmiernie skorelowane. Istotną własnością modeli regresji jest to, że mogą one stanowić narzędzie różnego rodzaju modelowania układów przestrzenno-ekonomicznych [Kucharska-Stasiak 2005, Kolanko i Zieliński 1976, Hozer i inni 2002].

O tym, czy utworzono model regresji akceptowalny z punktu widzenia statystyki świadczą wymogi formalne [Welfe 1977, Zeliaś i inni 2002, Snarska 2005, Szaleniec 2008], w szczególności wysoki współczynnik determinacji R^2 (przyjmujący wartości z przedziału od 0 do 1), wysoka wartość statystyki F Fischera-Snedecora oraz poziom istotności każdej ze zmiennych niezależnych ($p \leq 0,05$). Natomiast o modelu akceptowalnym merytorycznie świadczą znaki i wielkości współczynników przy zmiennych niezależnych [Kucharska-Stasiak 2005]. Powinny one być zgodne z aktualną wiedzą i logiką. Zastosowana metoda postępującej regresji krokowej umożliwiła wprowadzenie do modelu tylko tych predyktorów, które istotnie wpływały na rozpatrywane kategorie wynikowe. Opracowując model kształtowania

się dochodu rolniczego (Y_1) wzięto pod uwagę następujące zmienne objaśniające:

- X_1 – jednostkowe nakłady pracy ogółem (godz./ha),
- X_2 – klasa wielkości ekonomicznej gospodarstwa,
- X_3 – średnioroczne nawożenie NPK w latach 2017–2020 (dt/ha),
- X_4 – wskaźnik bonitacji,
- X_5 – powierzchnia użytków rolnych (ha),
- X_6 – jednostkowe koszty ogółem pomniejszone o koszty nawozów (zł/ha),
- X_7 – jednostkowe koszty zakupu CaO w latach 2016–2019 (zł/ha),
- X_8 – średnioroczne nawożenie CaO w latach 2016–2019 (t/ha).

Jak wynikało z procedury regresji krokowej, dochód rolniczy (Y_1) w zbiorowości 3 726 gospodarstw determinowały cztery czynniki: praco- (X_1) i kosztocłonność produkcji (X_6) wraz z intensywnością nawożenia NPK (X_3) oraz wielkością ekonomiczną gospodarstwa (X_2)(tabela 25).

Tabela 25. Podsumowanie regresji zmiennej zależnej Y_1

N = 3 726	$R^2 = 0,84$ Popr. $R^2 = 0,84$ F (4,3721) = 4 836,5 p < 0,0000 Błąd std. estymacji: 5 582,9					
	b*	Bł. std.	b	Bł. std.	t(3 721)	P
W. wolny	–	–	-3 893,23	329,70	-11,81	0,0000
X_1 – jednostkowe nakłady pracy ogółem (godz./ha)	0,628	0,010	11,89	0,19	63,22	0,0000
X_2 – klasa wielkości ekonomicznej gospodarstwa	0,060	0,007	834,78	95,61	8,73	0,0000
X_3 – średnioroczne nawożenie NPK w latach 2017–2020 (dt/ha)	0,123	0,007	975,07	56,75	17,18	0,0000
X_6 – jednostkowe koszty ogółem pomniejszone o koszty nawozów (zł/ha)	0,295	0,010	0,09	0,00	30,21	0,0000

Objaśnienia do tabeli: b* – standaryzowany współczynnik regresji; R^2 – współczynnik determinacji; b – współczynnik regresji; F – statystyka Fishera-Snedecora; t – statystyka t-Studenta; p – poziom prawdopodobieństwa.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: danych FADN 2023.

Wykorzystując wyszczególnione powyżej charakterystyki można było wyjaśnić zmienność dochodu rolniczego ze stosunkowo wysoką dokładnością ($R^2=0,84$). Model przechodził pozytywnie zarówno test globalny

$F(4,3721)=4\ 836$; $p<0,0000$, jak i testy t-Studenta dla każdego ze współczynników regresji ($p<0,05$). Jego równanie przyjęło postać następującą:

$$Y_1 = -3\ 893,23 + 11,89 \cdot X_1 + 834,78 \cdot X_2 + 975,07 \cdot X_3 + 0,09 \cdot X_6$$

W świetle interpretacji zestandaryzowanych współczynników regresji najważniejszą determinantą dochodu rolniczego była praco- i kosztochłonność produkcji przeliczona na 1 ha UR. Nawożenie mineralne było nieco mniej znaczącym czynnikiem dochodu, ale ważniejszym od wielkości ekonomicznej gospodarstwa. Nietrudno zauważyć, że w gronie kilku kluczowych predyktorów dochodu rolniczego zabrakło wapnowania. Ani nakłady ponoszone na zakup nawozu wapniowego w latach 2016–2019, ani ilość tego nawozu dawkowanego na pola w analogicznym okresie, nie miały istotnego wpływu na średnie dochody gospodarstw polskiego FADN w latach 2017–2020. Warto jednak nadmienić, że jednostkowe koszty zakupu CaO w latach 2016–2019 (zł/ha) znajdowały się na granicy istotności statystycznej ($p=0,058$). Jak wskazano poprzednio, stosowane w większości gospodarstw niskie dawki nawozów wapniowych lub zbyt rzadko nie były wystarczające, aby istotnie podnieść wartość pH gleby, ze względu na następujące równoległe straty składników zasadowych wynikające z ich wymywania, neutralizacji nawożenia mineralnego oraz odprowadzania z płonem. W takich okolicznościach nawożenie wapniowe generuje koszty, ale nie przyczynia się bezpośrednio do oczekiwanej poprawy efektów produkcyjnych.

9.2. Wyniki ekonomiczne gospodarstw towarowych, specjalizujących się w uprawach polowych w zależności od zastosowanych strategii wapnowania

Ze względu na duże zróżnicowanie cech opisujących badaną zbiorowość gospodarstw rolnych, co znacznie utrudniało poszukiwanie zależności pomiędzy strategiami wapnowania stosowanymi przez gospodarstwa a ich wynikami ekonomicznymi, dokonano zawężenia prowadzonych rozważań do grupy gospodarstw typu 1 (tj. specjalizujących się w uprawach polowych). W gospodarstwach tej grupy dominuje produkcja roślinna, polegająca głównie na produkcji zbóż, roślin oleistych, wysokobiałkowych na nasiona oraz ziemniaków. Ze względu na fakt, iż struktura produkcji w poszczególnych gospodarstwach może się zmieniać, a tym samym mógł-

by się zmieniać typ rolniczy niektórych gospodarstw, do analizy wytypowano podmioty zakwalifikowane do typu 1 w 2018 r. Wstępne analizy wykazały, iż najczęściej stosowaną strategią wapnowania przez badaną grupę gospodarstw były dawki CaO na poziomie nie przekraczającym 2 ton na hektar w całym czteroletnim okresie analizy czyli 0,01–0,50 t CaO/ha/rok. Za niepokojące należy uznać to, iż blisko co trzecie gospodarstwo rolne specjalizujące się w uprawach polowych nie stosowało nawozów wapniowych w latach 2016–2019 lub stosowało je tylko w śladowych ilościach (tabela 26).

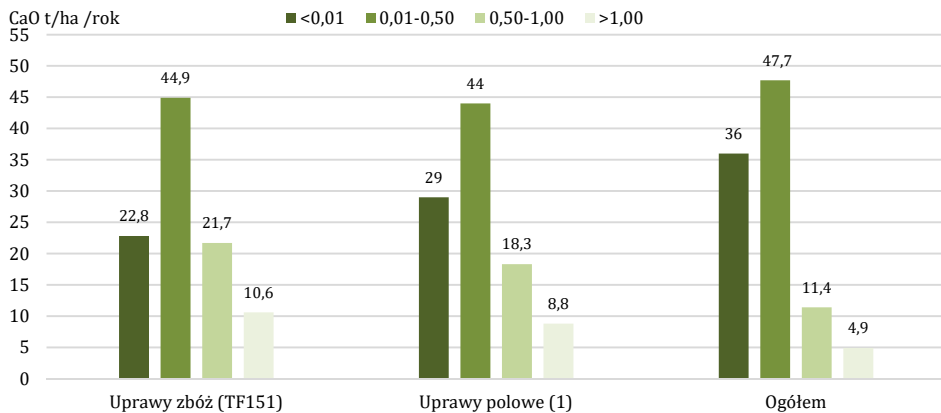
Tabela 26. Struktura towarowych gospodarstw rolnych specjalizujących się w uprawach polowych według powierzchni i stosowanych strategii wapnowania [%]

Powierzchnia gospodarstw** (ha UR)	Średnia roczna dawka CaO/ha UR (t)*				Ogółem (%)
	< 0,01	0,01–0,50	0,50–1,00	> 1,00	
	Struktura gospodarstw rolnych stosujących daną strategię (%)				
< 10	3,4	2,9	0,6***	0,3***	7,2
10–30	13,3	13,3	3,6	1,5***	31,7
30–50	4,6	8,3	2,5	1,5***	16,9
50–100	4,8	10,8	7,2	2,9	25,8
> 100	2,8	8,6	4,3	2,6	18,4
Razem	29,0	44,0	18,3	8,8	100,0

Objaśnienia do tabeli: * średnie wielkości dla okresu 2016–2019; ** średnie wielkości dla okresu 2017–2020; *** grupy wyłączone z dalszej analizy ze względu na zbyt małą liczebność (< 15 gospodarstw).

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych FADN 2023.

Gospodarstwa specjalizujące się w uprawach polowych przykładały większe znaczenie do zabiegu wapnowania niż przeciętne gospodarstwo z całej badanej populacji. O ile wśród 3 726 badanych gospodarstw tylko 16,3% stosowało wapnowanie na poziomie powyżej 0,5 ton CaO/ha/rok, to w grupie 953 gospodarstw specjalizujących się w uprawach polowych było to już 27,1%, a wśród 492 gospodarstw specjalizujących się w produkcji zbóż 32,3% (wykres 25).



Wykres 25. Struktura gospodarstw według wysokości wapnowania (CaO w t/ha/rok) w latach 2016–2019 [%]

Źródło: opracowanie własne na podstawie: danych FADN 2023.

Zaprezentowane poniżej dane wskazują na większą dbałość o odczyn gleb, a pośrednio również na większą świadomość odnośnie znaczenia wapnowania wśród właścicieli gospodarstw o większej powierzchni. O ile w całej grupie gospodarstw specjalizujących się w uprawach polowych udział podmiotów stosujących minimum 2 tony CaO na ha w okresie czteroletnim wynosił 27,1%, to wśród gospodarstw tego typu o powierzchni powyżej 100 ha wynosił już 37,5%. Podobnie wyglądała ta kwestia w grupie największych gospodarstw zbożowych, gdzie udział jednostek zwracających uwagę na wapnowanie gleb wynosił 38% (tabela 27).

Tabela 27. Struktura towarowych gospodarstw rolnych specjalizujących się w uprawach zbóż według powierzchni i stosowanych strategii wapnowania [%]

Powierzchnia gospodarstw** (ha UR)	Średnia roczna dawka CaO/ha UR (t)*				Ogółem (%)
	< 0,01	0,01–0,50	0,50–1,00	> 1,00	
	Struktura gospodarstw rolnych stosujących daną strategię (%)				
< 10	0,6	0,2	0,2	0,0	1,0
10–30	8,3	7,9	3,3	1,2	20,7
30–50	4,5	9,1	2,6	1,6	17,9
50–100	5,3	14,4	9,1	3,7	32,5
> 100	4,1	13,2	6,5	4,1	27,8
Razem	22,8	44,9	21,7	10,6	100,0

Objaśnienia do tabeli: * średnie wielkości dla okresu 2016–2019; ** średnie wielkości dla okresu 2017–2020.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: danych FADN 2023.

Zróżnicowanie skali i struktury produkcji w gospodarstwach rolnych, jak również odmienność warunków przyrodniczych i organizacyjnych bardzo utrudniały śledzenie na bazie wyników masowych wpływu wapnowania na wyniki produkcyjno-ekonomiczne gospodarstw rolnych. Nawet, gdy pod uwagę brano grupę gospodarstw specjalizujących się w produkcji polowej, trudno było doszukać się jednoznacznych prawidłowości (tabela 28).

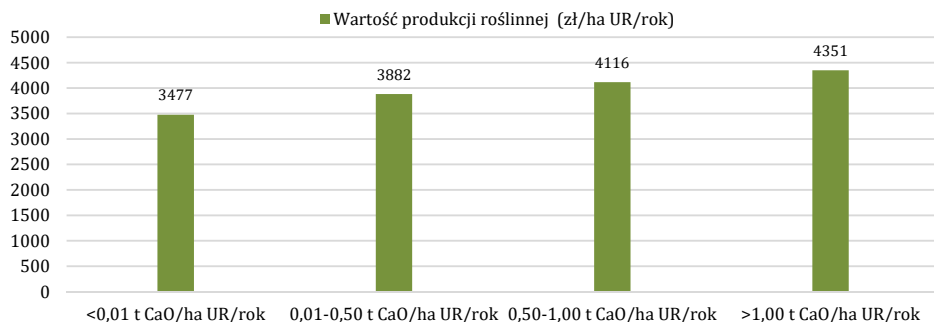
Tabela 28. Średnia wartość produkcji roślinnej gospodarstw rolnych specjalizujących się w uprawach polowych w latach 2016–2020 [zł/ha]

Powierzchnia gospodarstw** (ha UR)	Średnia roczna dawka CaO/ha UR (t)*				Ogółem (zł/ha)
	< 0,01	0,01–0,50	0,50–1,00	> 1,00	
	Średnia wartość produkcji roślinnej – SE135 (zł/ha)				
< 10	9 651	8 818	–***	–***	9 057
10–30	5 445	6 097	5 578	–***	5 776
30–50	5 065	4 383	5 293	–***	4 783
50–100	3 924	4 295	4 680	4 700	4 380
> 100	3 130	4 116	4 301	4 629	4 081
Razem	5 392	5 125	4 929	5 208	5 170

Objaśnienia do tabeli: * średnie wielkości dla okresu 2016–2019; ** średnie wielkości dla okresu 2017–2020; *** grupy wyłączone z dalszej analizy ze względu na zbyt małą liczebność.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: danych FADN 2023.

Podstawowym wnioskiem płynącym z przeprowadzonych na tym etapie analiz jest zmniejszanie się średniej wartości produkcji uzyskiwanej z jednego hektara użytków rolnych wraz ze wzrostem powierzchni gospodarstwa. Prawidłowość taką można było zaobserwować we wszystkich grupach gospodarstw wydzielonych ze względu na wysokość nawożenia wapniowego. Należy także zaznaczyć, iż o ile w gospodarstwach o powierzchni do 50 ha UR brak było podstaw do wskazania, iż poziom nawożenia wapniowego wpływał na wartość produkcji uzyskiwanej średnio z jednego ha UR, to w przypadku gospodarstw o powierzchni 50–100 ha UR oraz powyżej 100 ha UR, średnia wartość produkcji rosła wraz ze wzrostem poziomu nawożenia CaO. Przyczyn takiego stanu rzeczy można było upatrywać m.in. w fakcie większego zróżnicowania struktury produkcji w podmiotach mniejszych, gdzie asortyment uprawianych roślin, a tym samym ich wymagania są bardziej zróżnicowane. W gospodarstwach o większej powierzchni w strukturze produkcji dominują zboża oraz rzepak, czyli rośliny relatywnie bardziej wrażliwe na odczyn gleby, przez co również efekty wapnowania są łatwiej uchwytnie. Potwierdzają to także częściowo dane zaprezentowane na wykresie wartości produkcji gospodarstw specjalizujących się w produkcji zbóż w zależności od zastosowanego poziomu wapnowania (wykres 26).



Wykres 26. Wartość produkcji roślinnej w gospodarstwach prowadzących działalność na powierzchni powyżej 50 ha UR i specjalizujących się w produkcji zbóż w zależności od zastosowanego poziomu wapnowania***

Objaśnienia do wykresu: * średnie wielkości dla okresu 2016–2019; ** średnie wielkości dla okresu 2017–2020.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: danych FADN 2023.

W badanej grupie gospodarstw zbożowych (TF151) średnia wartość produkcji uzyskiwanej z hektara użytków rolnych przez gospodarstwa stosujące w cyklu czteroletnim ponad 4 tony CaO/ha była o 25,1% wyższa niż w gospodarstwach nie stosujących wapnowania (dawka poniżej 0,01 t CaO/ha UR). Zaobserwowane prawidłowości ulegały jednak zniekształceniu, gdy analiza prowadzona była przy wykorzystaniu innych kategorii wyników, tj. wartości dodanej brutto oraz dochodu z gospodarstwa rolnego (tabela 29).

Tabela 29. Wartość dodana brutto w towarowych gospodarstwach rolnych specjalizujących się w uprawach polowych w latach 2017–2020 [zł/ha]

Powierzchnia gospodarstw** (ha UR)	Średnia roczna dawka CaO/ha UR (t)*				Ogółem (zł/ha)
	< 0,01	0,01–0,50	0,50–1,00	> 1,00	
Wartość dodana brutto – SE410 (zł/ha)**					
< 10	6 585	6 905	-***	-***	6 679
10–30	4 346	4 751	3 834	-***	4 457
30–50	3 795	3 123	3 782	-***	3 411
50–100	2 771	3 112	3 096	3 038	3 035
> 100	2 574	2 892	2 719	3 181	2 844
Razem	4 082	3 821	3 335	3 481	3 775

Objaśnienia do tabeli: * średnie wielkości dla okresu 2016–2019; ** średnie wielkości dla okresu 2017–2020; *** grupy wyłączone z dalszej analizy ze względu na zbyt małą liczebność.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: danych FADN 2023.

Przyczyn takiego stanu rzeczy należy upatrywać w złożoności rachunku ekonomicznego w gospodarstwie rolnym. Na wielkość kategorii takich, jak wartość dodana brutto oraz dochód z gospodarstwa rolnego wpływ mają również działalności, gałęzie i działy gospodarstwa, których wyniki ekonomiczne nie są w żaden sposób determinowane przez odczyn gleby, np. pozostała produkcja (m.in. usługi sprzętem rolniczym, usługi agroturystyczne, produkcja uzyskiwana z gruntów leśnych) lub takie, gdzie wpływ ten, o ile w ogóle występuje, to jest niewielki i trudny do określenia, np. produkcja zwierzęca (tabela 30).

Tabela 30. Średnia wartość dochodu rolniczego w towarowych gospodarstwach rolnych specjalizujących się w uprawach polowych w latach 2017–2020 [zł/ha]

Powierzchnia gospodarstw** (ha UR)	Średnia roczna dawka CaO/ha UR (t)*				Ogółem (zł/ha)
	< 0,01	0,01–0,50	0,50–1,00	> 1,00	
	Średnia wartość dochodu z gospodarstwa rolniczego – SE420 (zł/ha)**				
< 10	5 020	5 236	–***	–***	5 093
10–30	3 318	3 491	2 883	–***	3 342
30–50	2 967	2 339	2 653	–***	2 541
50–100	2 026	2 298	2 220	2 282	2 223
>100	1 913	2 146	1 918	2 235	2 069
Razem	3 107	2 834	2 407	2 561	2 806

Objaśnienia do tabeli: * średnie wielkości dla okresu 2016–2019; ** średnie wielkości dla okresu 2017–2020; *** grupy wyłączone z dalszej analizy ze względu na zbyt małą liczebność.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: danych FADN 2023.

Jednocześnie analiza średniej wysokości wartości dodanej brutto, jak i średniej wysokości dochodu z gospodarstwa rolnego uzyskiwanych z jednego ha UR zdecydowanie wskazywały na wyższą dochodowość ziemi w podmiotach o mniejszej powierzchni. Tym samym pozwoliły zaobserwować zmniejszanie się efektywności wykorzystania ziemi wraz ze wzrostem powierzchni gospodarstw, co można wytłumaczyć poziomem intensywności produkcji.

9.3. Znaczenie kompleksowości nawożenia dla osiągniętych wyników ekonomicznych

Europejski Zielony Ład (EZŁ) jest ambitną strategią instytucji Unii Europejskiej, dzięki której gospodarka krajów UE ma być bardziej konkurencyjna i nowoczesna oraz w minimalny sposób wpływać na środowisko naturalne. Do głównych założeń EZŁ należy przede wszystkim osiągnięcie w 2050 r. zerowego poziomu emisji gazów cieplarnianych netto, które powinno być uzyskane w sprawiedliwy i zrównoważony społecznie sposób. Założone cele są niewątpliwie ogromnym wyzwaniem. Ważnym elementem strategii są działania w obszarze gospodarki żywnościowej, która zgodnie z przyjętymi celami i założeniami powinna być bardziej zrównoważona. Obecnie około 30,0% światowej emisji gazów cieplarnianych pochodzi z sektora rolno-spożywczego, wiele do życzenia pozostawia również jakość żywności.

Będąca elementem Europejskiego Zielonego Ładu (EZŁ) strategia „*Od pola do stołu*” stawia sobie za cel zmniejszenie śladu węglowego w unijnym systemie żywnościowym, a także zmianę nawyków żywieniowych obywateli UE przy podniesieniu jakości produktów żywnościowych. Zaproponowane cele ilościowe strategii są mocno krytykowane w szczególności przez środowiska producentów rolnych. I nawet jeżeli podczas ich operacjonalizacji będą modyfikowane i łagodzone, to i tak wskazują bardzo ważny kierunek, w którym będzie się rozwijała produkcja rolna. Trudno będzie je osiągnąć bez zwrócenia większej uwagi na zachowanie potencjału produkcyjnego gleby i jej jakości, w czym powinny pomóc dobre praktyki w zakresie wapnowania gleb. W strategii „*Od pola do stołu*” zaproponowano m.in. następujące cele:

- redukcja środków ochrony roślin (szczególnie tych niebezpiecznych) o 50,0%,
- redukcja stosowania nawozów mineralnych o 20,0%,
- przeznaczenie co najmniej 10,0% gruntów ornych na cele prośrodowiskowe (elementy krajobrazu rolniczego),
- przeznaczenie 25,0% gruntów rolnych pod uprawy ekologiczne.

Jednym ze sposobów na poprawę wykorzystania składników mineralnych zawartych w nawozach mineralnych, a w szczególności azotu i fosforu, jest stosowanie ich przy optymalnym poziomie pH gleby. Dlatego też, w tym fragmencie opracowania zaprezentowane zostaną strategie gospodarstw towarowych specjalizujących się w uprawach polowych i produkcji zbóż w zakresie nawożenia NPK i CaO. Literatura przedmiotu podkreśla znaczenie kompleksowego podejścia do kwestii nawożenia, gdzie nie

tylko ważne są ilości składników pokarmowych dostarczanych roślinom uprawnym, ale również ich wzajemne proporcje, terminy i sposób stosowania [Rutkowska i inni 2002, Piwowar 2013]. Dane statystyki masowej nie dają możliwości pełnej oceny technologii produkcji. Dzięki zastosowanym procedurom obliczeniowym możliwe było natomiast wskazanie najczęściej stosowanych strategii w zakresie wysokości stosowanych dawek nawozowych w okresach czteroletnich. Najczęściej wybieranym rozwiązaniem było stosowanie przez rolników nawożenia NPK przekraczającego 100 kg czystego składnika rocznie oraz niewielkich, bo nie przekraczających 2 tony na cztery lata/ha dawek CaO. Rozwiązanie takie wybrało 28,3% z 953 analizowanych gospodarstw rolnych (tabela 31). Podmiotów, które w większym stopniu doceniały znaczenie wapnowania stosując w okresie czteroletnim ponad 2 t CaO/ha i jednocześnie ponad 100 kg/ha czystego składnika rocznie było 26,4%.

Tabela 31. Struktura towarowych gospodarstw rolnych specjalizujących się w produkcji polowej według stosowanych strategii nawożenia NPK i CaO

Wyszczególnienie		Średnia roczna dawka CaO/ha UR (t)*				Ogółem (%)
		< 0,01	0,01–0,50	0,50–1,00	> 1,00	
		Struktura gospodarstw (%)				
Średnia roczna dawka NPK/ha UR (dt)**	0,00	0,6***	0,1***	0,3***	0,0***	1,0***
	0,01–1,00	4,1	2,9	0,2***	0,2***	7,5
	1,01–3,00	18,3	28,3	9,9	4,1	60,5
	> 3,00	6,0	12,6	7,9	4,5	31,0
Razem		29,0	44,0	18,3	8,8	100,0

Objaśnienia do tabeli: * średnie wielkości dla okresu 2016–2019; ** średnie wielkości dla okresu 2017–2020; *** grupy wyłączone z dalszej analizy ze względu na zbyt małą liczebność.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: danych FADN 2023.

Przy zawężeniu analizowanej grupy gospodarstw do podmiotów specjalizujących się w produkcji zbóż stwierdzono, że udział gospodarstw stosujących dawki nawozów na poziomie 100–300 kg NPK/ha oraz powyżej 300 kg NPK/ha rocznie był zbliżony. W grupie gospodarstw specjalizujących się w uprawie zbóż nieco wyższy był natomiast odsetek gospodarstw doceniających znaczenie wapnowania. Wśród gospodarstw zbożowych, podmiotów stosujących w ciągu roku średnio powyżej 100 kg NPK/ha i równocześnie powyżej 0,5 t CaO/ha było 31,7%, czyli o 5,3 p. p. więcej niż w przypadku całej grupy podmiotów specjalizujących się w uprawach polowych (tabela 32).

Tabela 32. Struktura towarowych gospodarstw rolnych specjalizujących się w produkcji zbóż według stosowanych strategii nawożenia NPK i CaO

Wyszczególnienie		Średnia roczna dawka CaO/ha UR (t)*				Ogółem (%)
		< 0,01	0,01–0,50	0,50–1,00	> 1,00	
		Struktura gospodarstw (%)				
Średnia roczna dawka NPK/ha UR (dt)**	0,00	0,8***	0,2***	0,2***	0,0***	1,2***
	0,01–1,00	1,6***	1,8***	0,2***	0,2***	3,9
	1,01–3,00	15,0	29,1	12,2	5,7	62,0
	> 3,00	5,3	13,8	9,1	4,7	32,9
Razem		22,8	44,9	21,7	10,6	100,0

Objaśnienia do tabeli: * średnie wielkości dla okresu 2016–2019; ** średnie wielkości dla okresu 2017–2020; *** grupy wyłączone z dalszej analizy ze względu na zbyt małą liczebność.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: danych FADN 2023.

Na podstawie przeprowadzonych analiz można było zauważyć, że kluczowymi czynnikami dla wyników produkcyjno-ekonomicznych osiągniętych przez gospodarstwa rolne były wielkość gospodarstwa oraz intensywność produkcji. O intensywności produkcji w pewnym zakresie świadczy również poziom nawożenia NPK. Potwierdzała to średnia wartość produkcji uzyskiwana z jednego hektara przez towarowe gospodarstwa rolne specjalizujące się w produkcji polowej (tabela 33).

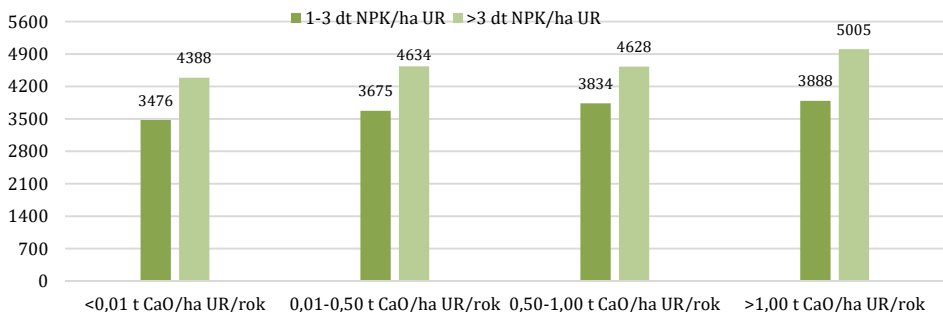
Tabela 33. Średnia wartość produkcji roślinnej w towarowych gospodarstwach rolnych specjalizujących się w uprawach polowych w zależności od stosowanych strategii nawożenia NPK i CaO

Wyszczególnienie		Średnia roczna dawka CaO/ha UR (t)*				Ogółem (zł/ha)
		< 0,01	0,01–0,50	0,50–1,00	> 1,00	
		Średnia wartość produkcji roślinnej – SE135 (zł/ha UR)				
Średnia roczna dawka NPK/ha UR (dt)**	0,00	_***	_***	_***	_***	_***
	0,01–1,00	4 762	4 342	_***	_***	4 598
	1,01–3,00	4 986	4 656	4 657	5 067	4 784
	> 3,00	7 367	6 396	5 353	5 425	6 177
Razem		5 392	5 392	5 125	4 929	5 208

Objaśnienia do tabeli: * średnie wielkości dla okresu 2016–2019; ** średnie wielkości dla okresu 2017–2020; *** grupy wyłączone z dalszej analizy ze względu na zbyt małą liczebność.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: danych FADN 2023.

Na bazie danych masowych, które zakłócone są przez wiele różnorodnych czynników o charakterze przyrodniczym, organizacyjnym oraz zbyt mały zakres stosowanych dawek nawozów odkwaszających, dużo trudniej dostrzec wpływ wapnowania na wartość uzyskiwanej produkcji roślinnej. Jedynie w grupie gospodarstw stosujących od 100 do 300 kg czystego składnika NPK zaobserwowano wzrost średniej wartości produkcji roślinnej wraz ze wzrostem poziomu wapnowania (wykres 27). Tendencja taka była natomiast wyraźnie widoczna w przypadku gospodarstw specjalizujących się w produkcji zbóż i co ważne, można ją było również dostrzec w grupie gospodarstw stosujących dawki NPK na poziomie przekraczającym 300 kg czystego składnika na hektar w ciągu roku. Jest to cenna obserwacja w kontekście prób wykazania efektywności ekonomicznej nawożenia wapniowego. Natomiast z punktu widzenia środowiska i procesów zachodzących w glebie nawet małe dawki CaO mogą mieć duże znaczenie.



Wykres 27. Wartość produkcji roślinnej w gospodarstwach specjalizujących się w produkcji zbóż w zależności od zastosowanego poziomu wapnowania* i nawożenia NPK****

Objaśnienia do wykresu: * średnie wielkości dla okresu 2016–2019; ** średnie wielkości dla okresu 2017–2020.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: danych FADN 2023.

Koszty nawozów mineralnych stanowią ważny element bezpośrednich kosztów produkcji. Z ponoszeniem kosztów wiąże się również stosowanie w gospodarstwie rolnym nawozów wapniowych. Ocena efektywności ekonomicznej nawożenia wapniem jest utrudniona, m.in. ze względu na to, że ten zabieg agrotechniczny oddziałuje nie tylko na roślinę, przed uprawą której jest stosowany, ale również na rośliny następcze. Dlatego w ekonomice rolnictwa traktowany jest jako koszt pośredni. Pomimo uwzględnienia w prowadzonych analizach okresów czteroletnich, nie udało się jednoznacznie wykazać, że wapnowanie gleb jest efektywne ekonomicznie.

Zarówno w przypadku analizy kształtowania się wartości dodanej brutto, jak i dochodu z gospodarstwa rolnego, brak było wyraźnych prawidłowości w tym zakresie (tabela 34 i 35).

Tabela 34. Wartość dodana brutto w towarowych gospodarstwach rolnych specjalizujących się w uprawach polowych w zależności od stosowanych strategii nawożenia NPK i CaO

Wyszczególnienie		Średnia roczna dawka CaO/ha UR (t)*				Ogółem (zł/ha UR)
		< 0,01	0,01–0,50	0,50–1,00	> 1,00	
		Wartość dodana brutto gospodarstwa – SE410				
Średnia roczna dawka NPK/ha UR (dt)**	0,00	_***	_***	_***	_***	_***
	0,01–1,00	4 374	4 276	_***	_***	4 390
	1,01–3,00	3 689	3 607	3 253	3 621	3 575
	> 3,00	5 153	4 213	3 375	3 342	4 055
Razem		4 082	3 821	3 335	3 481	3 775

Objaśnienia do tabeli: * średnie wielkości dla okresu 2016–2019; ** średnie wielkości dla okresu 2017–2020; *** grupy wyłączone z dalszej analizy ze względu na zbyt małą liczebność.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: danych FADN 2023.

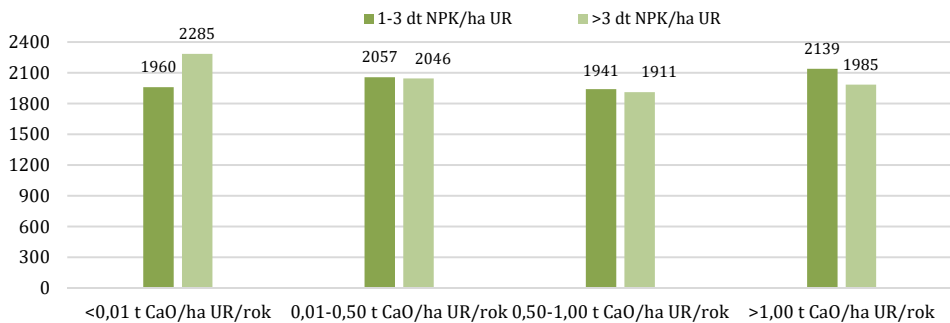
Tabela 35. Średnia wartość dochodu rolniczego w towarowych gospodarstwach rolnych specjalizujących się w produkcji polowej w zależności od stosowanych strategii nawożenia NPK i CaO

Wyszczególnienie		Średnia roczna dawka CaO/ha UR (t)*				Ogółem (zł/ha UR)
		< 0,01	0,01–0,50	0,50–1,00	> 1,00	
		Średnia wartość dochodu z gospodarstwa – SE420				
Średnia roczna dawka NPK/ha UR (dt)**	0,00	2 607***	1 234***	1 855***	_***	2 244***
	0,01–1,00	3 523	3 232	4 107***	2 744***	3 403
	1,01–3,00	2 783	2 730	2 380	2 777	2 692
	> 3,00	3 863	2 988	2 418	2 356	2 920
Razem		3 107	2 834	2 407	2 561	2 806

Objaśnienia do tabeli: * średnie wielkości dla okresu 2016–2019; ** średnie wielkości dla okresu 2017–2020; *** grupy wyłączone z dalszej analizy ze względu na zbyt małą liczebność.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: danych FADN 2023.

Opisywana w poprzednim akapicie sytuacja mogła być spowodowana m.in. powszechnym stosowaniem zbyt niskich dawek nawozów wapniowych, które nie pokrywały strat wapnia i magnezu powstających w wyniku wymywania ich przez wody opadowe. Również w przypadku gospodarstw specjalizujących się w produkcji zbóż nie stwierdzono wyraźnej, monotonicznej zależności pomiędzy uporządkowanymi rosnąco dawkami nawozu wapniowego a osiąganym przy danym poziomie nawożenia mineralnego dochodem rolniczym w przeliczeniu na 1 ha UR. Przeprowadzone analizy nie dały jednak podstawy do twierdzenia, że takiego wpływu nie ma. Złożoność zjawiska oraz brak możliwości kwantyfikowania w prowadzonych analizach takich elementów, jak typ skały macierzystej, warunki przyrodnicze i hydrotermalne wraz z aspektami organizacji gospodarstwa, niewątpliwie zakłócały proces wnioskowania (wykres 28).



Wykres 28. Wysokość dochodu rolniczego w gospodarstwach** specjalizujących się w produkcji zbóż w zależności od zastosowanego poziomu wapnowania* i nawożenia NPK**

Objaśnienia do wykresu: * średnie wielkości dla okresu 2016–2019; ** średnie wielkości dla okresu 2017–2020.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: danych FADN 2023.

Reasumując można stwierdzić, że kompleksowe stosowanie nawozów mineralnych i nawozów wapniowych sprzyjało produktywności ziemi mierzonej średnią wartością produkcji z jednego hektara. Widoczne było to szczególnie w przypadku gospodarstw specjalizujących się w produkcji polowej i produkcji zbóż, o ile stosowały one powyżej 100 kg czystego składnika NPK/ha. Nie udało się natomiast jednoznacznie wykazać pozytywnego wpływu wapnowania na wyniki ekonomiczne gospodarstw rolnych. Wskazywało to na konieczność zastosowania w tym celu innych narzędzi, a być może dokonania studium przypadków z wykorzystaniem szerszej bazy danych niż ta, jaką zapewnia system FADN.

9.4. Znaczenie wapnowania dla efektów produkcji roślinnej w gospodarstwach specjalizujących się w produkcji polowej – próba ujęcia modelowego

Nawiązując do podsumowania wyników poprzednich podrozdziałów podjęto próbę uzyskania bardziej wyczerpującej odpowiedzi nt. efektywności ekonomicznej wapnowania gleb przy wykorzystaniu modelu klasyfikacyjnego drzewa CART. Oczekiwano, że model nieliniowy wyjaśniający zróżnicowanie produkcji roślinnej (SE135) w przeliczeniu na 1 ha UR osiąganą przez towarowe gospodarstwa wyspecjalizowane w uprawach polowych, ujawni bardziej subtelne zależności pomiędzy tą zawężoną kategorią wynikową działalności rolniczej a wapnowaniem. Na potrzeby modelu¹⁰ zmienna objaśniana mająca charakter ilościowy ciągły, została przetworzona poprzez kwartyłowy podział na 4 klasy zbiorowości gospodarstw uporządkowanej rosnąco, ze względu na wartość produkcji roślinnej.

Zmienna objaśniana, tj. wartość produkcji roślinnej (Y) miała zatem charakter jakościowy i przyjmowała cztery stany: 1 – niska (0–2500 zł/ha), 2 – przeciętna (2500–5000 zł/ha), 3 – duża (5000–10 000 zł/ha), 4 – bardzo duża (>10 000 zł/ha). Przetworzono także wszystkie zmienne objaśniające o charakterze ilościowym użyte w modelach regresji prezentowanych w rozdziale 9.2. W przypadku ilościowych zmiennych opisujących nawożenie mineralne i wapnowanie (X_3 , X_8) zastosowano klasyfikację przyjętą w poprzednich rozdziałach i konsekwentnie stosowaną w dalszych częściach pracy. W odniesieniu do zmiennej X_4 zastosowano podział zgodny z opracowaniem Dacko i inni [2019] (tabela 36).

Opracowując model drzewa klasyfikacyjnego CART przyjęto, że: koszty błędnych klasyfikacji będą równe, dobroć dopasowania będzie oceniana według miary Giniego, regułą stopu będzie przycinanie przy błędzie złej klasyfikacji, węzły końcowe będą składać się z co najmniej 10 obserwacji, kontrola jakości uzyskiwanych wyników nastąpi przy wykorzystaniu V-krotnego sprawdzianu krzyżowego dla $V=10$.

¹⁰ W pakiecie Statistica zainstalowanym na komputerze IERiGŻ klasyfikacyjny model drzewa CART był dostępny jedynie w najprostszej postaci i miał swoje ograniczenia: mógł bazować jedynie na predyktorach nominalnych lub porządkowych.

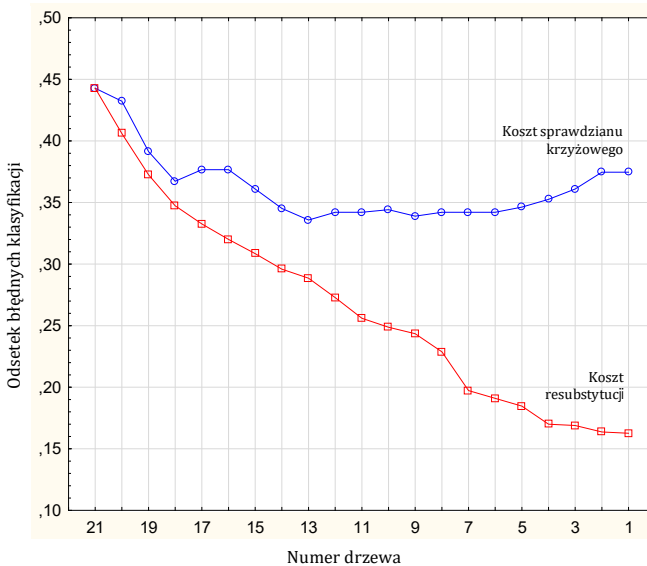
Tabela 36. Charakterystyka predyktorów wykorzystanych w modelu drzewa CART

Kod i nazwa zmiennej		Wariant	Opis
X ₁	jednostkowe nakłady pracy ogółem (godz./ha)	niskie (1) przeciętne (2) duże (3)	< 50 50–100 > 100
X ₂	klasa wielkości ekonomicznej gospodarstwa	b. małe (1) małe (2) średniomałe (3) średnioduże (4) duże (5) b. duże (6)	według FADN
X ₃	średnioroczne nawożenie NPK w latach 2017–2020 (dt/ha)	brak (1) umiarkowane (2) duże (3) bardzo-duże (4)	0,00 0,01–1,00 1,00–3,00 > 3,00
X ₄	wskaźnik bonitacji	gleby słabe (1) gleby średnie (2) gleby dobre (3) gleby bardzo dobre (4)	< 0,8 0,8 do 1,2 1,2 do 1,6 > 1,6
X ₅	powierzchnia użytków rolnych (ha)	bardzo mała (1) mała (2) średnia (3) duża (4) b. duża (5)	< 10 10–30 30–50 50–100 > 100
X ₆ *	jednostkowe zużycie pośrednie pomniejszone o koszty nawozów (zł/ha)	niskie (1) przeciętne (2) duże (3) b. duże (4)	< 1 000 1 000–2 000 2 000–4 000 > 4 000
X ₇	jednostkowe koszty zakupu CaO w latach 2016–2019 (zł/ha)	brak (1) przeciętne (2) duże (3) b. duże (4)	0 0,1–200,0 200,1–400,0 > 400
X ₈	średnioroczne nawożenie CaO w latach 2016–2019 (t/ha)	brak (1) niskie (2) umiarkowane (3) wysokie (4)	<0,01 0,01–0,50 0,50–1,00 >1,00
X ₉	udział powierzchni zbóż i pozostałych upraw polowych w powierzchni UR (%)	niski (1) umiarkowany (2) wysoki (3) b. wysoki (4)	< 50,0 50,0–70,0 70,0–90,0 > 90

Objaśnienia do tabeli: * zmodyfikowany wskaźnik kosztocłonności

Źródło: opracowanie własne na podstawie: danych FADN 2023.

Przy powyższych ustawieniach algorytm CART wygenerował sekwencję 21 drzew klasyfikacyjnych o rosnącej złożoności (wykres 29) automatycznie typując optymalne drzewo (nr 13) jako drzewo spełniające zasadę jednego odchylenia standardowego. W myśl tej zasady wybierane jest drzewo o możliwie najmniejszej ilości węzłów końcowych, przy czym koszty sprawdzianu krzyżowego oszacowane dla tego drzewa nie powinny różnić się od minimalnych kosztów tego sprawdzianu w sekwencji drzew o więcej niż jedno odchylenie standardowe [Sroka i Dacko 2010]. Odsetek błędnych klasyfikacji w finalnym drzewie ukształtował się na poziomie 29,0% i uznano go za akceptowalny, biorąc pod uwagę eksploracyjny (a nie predykcyjny) charakter modelu oraz złożoność badanego zjawiska. Autorzy mieli świadomość, że niektóre istotne determinanty produkcji roślinnej (np. lokalne warunki hydrotermalne lub choćby wiedza i doświadczenie właściciela gospodarstwa) pozostawały poza polem obserwacji statystycznej.



Wykres 29. Sekwencja kosztów dla drzew klasyfikacyjnych CART

Źródło: opracowanie własne na podstawie: danych FADN 2023.

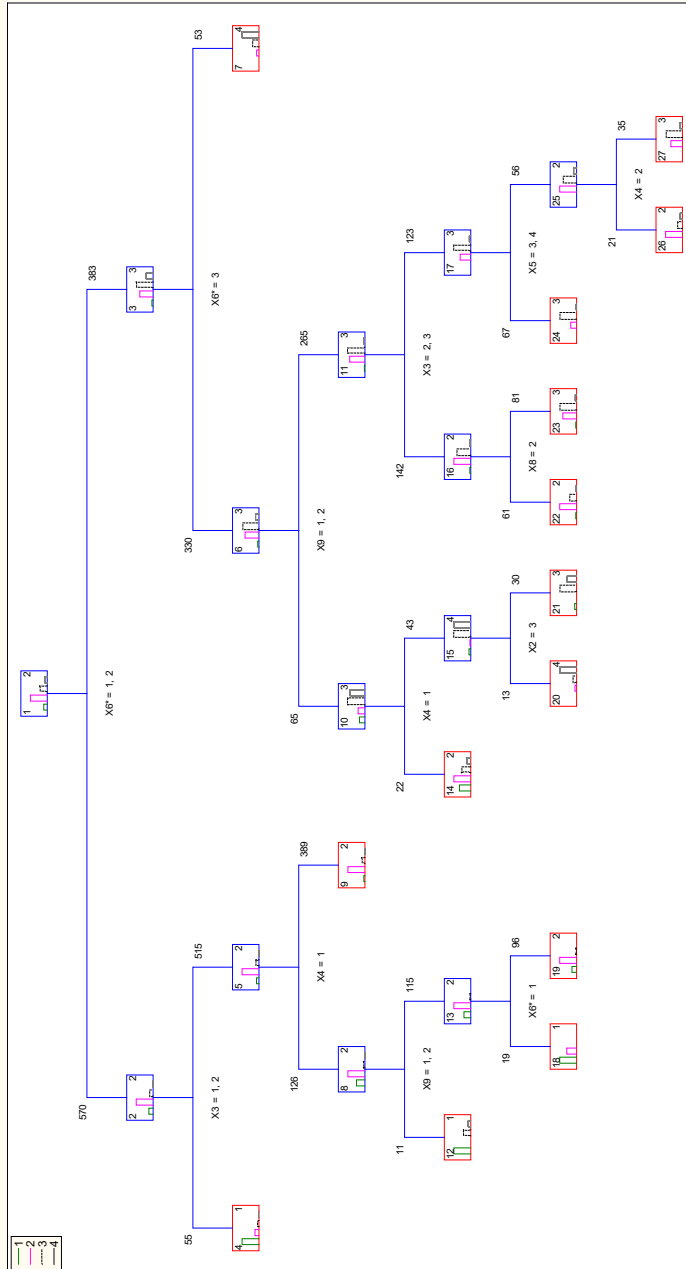
Finalny model drzewa CART posiadał 13 węzłów dzielonych oraz 14 węzłów końcowych. W kolejnych podziałach diagram tego drzewa przedstawiał rolę poszczególnych zmiennych w kształtowaniu się wartości produkcji roślinnej gospodarstw towarowych pozostających w polu obserwacji polskiego systemu FADN. Nietrudno zauważyć, że aż trzykrotnie w podziałach wykorzystana została kosztchłonność produkcji (zmienna X_6^*), zgodnie z logiką: im wyższa kosztchłonność, tym wyższa wartość produkcji roślinnej. Trzykrotnie

podział odbył się także wg skategoryzowanego wskaźnika bonitacji (zmienna X_4), co podkreślało dużą rolę jakości gleb jako czynnika różnicującego wartość produkcji roślinnej w przeliczeniu na 1ha UR w gospodarstwach towarowych.

Dwukrotnie podziały odbywały się wg zmiennych X_3 oraz X_9 , tj. intensywności nawożenia mineralnego oraz udziału powierzchni zbóż i pozostałych upraw polowych w powierzchni UR danego gospodarstwa. Generalnie oba czynniki przyjmując wyższe oceny sprzyjały wyższej wartości modelowanej zmiennej. W głębszych podziałach drzewa zaobserwować też można było podział wg zmiennej X_2 (wielkość ekonomiczna). Wynikało z niego, że statystycznie częściej wysoką jednostkową wartość produkcji roślinnej uzyskiwały gospodarstwa średniomale ($X_2=3$). Z kolei podział wg zmiennej X_5 (powierzchnia UR) wskazywał, że gospodarstwa dysponujące dużą i bardzo dużą powierzchnią UR uzyskiwały lepszy wynik niż pozostałe gospodarstwa (rysunek 30).

Tłumacząc głębsze podziały modelu drzewa należy mieć na uwadze, że przed nimi zachodził szereg innych warunków. Jest to istotne również w odniesieniu do zabiegu wapnowania (zmienna X_8), który pojawił się w głębokim podziale prezentowanego drzewa. Parafrazując można powiedzieć, że wapnowanie było istotne „*pod warunkiem że...*” oraz było ono przydatnym predyktorem dla wyjaśnienia zróżnicowania wartości produkcji w pewnej węższej grupie gospodarstw. A zatem czytając diagram od góry można stwierdzić, że w gospodarstwach o dużej kosztochłonności produkcji ($X_6^*=3$) oraz o dużym i bardzo dużym udziale powierzchni zbóż i pozostałych upraw polowych w powierzchni UR ($X_9=3, 4$) przy średniorocznym nawożeniu NPK w latach 2017–2020 od 0,01 do 3,0 dt/ha ($X_3=2, 3$), istotne okazało się średnioroczne nawożenie CaO w latach 2016–2019. Rolnicy, którzy stosowali dawkę wapna 0,01–0,50 t/ha ($X_8=2$) osiągnęli zwykle przeciętną wartość produkcji roślinnej, podczas gdy rolnicy stosujący wyższe dawki ($X_8=3, 4$) osiągnęli relatywnie częściej dużą wartość produkcji roślinnej/ha.

Model drzewa CART potwierdzał obserwacje dokonane przy wykorzystaniu modeli liniowej regresji wielorakiej. Także i tym razem wapnowanie nie należało do grona czynników kluczowych i nawet, gdy badania zawężono do zbiorowości gospodarstw wyspecjalizowanych w uprawach polowych oraz skoncentrowano się na kategorii wartości produkcji roślinnej, koszt zakupu nawozu wapniowego oraz stosowane dawki tego nawozu były w modelu drzewa na tle pozostałych zmiennych najmniej istotnymi czynnikami. Ranking ważności predyktorów wskazywał na bardzo duże znaczenie kosztochłonności produkcji (X_6^*), a następnie udziału powierzchni zbóż i pozostałych upraw polowych w powierzchni UR (X_9) oraz nawożenia mineralnego (X_3) i jakości gleb (X_4). Pozostałe cechy w prezentowanym modelu miały relatywnie mniejsze znaczenie.



Rysunek 30. Diagram drzewa klasyfikacyjnego CART dla wartości produkcji roślinnej

Objaśnienia do tabeli: * zmodyfikowany wskaźnik kosztocłonności

Źródło: opracowanie własne na podstawie: danych FADN 2023.

Podsumowanie

W rolnictwie zasadniczą rolę odgrywa gleba, która stanowi specyficzne środowisko wzrostu i rozwoju roślin, a tym samym wpływa na jakość i ilość surowców wykorzystywanych w produkcji żywności. W sytuacji intensywnej produkcji rolnej właściwości gleb mają jednocześnie bardzo duży wpływ na jakość wód, zarówno powierzchniowych, jak i podziemnych. Jednym z podstawowych parametrów gleby jest jej odczyn, który odgrywa bardzo dużą rolę decydując, zarówno o wynikach ekonomiczno-produkcyjnych rolnictwa, jak i wpływie prowadzonej produkcji na środowisko. Optymalnym odczynem gleby dla większości uprawianych w Polsce roślin jest odczyn słabo kwaśny i obojętny ($\text{pH}=6,0\text{--}7,0$). Niestety większość gleb na terenie Polski to gleby o odczynie kwaśnym i bardzo kwaśnym o $\text{pH}<6,0$.

Zakwaszenie gleb związane jest z genezą skał macierzystych, z których się wytworzyły. W okresie plejstocenu większość powierzchni naszego kraju (ponad 90,0%) została pokryta silnie przemytymi przez wody bezwęglanowymi osadami polodowcowymi. Oprócz braku węglanów w skałach macierzystych na zakwaszenie gleb wpływa także intensywna produkcja rolna sprzyjająca wymywaniu kationów (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+), a tym samym dekalcytacji gleb. Czynnikiem wywołującym zakwaszenie są także stosowane w produkcji rolnej nawozy zawierające azotany, chlorki, siarczany, rozkład materii organicznej z resztek poźniwnych, odprowadzanie jonów wapnia i magnezu z plonem, spalanie paliw stanowiących źródło kwasotwórczych tlenków siarki i azotu.

Szacunkowo ubytek składników zasadowych, określony jako ekwiwalent CaO na 1 ha użytków rolnych, można określić na poziomie 350–450 kg w skali roku. Straty te powinny zostać uzupełnione poprzez dobranie odpowiedniego poziomu nawożenia odkwaszającego, uwzględniającego nie tylko skompensowanie zjawiska dekalcytacji, ale również doprowadzenie gleby do optymalnego (dla uprawianych gatunków roślin) poziomu pH . Należy zaznaczyć, że zależności te są powszechnie znane i zostały szeroko opisane w literaturze naukowej i popularno-naukowej. Mimo tego, jak wykazały wyniki *Powszechnego Spisu Rolnego 2020*, prowadzone badania oraz przytaczane w niniejszym opracowaniu wyniki badań naukowych innych

autorów, poziom wapnowania gleb w Polsce jest w dalszym ciągu znacząco za niski i niewystarczający, a bardzo duża część gleb wykorzystywanych do produkcji rolnej to gleby kwaśne. Zoptymalizowanie odczynu gleb wykorzystywanych rolniczo ma duże znaczenie z punktu widzenia dostosowania rolnictwa do standardów polityki ekologicznej i rolnej Unii Europejskiej.

Wzrost oczekiwań wobec poziomu życia i stopnia zaspokojenia potrzeb, rosnącej populacji ludności świata wymuszają poszukiwania nowych, lepszych sposobów na wykorzystywanie kurczących się zasobów naturalnych. Wiodącą rolę w poszukiwaniu nowych technologii, jak również w poszukiwaniu rozwiązań mających ograniczać negatywny wpływ człowieka na środowisko odgrywają kraje wysoko rozwinięte. Wynika to zarówno z posiadanego przez nie potencjału gospodarczego, w tym potencjału intelektualnego i technologii, jak również z chęci kreowania innowacyjnych rozwiązań mających być swoistym przykładem dla pozostałej części świata. Również kraje Unii Europejskiej próbują poszukiwać rozwiązań, które zgodne z koncepcją zrównoważonego rozwoju zabezpieczą możliwości trwałego i stabilnego rozwoju przyszłym pokoleniom. Ich odpowiedzią na coraz wyraźniej obserwowany globalny kryzys klimatyczny oraz postępujące i przybierające na sile procesy degradacji środowiska ma być m.in. koncepcja tzw. Europejskiego Zielonego Ładu. Zgodnie z nią UE ma zostać przekształcona w sprawiedliwe i prosperujące społeczeństwo, funkcjonujące w nowoczesnej, przyjaznej dla środowiska naturalnego konkurencyjnej gospodarce. Realizacja celów i polityki Europejskiego Zielonego Ładu w dużej mierze dotyczy również gospodarki rolnej i obszarów wiejskich, co znalazło swoje odzwierciedlenie m.in. w *Planie Strategicznym dla Wspólnej Polityki Rolnej na lata 2023–2027*. Podjęte badania oraz postawione w niniejszej monografii rekomendacje wpisują się w realizację szeregu celów tego dokumentu, tj.:

- zwiększenie efektywności ekonomicznej gospodarstw rolnych,
- zapewnienie bezpieczeństwa żywnościowego kraju,
- poprawę konkurencyjności gospodarstw na rynku,
- wspieranie zrównoważonego rozwoju w aspekcie ochrony wód powierzchniowych i podpowierzchniowych,
- przyczynienie się do zahamowania procesu utraty bioróżnorodności wywołanej zanieczyszczeniami pochodzącymi z rolnictwa.

Przeprowadzone analizy wykazały, że przyczyny niskiego poziomu wapnowania są złożone i można je podzielić na: społeczne, technologiczne, logistyczno-techniczne oraz ekonomiczne. Jednocześnie warto podkreślić, iż występowanie poszczególnych barier ograniczających wapnowanie jest

uzależnione od wielu cech gospodarstwa rolnego i jego użytkownika. Na podstawie uzyskanych wyników badań można jednak przyjąć, że bariery te częściej objawiają się w gospodarstwach mniejszych, słabszych ekonomicznie, gdzie produkcja rolnicza stanowi dodatkowe, a nie główne źródło dochodów. W grupie czynników społecznych należy wskazać następujące przyczyny niewystarczającego poziomu wapnowania:

- brak ugruntowanej wiedzy z zakresu poprawnej agrotechniki nawożenia w prowadzonych uprawach rolnych,
- brak wiedzy na temat efektywności ekonomicznej nawożenia wapniowego,
- relatywnie niska świadomość rolników w zakresie znaczenia zakwaszenia gleb dla procesów eutrofizacji wód,
- błędne przekonanie, że wapnowanie gleb nie spowoduje podwyższenia plonów roślin,
- dziedziczone po poprzednich pokoleniach przyzwyczajenia,
- ograniczone możliwości lub brak chęci podnoszenia kwalifikacji zawodowych wśród rolników.

Do czynników technologicznych, logistycznych i technicznych, które wpływają na niski poziom wapnowania gleb, zaliczyć można:

- duże rozdrobnienie gospodarstw rolnych,
- niekorzystny rozłóg gruntów rolnych w gospodarstwie, podnoszący koszty produkcji i utrudniający organizację pracy,
- konieczność poświęcenia czasu na pobranie prób glebowych oraz dostarczenie ich do stacji chemiczno-rolniczych w celu określenia potrzeb wapnowania,
- brak zaplecza technicznego, maszynowego pozwalającego rolnikowi samodzielnie stosować nawozy wapniowe,
- brak natychmiastowego efektu zwiększenia plonów po zastosowaniu nawożenia odkwaszającego, tak jak to może być obserwowane w przypadku innych zabiegów nawożenia, np. azotowego.

Jednak do najważniejszych ograniczeń wapnowania gleb należą czynniki ekonomiczne, tj.:

- ograniczone zasoby finansowe gospodarstw rolnych,
- wyzwania w zakresie optymalizacji kosztów zabiegu wapnowania, w tym konieczność jednorazowego zakupu większych ilości nawozów odkwaszających, w celu minimalizacji jednostkowych kosztów transportu,
- wzrost cen zakupu nawozów odkwaszających,
- wzrost kosztów związanych z aplikacją nawozów.

Biorąc pod uwagę częstotliwość wapnowania stwierdzono, że istnieją dwie kluczowe bariery ograniczające wykorzystanie nawozów odkwaszających wśród rolników stosujących ten zabieg sporadycznie lub wcale – brak środków na zakup nawozu oraz brak sprzętu do jego rozsiewania. W grupie rolników systematycznie wapnujących gleby, częściej najważniejszymi przeszkodami w wapnowaniu były: brak firm świadczących usługi wapnowania, brak szkoleń oraz ograniczona dostępność nawozów wapniowych. Z kolei rolnicy sporadycznie wapnujący swoje grunty, zwracali częściej uwagę na małą skalę produkcji oraz rozdrobnienie gruntów. Wyniki badań utwierdzają jednocześnie Autorów w przekonaniu, że struktura agrarna na danym obszarze, charakter prowadzonej produkcji w gospodarstwie oraz posiadana wiedza są bardzo istotne dla decyzji podejmowanych przez rolników w zakresie wapnowania.

Jednocześnie należy stwierdzić, że wiedza i świadomość rolników na temat znaczenia wapnowania są bardzo zróżnicowane. Wraz ze wzrostem wielkości gospodarstwa oraz wzrostem jego znaczenia dla poziomu życia rodziny podlega ono profesjonalizacji, wzrasta również dbałość o jakość czynnika produkcji jakim jest ziemia. Tym samym obserwuje się większy odsetek gospodarstw systematycznie stosujących wapnowanie wśród podmiotów o większej powierzchni oraz uzyskujących dochody głównie z rolnictwa. Zdecydowanie większą wiedzą w zakresie znaczenia wapnowania dysponowali rolnicy prowadzący swą działalność na większym areale oraz czerpiący dochody głównie z działalności rolniczej. Wiedza na temat wapnowania nie była (zdaniem rolników) przekazywana im podczas szkoleń czy kursów. Bliższa połowa z ankietowanych 433 rolników deklarowała, iż nigdy nie uczestniczyła w szkoleniach obejmujących szeroko rozumianą tematykę wapnowania gleb. Prawie 1/5 respondentów nie pamiętała czy informacje dotyczące dotacji do wapnowania gleb były im przekazywane. Rolnicy, którzy nigdy nie uczestniczyli w kursach czy szkoleniach informujących o efektach i korzyściach z wapnowania gleb, zwykle też nie wykonywali takich zabiegów agrotechnicznych w swoich gospodarstwach lub wykonywali je sporadycznie. Odmiennie zdanie w tej kwestii prezentowali eksperci – doradcy rolni z wszystkich badanych województw. Podkreślali oni bowiem, że tematyka związana z wapnowaniem gleb, w tym z kwestiami dotacji do zakupu wapna nawozowego była omawiana w trakcie szkoleń z rolnikami, nawet jeżeli szkolenie bezpośrednio nie dotyczyło problematyki odkwaszania gleb.

Należy podkreślić, że świadomość decydentów na temat znaczenia wapnowania gleb w plonowaniu roślin oraz dużych braków praktycznych w zakresie stosowania nawozów wapniowych przez rolników doprowadziła do

powstania i wdrożenia od 2019 r. *Ogólnopolskiego programu regeneracji środowiskowej gleb poprzez ich wapnowanie*, który jest obecnie jedynym narzędziem bezpośredniego wsparcia finansowego rolników w zakresie stosowania nawozów odkwaszających gleby. Z przeprowadzonych badań wynika jednak, że 25,0% respondentów i ponad 30,0% ekspertów nie słyszało o tym programie, a tym samym o możliwościach skorzystania z dopłat do zakupu nawozów wapniowych. Pojawiają się zatem pytanie: dlaczego tak się dzieje? Jak wykazały odpowiedzi respondentów, do najważniejszych ograniczeń eliminujących ich z możliwości ubiegania się o dofinansowanie w ramach *Ogólnopolskiego programu regeneracji środowiskowej gleb poprzez ich wapnowanie* należały:

- limit powierzchni dla gospodarstw chcących skorzystać z dofinansowania, który wykluczył ze wsparcia podmioty o większej powierzchni (29,1% rolników i 28,3% ekspertów); barierę tą wskazywali zwłaszcza rolnicy, którzy systematycznie stosowali nawożenie wapniowe w swoich gospodarstwach; eksperci zaznaczyli przy tym, iż ograniczenia te dotyczyły przede wszystkim rolników z województwa zachodniopomorskiego, czy opolskiego, prowadzących duże gospodarstwa rolne nastawione na maksymalizację produkcji rolnej,
- konieczność skompletowania wszystkich niezbędnych dokumentów obowiązujących przy złożeniu wniosku na dofinansowanie zadań w ramach Programu (27,9% rolników i 26,5% ekspertów),
- kierowanie programu tylko do podmiotów gospodarujących na glebach o $\text{pH} < 5,5$ (25,4% rolników i 14,2% ekspertów),
- konieczność elektronicznego wypełnienia wniosku o wsparcie wapnowania regeneracyjnego gleb (12,5% rolników i 20,6% ekspertów),
- niewystarczający zdaniem części respondentów poziom dofinansowania wapnowania (11,1% rolników).

Jak wynikało z analizy danych systemu FADN, zaledwie co szóste z badanych gospodarstw towarowych stosowało nawożenie wapniowe na poziomie przekraczającym 2 t/ha użytków rolnych w ciągu czterech lat. Wyniki analiz wskazały, że były to na ogół podmioty doceniające znaczenie kompleksowego nawożenia, o czym świadczyło łączenie wapnowania z relatywnie wyższymi dawkami NPK. Takie gospodarstwa realizowały strategię maksymalizacji efektów gospodarowania. Zarazem odnotowano istnienie znacznego odsetka gospodarstw, w których racjonalność ekonomiczna najwyraźniej zdawała się być podporządkowana strategii minimalizacji nakładów: niemal co 5 gospodarstwo uczestniczące w FADN w ciągu 11 lat nie zakupiło nawozów wapniowych. W kontekście identyfikacji barier wapno-

wania nasuwało się oczywiste pytanie: jakimi argumentami można usprawiedliwić takie zaniechania w działalności rolniczej wobec powszechnej opinii o pozytywach wapnowania? Studiując dane FADN stwierdzono, że można to wytłumaczyć nie tylko sytuacją materialną skutkującą brakiem środków na zakup takich nawozów. Powodem mogło być też opóźnienie czasowe efektów wapnowania, a także mnogość i synergia innych, bardziej istotnych determinant wyniku działalności rolniczej, a zwłaszcza jej składowej w postaci produkcji roślinnej. I faktycznie: jak wynikało z tabel przestawnych opracowanych na bazie danych FADN, związek między dochodem rolniczym a wapnowaniem wcale nie był taki oczywisty, aby mógł stanowić bodziec do konsekwentnego stosowania nawozów odkwaszających. Zbyt niskie dawki CaO, które niekiedy nie pokrywały strat związanych z dekalcytacją gleb, nie poprawiały właściwości gleby, nie wpływały na plonowanie i w efekcie nie poprawiały wyniku ekonomicznego. W gospodarstwach, w których w latach 2017–2020 nie stosowano nawożenia NPK, dochód rolniczy malał wraz ze zwiększaniem dawek nawozu wapniowego. Natomiast w gospodarstwach stosujących nawożenie NPK, zależności między dochodem rolniczym a poziomem wapnowania miały charakter niemonotoniczny.

Wyniki modeli regresji także nie wskazywały na korzyści wapnowania. Dopiero model drzewa klasyfikacyjnego objaśniającego kształtowanie się wartości produkcji roślinnej osiągananej przez towarowe gospodarstwa wyspecjalizowane w uprawach polowych wskazał na korzyści wapnowania. Jednak nawet w przypadku tego wyrafinowanego narzędzia, o statystycznie istotnych ekonomicznych korzyściach wapnowania można było mówić w pewnej węższej grupie gospodarstw: o dużej kosztochłonności produkcji oraz o dużym i bardzo dużym udziale powierzchni zbóż i pozostałych upraw polowych w powierzchni UR przy średniorocznym nawożeniu NPK w latach 2017–2020 od 0,01 do 3,00 dt/ha. W takich okolicznościach wapnowanie pozwalało osiągać wyższe wartości produkcji roślinnej na hektar. Podsumowując wyniki badań prowadzonych na zbiorach danych FADN uznano, że dane te pomijają zbyt wiele istotnych aspektów determinujących efekty wapnowania (w tym zwłaszcza odczyn gleb i charakterystyki hydrotermalne panujące podczas sezonu wegetacyjnego) w związku z czym nie pozwalają na wskazanie ekonomicznych argumentów przemawiających za wapnowaniem. Efektywniejszym źródłem informacji i przyczynkiem do wnioskowania okazały się przeprowadzone badania ankietowe.

Opracowane w niniejszej ekspertyzie drzewo interakcyjne pozwoliło ze stosunkowo wysokim prawdopodobieństwem opisać motywację stosowa-

nych strategii wapnowania. Zaniechanie tego zabiegu statystycznie częściej było odnotowywane w gospodarstwach, które przynosiły rodzinom rolniczym niewielki dochód, jako działalność dodatkowa. Nie można jednak zapominać o wpływie wapnowania na środowisko i jakość płodów rolnych. Badania potwierdziły, że wapnowanie jest bardzo ważnym zabiegiem agrotechnicznym, który wpływa na ograniczenie odpływu składników mineralnych z gleb, co w konsekwencji ogranicza eutrofizację wód. Z gospodarczego punktu widzenia, skutki zakwaszenia gleb są niekorzystne, ponieważ prowadzą do:

- zmniejszenia przyswajalności składników pokarmowych dla roślin, głównie azotu, fosforu, potasu, magnezu czy siarki,
- zwiększenia ruchliwości niebezpiecznych pierwiastków, głównie metali ciężkich, których nadmierna koncentracja stanowi poważne zagrożenie dla roślin, zwierząt i ludzi,
- zmniejszenia, w dłuższej perspektywie czasowej, zawartości próchnicy w glebie poprzez ograniczenie aktywności drobnoustrojów biorących udział w rozkładzie substancji organicznej,
- osłabienia procesu asymilacji azotu z powietrza,
- wymywania składników mineralnych do głębszych warstw gleby oraz wód powierzchniowych co prowadzi do ich eutrofizacji.

Tymczasem w glebach, na których stosuje się zabiegi odkwaszania następuje:

- optymalizacja odczynu, co zapobiega degradacji glebowego kompleksu sorpcyjnego,
- ograniczenie szkodliwego działania glinu i wodoru,
- poprawa dostępności składników pokarmowych dla roślin,
- stymulacja rozwoju mikroflory glebowej, co w dłuższej perspektywie czasu wpływa na zwiększenie zawartości próchnicy,
- poprawa właściwości fizycznych, a to w konsekwencji prowadzi do znacznego zmniejszenia eutrofizacji wód powierzchniowych,
- zwiększenie retencji wody w glebie.

Sposobów na zmniejszenie eutrofizacji jest wiele, ale najważniejszym jest ograniczenie dopływu zanieczyszczeń. Wśród metod ograniczających eutrofizację wyróżnić można te, oparte na procesach naturalnego samoczyszczania się wód oraz związane z przestrzennym zagospodarowaniem terenów rolniczo użytkowanych. Jedną z możliwości ograniczania dopływu do wód związków biogenych jest zmniejszanie zakwaszenia gleby na terenach użytkowanych rolniczo. Wapnowanie gleb zwiększa zdolności sorpcyjne, a zarazem zwiększa możliwość wiązania związków azotanowych

i fosforowych. Funkcję oczyszczającą pełnią różne grupy bakterii, ale także roślinność wodna i obszary podmokłe. Poprawa jakości wód gruntowych oraz jakości środowiska to głównie efekty ograniczenia dopływu związków azotu i fosforu z terenów użytkowanych rolniczo. Odpowiednie sposoby użytkowania gleby, tj. ograniczenie intensywności orki, zagospodarowanie kolein, wprowadzanie buforowych stref śródpolnych, unikanie zbrylania powierzchni gleby i podglebia oraz zwiększanie zawartości materii organicznej w glebie, w dużym stopniu ograniczają stopień eutrofizacji wód powierzchniowych.

Zgodnie z zaleceniami ośrodków doradztwa rolniczego, najlepszym czasem na wykonanie wapnowania gleb jest okres późniwy, obejmujący okres od późnego lata do późnej jesieni. Należy jednak pamiętać, że jest to okres, w którym następuje zaoranie gleby, a więc i odsłonięcie górnych poziomów glebowych. W przypadku niekorzystnego rozłogu działek, tj. m.in. uprawy wzdłuż stoku – nawozy odkwaszające dostarczone do gleby mogą zostać w okresie jesienno-zimowym wypłukane wraz ze składnikami pokarmowymi oraz próchnicą. Sprzyja temu coraz krótszy okres zalegania pokrywy śnieżnej na polach oraz znaczący ubytek jej grubości względem lat poprzednich. W związku z powyższym, na terenach o niekorzystnej strukturze agrarnej, cechujących się równoległe wyraźnymi deniwelacjami terenu oraz brakiem naturalnych barier roślinnych, zapobiegających spływowi wody, przy jednoczesnym braku zabiegów przeciwoerozyjnych, zaleca się przeprowadzenie scaleń gruntów. Celem tego postępowania jest poprawa struktury agrarnej uwzględniająca m.in. zmianę kierunku uprawy na poprzecznostokowy wraz z projektowaniem dróg rolniczych w poprzek stoku. Na etapie realizacji zagospodarowania poscaleniowego należy też zrealizować zabiegi przeciwoerozyjne w postaci zadrzewień i zakrzewień liniowych na wyznaczonych w ramach scalenia działkach. W trakcie scalenia gruntów można również we właściwy sposób zaprojektować działki, na których wprowadzone zostaną w nowym stanie trwałe użytki zielone (transformacja gruntów ornych na użytki zielone). Aby scalenie gruntów w jak najpełniejszy sposób mogło przyczynić się do zatrzymania erozji wodnej i ograniczenia wypłukiwania m.in. wapnia z gleby – nasadzenia przeciwoerozyjne i wprowadzanie użytków zielonych, należy zaprojektować w uzgodnieniu z rolnikami i właściwym miejscowo Ośrodkiem Doradztwa Rolniczego na etapie opracowania *Założeń do projektu scalenia gruntów*. Scalenie gruntów umożliwia zaprojektowanie tych form użytkowania terenu we właściwych miejscach, na gruntach właścicieli, którzy są zainteresowani czerpaniem dochodów z tzw. ekoschematów (usług środowisko-

wych). Ekoschematy będą finansowane ze środków Planu Strategicznego dla Wspólnej Polityki Rolnej (PS WPR) na lata 2023–2027. Zgodnie z najnowszą wersją PS WPR można będzie w ich ramach finansować następujące działania:

- tworzenie zadrzewień śródpolnych oraz zakładanie systemów rolno-leśnych,
- retencjonowanie wody na trwałych użytkach zielonych,
- ekstensywne użytkowanie łąk i pastwisk na obszarach Natura 2000,
- objęcie użytków rolnych zobowiązaniami korzystnymi dla poprawy jakości gleby oraz stanu fauny i flory w glebie (np. uprawa uproszczonej, pokrycie gleby uprawami, płodozmian, w tym z udziałem roślin strączkowych),
- kontynuację wieloletnich zobowiązań rolno-środowiskowo-klimatycznych zawartych w ramach Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2014–2020.

W wielu gminach w Polsce, w tym na obszarze będącym przedmiotem analizy szczegółowej, tj. w gminie Polanka Wielka, przy obecnym ukształtowaniu większości pól wymuszającym wzdłużstokowy kierunek uprawy oraz przy braku zabiegów przeciwerozyjnych, wapnowanie gleb na znacznej części pól ma ograniczony sens z uwagi na zagrożenie wypłukiwaniem (to samo dotyczy stosowania nawozów i częściowo materiału siewnego). Niezmiernie ważnym elementem prowadzonej gospodarki rolnej jest zatrzymanie odpowiedniej ilości wody niezbędnej do wzrostu i rozwoju roślin. Nowoczesne scalenia gruntów umożliwiają zarówno minimalizację często szybkich, niekontrolowanych erozyjnych spływów wód opadowych dzięki wprowadzeniu poprzeczno-stokowego kierunku zabiegów uprawowych, jak również wkład w realizację stref buforowych w otoczeniu wód powierzchniowych, które są w stanie wchłonać dużą część spływających składników przed ich dotarciem do cieku, czy też zbiornika wodnego. Również w tym przypadku wapnowanie jest zabiegiem korzystnym, ponieważ podwyższenie wartości pH gleby pozytywnie wpływa na jej strukturę, a przez to na szybkość wchłaniania wód opadowych i objętość wchłoniętych opadów.

Przeprowadzony proces modelowania wpływu wapnowania oraz nowoczesnych scaleń gruntów na zmiany zagrożenia zjawiskiem eutrofizacji pozwalają na sformułowanie kilku najważniejszych wniosków w tym zakresie. Uzyskane wyniki wskazują na korzystny wpływ wapnowania gleb na ograniczenie zagrożenia eutrofizacją otaczających wód powierzchniowych, jednak wpływ ten nie jest silny. Należy zaznaczyć, że analizowany był

wpływ wapnowania na intensywność przedostawania się do wód związków chemicznych będących efektem nawożenia mineralnego, natomiast dodatkowych badań wymaga odpowiedź na pytanie, w jakim stopniu przedostające się do wód powierzchniowych związki wapnia, będące wynikiem wapnowania gleb, wpływają na ograniczenie rozwoju niekorzystnych mikroorganizmów w wodzie poprzez zmianę jej odczynu? Rezultaty badań pozwalają również na stwierdzenie, że odpowiednio zaprojektowane prace scaleniowe mogą wpływać na zmniejszenie zagrożenia eutrofizacją w większym stopniu niż zmiany poziomu wapnowania. Działania takie, w postaci wprowadzenia stref buforowych wzdłuż cieków i zbiorników wodnych oraz skutkujące zmianą kierunku uprawy ziemi na poprzeczno-stokową mogą być realizowane w skali całej wsi w trakcie projektów scalenia gruntów, jednak lokalne ich stosowanie również jest możliwe. W przypadku stref buforowych, ich działanie ma charakter ochronny w stosunku do danego cieku, natomiast zmiana kierunku uprawy ziemi ogranicza powierzchniowy spływ wody (a wraz z nią również pozostałości nawozów mineralnych) na całym obszarze, bez względu na odległość od najbliższego elementu wód powierzchniowych. Synergia tych dwóch działań powinna dawać znacznie lepsze rezultaty, ponieważ właściwości buforowe stref ochronnych są zawsze ograniczone, a ich efektywność maleje w przypadku nadmiernego dopływu niekorzystnych związków chemicznych.

Zabiegi agrotechniczne związane z wapnowaniem gleb mają również ogromne znaczenie w aspekcie wdrażania założeń Europejskiego Zielonego Ładu (EZŁ). Utrzymanie gleb w lepszej kulturze pozwoli zwiększyć konkurencyjność polskich gospodarstw. Realizacja założeń Europejskiego Zielonego Ładu w zakresie rolnictwa będzie miała istotny wpływ na przebieg procesów transformacji gospodarstw rolnych. Dostrzegli to również respondenci. Co piąty z badanych rolników wskazywał, że w następstwie wdrażania założeń EZŁ w polskim rolnictwie będzie musiał znacznie ograniczyć lub zaniechać produkcji rolniczej, dodatkowo 36,9% respondentów wskazało, że ich „gospodarstwo będzie walczyło o przetrwanie w coraz trudniejszych warunkach ekonomicznych”. Potwierdza to duże obawy u rolników co do wdrażania założeń EZŁ w obecnej sytuacji ekonomiczno-politycznej. Blisko połowa respondentów podchodzi do projektowanych rozwiązań z większym optymizmem przewidując, że prowadzone przez nich „gospodarstwo będzie prowadziło stabilną produkcję, rekompensując sobie zmniejszenie plonów dotacjami” (18,5%) oraz, że „gospodarstwo będzie się intensywnie rozwijało prowadząc produkcję bardziej przyjazną dla środowiska” (26,4%). Obawy rolników odnośnie wpływu planowanych

rozwiązań na tempo i kierunek rozwoju lub upadku ich gospodarstw rolnych są w pełni uzasadnione, w szczególności, że wciąż nie wiadomo czy ciężar proponowanych zmian będzie ponosiło społeczeństwo jako całość, czy zostanie on przerzucony na gospodarstwa rolne. W przypadku braku adekwatnego do ciężaru transformacji wsparcia ze strony Państwa i UE, byt nawet silniejszych ekonomicznie gospodarstw rolnych może być zagrożony.

Przeprowadzone badania terenowe i modelowe, jak również studia literatury i założeń Wspólnej Polityki Rolnej oraz stosowanych rozwiązań w krajowej polityce rolnej skłoniły Autorów do przedstawienia następujących rekomendacji mających na celu zwiększenie poziomu nawożenia odkwaszającego:

- opracowanie krajowego programu szkoleń dotyczących wapnowania adresowanego do rolników – ważnymi elementami realizowanych programów dokształcania powinny być m.in. informacje z zakresu wpływu wapnowania na: jakość i ilość płodów rolnych, jakość gleby oraz środowisko,
- wprowadzenie obowiązku systematycznego badania pH gleb w przypadku korzystania przez rolnika z dopłat obszarowych i dopłat związanych z produkcją roślin uprawnych, a w dalszej perspektywie uzależnienie dopłat obszarowych i dopłat związanych z produkcją wybranych roślin uprawnych od wymogu utrzymywania pH gleb na pożądanym poziomie,
- wdrożenie programów związanych z realizacją koncepcji Europejskiego Zielonego Ładu (EZŁ) oraz celami Wspólnej Polityki Rolnej (WPR), mających związek z wprowadzaniem nawozów wapniowych do gleb, które powinny uwzględniać, jako jedną z dodatkowych korzyści ograniczenie zjawiska eutrofizacji wód powierzchniowych,
- weryfikacja, zmiana lub korekta kryteriów *Ogólnopolskiego programu regeneracji środowiskowej gleb poprzez ich wapnowanie* w zakresie prognozy wartości pH,
- tworzenie i promocja nowoczesnych kompleksowych technologii produkcji roślinnej uwzględniających optymalizację odczynu gleby w celu ograniczania ilości stosowanych nawozów mineralnych i pestycydów,
- realizacja przez Wojewódzkie Biura Geodezji i Terenów Rolnych (WBGiTR) nowoczesnych scaleń gruntów na obszarach urzębionych o wzdłużstokowym kierunku uprawy, które mogą często obejmować jedynie problematyczny fragment danej wsi – zrealizowany na podstawie *Założeń do projektu scalenia gruntów* opracowanych przy

aktywnym udziale rolników i właściwego miejscowo Ośrodka Doradztwa Rolniczego (ODR) – w wielu przypadkach wystarczy przeprowadzenie przez WBGiTR wymiany gruntów stanowiącej szybki i nisko kosztowy zabieg urządzeniowo-rolny,

- wykorzystanie biotechnologii ekohydrologicznych w rejonach intensyfikacji rolnictwa.

Jednym z głównych celów badań było wskazanie barier w korzystaniu rolników z *Ogólnopolskiego programu poprawy jakości gleby poprzez ich wapnowanie*. Należy więcej uwagi poświęcić sposobom jego modyfikacji. Biorąc pod uwagę wysoki odsetek odpowiedzi wskazujących na brak wiedzy respondentów na temat możliwości wsparcia finansowego zakupu nawozów wapniowych, sugeruje się zwiększenie nacisku na konieczność przekazywania wiedzy rolnikom nie tylko w kwestiach samego programu, ale także i korzyściach płynących z zastosowania nawozów wapniowych. Do rekomendacji tej uprawniają Autorów wyniki badań wskazujące, że 65,0% respondentów byłoby zainteresowanych wzięciem udziału w szkoleniu dotyczącym wapnowania gleb. Także eksperci wskazywali, iż dotychczasowe szkolenia rolników mogły nie przynieść oczekiwanych rezultatów (o czym świadczą wyniki badań ankietowych wśród rolników), dlatego też koniecznym jest oferowanie rolnikom tego typu możliwości zdobycia czy uzupełnienia wiedzy. Ankietowani eksperci przewidywali również, iż większość rolników najprawdopodobniej weźmie udział w tego typu spotkaniach.

Jednym z kluczowych zaleceń związanych z utrzymaniem optymalnego odczynu gleb wydaje się próba wyeliminowania barier przyznawania dotacji do zakupu nawozów wapniowych w ramach wyżej wymienionego programu. Pod rozwagę poddaje się konieczność skompletowania szerokiego wachlarza niezbędnych dokumentów obowiązujących przy złożeniu wniosku o dofinansowanie (w tym formularze dotyczące pomocy *de minimis* w rolnictwie, oświadczenie o uzyskanym dofinansowaniu, oświadczenie o dochodach czy oświadczenie o przeciwdziałaniu agresji na Ukrainie). Wątpliwości budzi także restrykcyjne podejście do rozpatrywania składanych przez rolników wniosków. Błędnie wypełniony wniosek lub brak któregoś z załączników powoduje, że wnioskodawca nie otrzymuje dofinansowania. Złagodzenie tego kryterium w postaci możliwości uzupełnienia brakujących dokumentów czy dokonania korekty wniosku mogłoby pozytywnie wpłynąć na skorzystanie z dofinansowania w ramach programu.

Dla możliwości szerszego wykorzystania *Ogólnopolskiego programu regeneracji środowiskowej gleb poprzez ich wapnowanie* niezbędne są weryfi-

kacja i korekta niektórych kryteriów dostępu na co wskazywali respondenci, w tym podniesienie progu pH do 6,0; zlikwidowanie limitu wielkości gospodarstwa rolnego; zwiększenia częstotliwości dofinansowania do poszczególnych działek. Proponowane rozwiązania wiążą się bardzo często z potrzebą zwiększenia zaangażowania środków publicznych na realizację wyżej wymienionego Programu. Pamiętać jednak należy o szerokim wpływie wapnowania na wiele aspektów gospodarki. Nie ulega wątpliwości, że realizacja w Polsce koncepcji Europejskiego Zielonego Ładu wymagała będzie działań sprzyjających ograniczeniu ilości stosowanych nawozów mineralnych, pestycydów i wzrostu znaczenia rolnictwa ekologicznego, przy konieczności zadbania o bezpieczeństwo żywnościowe i jakość środowiska naturalnego. Wzrost wiedzy rolników na temat możliwości odkwaszania gleb, jak również wsparcie działań służących wapnowaniu gleb i scaleniom gruntów, zwiększą możliwość osiągnięcia celów stawianych przed polskim rolnictwem w Europejskim Zielonym Ładzie.

Zdaniem Autorów, dzięki operacjonalizacji i wdrożeniu powyższych propozycji, możliwe będzie zwiększenie skali stosowania nawozów wapniowych, a tym samym zoptymalizowanie odczynu gleb użytków rolnych w Polsce. Kluczowe efekty realizacji badań będą miały charakter długofalowy i wielopłaszczyznowy. Już obecnie dzięki przeprowadzonym badaniom wzrosło zainteresowanie respondentów kwestiami wapnowania gleb i jego wpływu na poprawę efektywności ekonomicznej prowadzenia działalności rolniczej, wpływu wapnowania gleb na poprawę jakości środowiska, zróżnicowania Polski w zakresie poziomu wapnowania gleb użytkowanych rolniczo oraz stosowanych dotychczas narzędzi służących poprawie tej sytuacji. Świadczą o tym m.in. przeprowadzone rozmowy z rolnikami i przedstawicielami instytucji okołorolniczych, którzy poprzez uczestnictwo w badaniach zostali zainteresowani tą problematyką. Ważnym elementem realizacji tego celu będą również przygotowywane publikacje naukowe i popularno-naukowe, niniejsza monografia oraz seminarium podsumowujące wyniki przeprowadzonych badań.

Wzrost wiedzy i świadomości na temat wpływu wapnowania na jakość i ilość produktów rolnych oraz oddziaływanie intensywnych technologii produkcji rolnej na jakość środowiska wśród osób bezpośrednio i pośrednio zaangażowanych w procesy produkcyjne oraz osób odpowiedzialnych za tworzenie ram instytucjonalno-prawnych dla tych procesów, pomoże przygotować i wdrożyć narzędzia sprzyjające poprawie efektywności ekonomicznej funkcjonowania gospodarstw rolnych oraz jakości wód gruntowych. Cennym wsparciem dla tych działań będą przygotowane ekspertyzy

oraz inne materiały publikowane na bazie przeprowadzonych badań, analiz i rozważań. Ostateczna skuteczność zaproponowanych rozwiązań zależała będzie jednak od możliwości i sposobu ich implementacji do polityki rolnej oraz procesów zarządzania gospodarstwami rolnymi. W tym kontekście system dopłat do zakupu nawozów wapniowych wydaje się ważnym elementem polityki utrzymywania gleb w dobrej kulturze rolnej.

Bibliografia

- Abbaspour K.C., Vaghefi S.A., Srinivasan R. A. 2018. Guideline for Successful Calibration and Uncertainty Analysis for Soil and Water Assessment, A Review of Papers from the 2016 International SWAT Conference. *Water*, 10(6): 1–18.
- Abbaspour K.C., Yang J., Maximov I., Siber R., Bogner K., Mieleitner J., Zobrist J., Srinivasan R. 2007. Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. *Journal of Hydrology*, 333(2–4): 413–430.
- Adamowicz M. 2009. Wymiary i cele interwencji rolnego w krajach o różnym poziomie rozwoju. W: Adamowicz M. (red.) *Wspólna Polityka Rolna Unii Europejskiej. Uwarunkowania, Mechanizmy, Efekty*. Warszawa: SGGW.
- Ameyu T. 2019. A Review on the Potential Effect of Lime on Soil Properties and Crop Productivity Improvements. *Journal of Environment and Earth Science*, 9(2): 17–23.
- Andrzejewska D. 2023. Program wapnowania gleb 2023. Jakie zmiany? Jaka stawka dopłaty? <https://wiescirolnicze.pl/uprawy/program-wapnowania-gleb-2022-akie-zmiany-jaka-stawka-doplaty/> (dostęp: 18.03.2023).
- Bajkiewicz-Grabowska E. 2002. *Obieg materii w systemach rzeczno-jeziornych*. Warszawa: UW.
- Balcerzak W.P., Rybicki S.M. 2011. Ocena stopnia zagrożenia wody eutrofizacją na przykładzie zbiornika zaporowego w Świnnej Porębie. *Ochrona Środowiska*, 33(4): 67–69.
- Banaszuk P. 2007. Wodna migracja składników rozpuszczonych do wód powierzchniowych w zlewni górnej Narwi. Białystok: PB.
- Baran A., Jasiewicz Cz., Tarnawski M. 2009. Wpływ zbiornikowego osadu dennego na zmiany właściwości fizykochemicznych gleby lekkiej. *Proceedings of ECO-pole*, 3(2): 403–408.
- Baran S., Turski R. 1996. *Degradacja, ochrona i rekultywacja gleb*. Lublin: AR.
- Baran S., Turski R., Flis-Bujak M., Martyn W., Kwiecień J., Uzar C. 1993. Możliwości zwiększania walorów produkcyjnych gleb lekkich przy zastosowaniu płonnych skał górniczych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 403: 83–88.
- Bartmiński P., Bieniek A., Gregoliński D., Smreczak B., Szyniec K., Woch F. 2020. *Szczegółowe zasady przeprowadzania gleboznawczej klasyfikacji gruntów*. Warszawa-Puławy: PSKG.
- Bartnikowska U., Ćwirynkało K., Borowska-Beszta B. 2017. A Pattern of Transition to Adulthood Indicated in Plans for the Future of Males with Intellectual

- Disabilities: Secondary Qualitative Data Analysis. *International Journal of Psycho-Educational Sciences*, 6(1): 78–94.
- Barton L., Murphy D.V., Butterbach-Bahl K. 2013. Influence of crop rotation and liming on greenhouse gas emissions from a semi-arid soil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 167: 23–32.
- Barton L., Murphy D.V., Kiese R., Butterbach-Bahl K. 2010. Soil nitrous oxide and methane fluxes are low from a bioenergy crop (canola) grown in a semi-arid climate. *Global Change Biology Bioenergy*, 2: 1–15.
- Batten G. 1992. A review of phosphorus efficiency in wheat. *Plant Soil*, 146: 163–168.
- Bednarek R., Dziadowiec H., Pokojaska U., Prusinkiewicz Z. 2004. *Badania ekologiczno-gleboznawcze*. Warszawa: PWN.
- Bednarek W., Lipiński W. 1996. Oddziaływanie nawożenia mineralnego i wapnowania na fizykochemiczne właściwości gleby lekkiej, plonowanie oraz niektóre cechy jęczmienia jarego. *Roczniki Gleboznawcze*, 47: 109–115.
- Biernat-Jarka A. 2011. Interwencjonizm państwowy w rolnictwie. *Roczniki Naukowe SERiA*, 13(5): 5–8.
- Blum W.E.H. 2005. Functions of soil for society and environment. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 4: 75–79.
- Bochenek M. 2014. *Aktualizacja Programu Ochrony Środowiska dla Gminy Polanka Wielka na lata 2014–2018 z uwzględnieniem perspektywy na lata 2019–2022*. Opracowanie wykonane na zlecenie Wójta Gminy Polanka Wielka.
- Bogdał A., Ostrowski K. 2007. Wpływ rolniczego użytkowania zlewni podgórskiej i opadów atmosferycznych na jakość wód odpływających z jej obszaru. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 7(20): 59–69.
- Boguszewski W. 1980. *Wapnowanie gleb*. Warszawa: PWRiL.
- Bożek P., Janus J., 2017. The Influence of Elevation Data Generalization on the Accuracy of the RUSLE Model. W: *Proceedings of the 2017 Baltic Geodetic Congress (BGC Geomatics)*. Gdańsk: UWM.
- Breiman L., Friedman J., Stone C. J., Olshen, R. A. 1984. *Classification and regression trees*. New York: CRC Press.
- Buckman H.C., Brady N.C. 1971. *Gleba i jej właściwości*. Warszawa: PWRiL.
- Chotkowski J. 2009. Dylematy polski państwa wobec wsi i rolnictwa w Polsce. *Roczniki Naukowe SERiA*, 11(2): 31–36.
- Čop J. 2014. Soil acidification and liming in grassland production and grassland soil fertility in Slovenia. *Acta agriculturnae Slovenica*, 103(1): 15–25.
- Corti, L., Thompson, P. 2007. Secondary analysis of archived data, Qualitative research. W: C. Seale, G. Gobo, J. F. Gubrium, D. Silverman (red.). *Qualitative Research Practice*. London – Thousand Oaks – New Delhi Sage Publications: 297–313.
- Curyło T. 1996. Wpływ odczynu gleby na pobieranie cynku, miedzi i niklu przez rośliny owsa. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 434: 439–443.

- Czarnecki A., Dacko A., Dacko M., Skowera B. 2023. Frightened or familiarised? Permanent residents' and second-home owners' risk perceptions of extreme weather events. *International Journal of Tourism Research*.
- Czarnecki A., Dacko A., Dacko M. 2023. Changes in mobility patterns and the switching roles of second homes as a result of the first wave of COVID-19, *Journal of Sustainable Tourism*, 31(1): 149–167.
- Czyżewski A. 2007. Makroekonomiczne uwarunkowania rozwoju sektora rolnego [w:] A. Czyżewski (red.). *Uniwersalia polityki rolnej w gospodarce rynkowej, ujęcie makro- i mikroekonomiczne*. Poznań: AE.
- Czyżewski A., Poczta A., Wawrzyniak L. 2006. Interesy europejskiego rolnictwa w świetle globalnych uwarunkowań polityki gospodarczej. *Ekonomista*, 3: 350–351.
- Dacko M., Oleksy A., Synowiec A., Klimek-Kopyra A., Kulig B., Zajac T. 2023. Plant-architectural and environmental predictors of seed mass of winter oilseed rape in southern Poland based on the CART trees regression model. *Industrial Crops and Products*, 192: 1–8.
- Dajdok Z. 2020. *Szata roślinna środowisk marginalnych w krajobrazie rolniczym w zależności od ich struktury, funkcji i otoczenia*. Kraków: IOP PAN.
- Dobrzański B., Zawadzki S. (red.). 1995. *Gleboznawstwo*. Warszawa: PWRiL.
- Domska D., Bobrzecka D., Wojtkowiak K. 1998. Zmiany w zawartości wybranych składników pokarmowych w glebach w zależności od ich odczynu. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 456: 425–429.
- Filipek T., Badora A., Lipiński W., Brodowska M. S., Domańska J., Harasim P., Kozłowska-Strawska J., Skowron P., Skowrońska M., Tkaczyk P. 2015. *Zakwaszenie i wapnowanie gleb*. Warszawa: FAPA.
- Filipek T., Skowrońska M. 2013. Aktualnie dominujące przyczyny oraz skutki zakwaszenia gleb użytkowanych rolniczo w Polsce. *Acta Agrophysica*, 20, 2: 283–294.
- Fotyma M., Zięba S. 1988. *Przyrodnicze i gospodarcze podstawy wapnowania gleb*. Warszawa: PWRiL.
- Gębski M. 1998. Czynniki glebowe oraz nawozowe wpływające na przyswajanie metali ciężkich przez rośliny. *Postępy Nauk Rolniczych*, 5: 3–16.
- Gmina Polanka Wielka. 2009. *Plan odnowy miejscowości Polanka Wielka na lata 2009–2017*. Załącznik Nr 1 do Uchwały Nr XXVI/157/09 Rady Gminy Polanka Wielka z dnia 12 marca 2009 roku.
- Goliński P. 2007. Grassland renovation in Poland. *Plant Research International B.V. Wageningen*: 19–31.
- Goulding K.W.T., Blake L. 1998a. Land use, liming and the mobilization of potentially of potentially toxic metals. *Agriculture & Ecosystems Environment*, 67: 135–144.

- Goulding K.W.T., Blake L. 1998b. Soil acidification and the mobilisation of toxic metals caused by acid deposition and fertilizer application. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 456: 19–27.
- Grzebisz W. 2015. *Nawożenie roślin uprawnych*. Warszawa: PWRiL.
- Grzebisz W., Szczepaniak W., Diatta J. B. 2013. Środowiskowe skutki zakwaszenia gleb uprawnych. *Studia i Raporty IUNG PIB*, 34(8):19–26.
- Grzywnowicz I. 1998. Wpływ wapnowania i nawożenia magnezem na zmiany zawartości różnych form fosforu w górskich glebach łąkowych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 456: 581–585.
- Hamilton S.K., Kurzman A.L., Arango C., Jin L., Robertson G.P. 2007. Evidence for carbon sequestration by agricultural liming. *Global Biogeochem Cycle*, 21: 1–12.
- Harris S. 1947. *The New Economics: Keynes's influence on theory and public policy*. New York: Alfred A Knopf.
- Hersy J. (red.) 1981. *Szczegółowa uprawa roślin*. Warszawa: PWN.
- Hillel D. 2012. *Gleba w środowisku*. Warszawa: PWN.
- Hinds, P. S., Vogel R. J., Clarke-Steffen L. 1997. The possibilities and pitfalls of doing a secondary analysis of a qualitative dataset. *Qualitative Health Research*, 7(3): 408–424.
- Hołubowicz-Kliza G. 2006. *Wapnowanie gleb w Polsce*. Puławy: IUNG PIB.
- Hołubowicz-Kliza G. 2017. *Wapnowanie. Materiały szkoleniowe*. Puławy: IUNG PIB.
- Hołubowicz-Kliza G., Jadczyzyn T., Sułek A. 2021. *Poradnik wapnowania gleb gruntów ornych*. Puławy: IUNG PIB.
- Hozer J., Kokot S., Kuźmiński W. 2002. *Metody analizy statystycznej rynku w wycenie nieruchomości*. Warszawa: PFSRM.
- Igras J. 2006. *Potencjał polskiego przemysłu nawozowego na tle Unii Europejskiej. Raporty PIB*. Puławy: IUNG PIB.
- Impacts and Repercussions of Price Increases on the Global Fertilizer Market. 2022. *BizWeek. Economy. Business. Finance*, 403: 4–8.
- Irwin S. H. 2009. Devil or angel? The role of speculation in the recent commodity boom (and bust). *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 41(2): 377–391.
- Izdyrczyk K., Michalska-Hejduk D., Frątczak W., Bednarek A., Łapińska M., Jarsiewicz P., Kosińska A., Zalewski M. 2015. *Strefy buforowe i biotechnologie ekohydrologiczne w ograniczaniu zanieczyszczeń obszarowych*. Łódź: ERCE PAN.
- Jadczyzyn T. 2021. Nowe zalecenia w zakresie wapnowania gleb. *Studia i Raporty IUNG PIB*, 65(19): 99–109.
- Jadczyzyn T., Lipiński W. 2022. *Zasady ustalania dawek wapna w doradztwie nawozowym. Nowe zalecenia w zakresie wapnowania gleb gruntów ornych i trwałych użytków zielonych*. Puławy: IUNG PIB.
- Jasińska Z., Kotecki A. (red.). 2003. *Szczegółowa uprawa roślin*. Wrocław: UP.

- Jaskuła J., Sojka M., Wicher-Dysarz J. 2015. Analiza tendencji zmian stanu fizykochemicznego wód rzeki Główniej. *Inżynieria Ekologiczna*, 44: 154–61.
- Judzińska A. 2011. Instrumenty wsparcia rolnictwa w ramach WPR. W: W. Łopaciuk (red.). *Wpływ Wspólnej Polityki Rolnej na rolnictwo*. Warszawa: IERiGŻ PIB.
- Kabata-Pendias A., Pendias H. 1999. *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. Warszawa: PWN.
- Kaczmarczyk S. 2014. Klasyfikacja metod zbierania danych ze źródeł pierwotnych w badaniach marketingowych. *Studia Ekonomiczne*, 195: 55–64.
- Kisiel P. 2000. *Społeczne aspekty badań marketingowych. Wybrane problemy*. Kraków: AE.
- Klapp E. 1951. *Lehrbuch des Acker und Pflanzenbaues*. Berlin: Parey.
- Klawe A. J. 1981. *Interwencjonizm w rolnictwie a międzynarodowy charakter rolnej*. Warszawa: PWN.
- Kołanko E., Zieliński Z. 1976. *Statystyka*. Szczecin: PS.
- Kołodziejczak M. 2008. Zróżnicowanie regionalne rolnictwa w Polsce i w Niemczech. *Zeszyty Naukowe SGGW. Problemy Rolnictwa Światowego*, 4: 270–280.
- Komisja Europejska 2020a. *Unijna strategia na rzecz bioróżnorodności 2030. Przywracanie przyrody do naszego życia*. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Bruksela: KE.
- Komisja Europejska 2020b. *Strategia „od pola do stołu” na rzecz sprawiedliwego, zdrowego i przyjaznego dla środowiska systemu żywnościowego*. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Bruksela: KE.
- Kopec S. 2007. Wpływ nawożenia mineralnego użytków rolnych na zanieczyszczenie wód składnikami nawozowymi. *Państwo i Społeczeństwo*, 7(4): 173–181.
- Kopiński J., Nieróbca A., Ochal P. 2013. Ocena wpływu warunków pogodowych i zakwaszenia gleb w Polsce na kształtowanie produktywności roślinnej. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 13 (2): 53–63.
- Kostrowicki J. 1968. *Środowisko geograficzne Polski*. Warszawa: PWN.
- Kotecki A. 2020. *Uprawa roślin*. Tom 1–3. Wrocław: UP.
- Kowalik T., Kanownik W., Bogdał A., Policht-Latawiec A. 2014. Wpływ zmian użytkowania zlewni wyżynnej na kształtowanie jakości wody powierzchniowej. *Annual Set The Environment Protection*, 16: 223–238.
- Kowalski A., Rembisz W. 2005. *Rynek rolny i interwencjonizm a efektywność i sprawiedliwość społeczna*. Warszawa: IERiGŻ.
- Krasowska M. 2016. Wpływ intensywnych opadów deszczu na wymywanie substancji biogenych ze zlewni rolniczej. *Ecological Engineering*, 47: 1–9.
- Krysztoforski M. 2019. *Wapnowanie podstawą żyzności gleb w gospodarstwie ekologicznym*. Brwinów: CDR OwR.

- Kucharska-Stasiak E. (red.). 2005. *Metodyka określania wartości rynkowej nieruchomości*. Olsztyn: Educaterra.
- Kucharzewski A., Dębowski M. 2000. Odczyn i zawartość mikroelementów w glebach Polski. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 471(2): 427–435.
- Kujawa A., Kujawa K. (red.) 2019. *Zadrzewienia na obszarach wiejskich – dobre praktyki i rekomendacje*. Wrocław: FER.
- Kupiec J. 2010. Porównanie wyników bilansu fosforu w aspekcie monitorowania zanieczyszczeń ze źródeł rolniczych. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 12: 785–804.
- Li Y., Cui S., Chang S. X., Zhang Q. 2019. Liming effects on soil pH and crop yield depend on lime material type, application method and rate, and crop species: a global meta-analysis. *Journal of Soils and Sediments*, 19(3): 1–14.
- Lipiński W. 2005. Odczyn gleb Polski. *Nawozy i Nawożenie*. 2: 33–40.
- Lityński T., Jurkowska H. 1982. *Żyzność gleby i odżywianie się roślin*. Warszawa: PWN.
- Loh, W. Y. 2011. Classification and regression trees. *Wires Data Mining and Knowledge Discovery*, 1(1): 14–23.
- Luszniewicz A. 1977. *Statystyka ogólna*. Warszawa: PWE.
- Łabętowicz J., Szymańska M. 2010. Przydatność gipsu do poprawy właściwości fizykochemicznych gleb lekkich. *Roczniki Gleboznawcze*, 61(4): 154–158.
- Łapczyński M. 2010. *Drzewa klasyfikacyjne i regresyjne w badaniach marketingowych*. Kraków: WUE.
- Maciejewska A. 1995. Ekologiczne aspekty wykorzystania węgla brunatnego do poprawy właściwości gleb piaszczystych użytkowanych rolniczo. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 422: 67–74.
- Mahmud M. S., Chong K. P. 2022. Effects of Liming on Soil Properties and Its Roles in Increasing the Productivity and Profitability of the Oil Palm Industry in Malaysia. *Agriculture*, 12(3): 1–14.
- Manteuffel R. 1981. *Racjonalizacja produkcji w gospodarstwie rolnym*. Warszawa: LSW.
- Martinez-Salgado M. M., Gutiérrez – Romero V., Janssens M., Ortega-Blu R. 2010. Biological soil quality indicators: a review. W: A. Mendez-Visal (red.). *Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology*. Badajoz: Formatex.
- Matyka M. 2013. Tendencje w zużyciu nawozów mineralnych w Polsce na tle krajów Unii Europejskiej. *Roczniki SERIA*, 15(3): 237–241.
- Mehlich A. 1942. Base Saturation and pH in Relation to Soil Type. *Soil Science Society of America Journal*, 133: 353–362.
- Mengel K. 1997. Agronomic measures for better utilization of soil and fertilizer phosphates. *European Journal of Agronomy*, 7: 221–233.
- Miatkowski Z. 2001. *Wpływ zabiegów agromelioracyjnych na właściwości fizyczno-wodne gleb związanych oraz ukorzenie i plon roślin*. Falenty: IMUZ.

- Mocek A. (red.) 2015. *Gleboznawstwo*. Warszawa: PWN.
- Molenda A. 2022. *Jakie perspektywy dla światowego rynku nawozów?* <https://agro-news.com.pl/arttykul/jakie-perspektywy-dla-swiatowego-ryнку-nawozow/> (dostęp: 08.09.2022).
- Motowicka-Terelak T. 1985. Wskaźniki zakwaszenia gleb gliniastych i pyłowych oraz zwiększenie ich produktywności na drodze wapnowania. Puławy: IUNG.
- Musiąg W. 1998. *Studium prospektywne interwencjonizmu państwowego w rolnictwie terenów górskich na przykładzie Karpat Polskich*. Kraków: AR.
- Nasedjanov M. 2012. *The effects of lime on pH values of soil at different pH levels*. United Nations University Land Restoration Training Programme. Reykjavik: UNU.
- Nicia P., Dacko M., Janus J., Kowalik T., Paluch Ł., Pijanowski J. M., Płonka A., Wojewodzik T., Zadrożny P. 2023. *Możliwości i bariery wykorzystania wapnowania gleb do poprawy efektywności ekonomicznej produkcji rolnej oraz ograniczania eutrofizacji wód powierzchniowych*. Ekspertyza wykonana w ramach operacji: „Możliwości i bariery wykorzystania wapnowania gleb do poprawy efektywności ekonomicznej produkcji rolnej oraz ograniczenia eutrofizacji wód powierzchniowych”. Umowa nr: KSOW/6/2022/079. Kraków: UR.
- Nicia P., Paluch Ł., Pijanowski J. M., Zadrożny P., Płonka A., Dacko M., Janus J., Kowalik T., Wojewodzik T. 2022. *Kwasowość gleb i stan nawożenia wapniowego w Polsce w świetle wyników Powszechnego Spisu Rolnego 2020 – konsekwencje środowiskowe i ekonomiczne*. Ekspertyza wykonana w ramach operacji: „Możliwości i bariery wykorzystania wapnowania gleb do poprawy efektywności ekonomicznej produkcji rolnej oraz ograniczenia eutrofizacji wód powierzchniowych”. Umowa nr: KSOW/6/2022/079. Kraków: UR.
- Niedźwiecki J., Ochal P. 2021. Środowiskowe skutki zakwaszenia gleb użytkowanych rolniczo i ich ograniczanie. *Studia i raporty IUNG PIB*, 66(20): 81–89.
- Nowak A. 2013. Produktywność rolnictwa polskiego w kontekście jego konkurencyjności. *Folia Pomeranae Universitatis Technologiae Stetinensis*, 299(70): 159–168.
- Nowocien E. 2015. Zagadnienia erozji gleb. W: *Wademekum klasyfikatora gleb. Podręcznik*. Puławy: IUNG PIB.
- Ochal P., Jadczyzyn T., Jurga B., Kopiński J., Matyka M., Madej A., Rutkowska A., Smreczek B., Łysiak M. 2017. *Środowiskowe aspekty zakwaszenia gleb w Polsce*. Puławy: IUNG-PIB.
- Ochal P., Smreczak B. 2020. Zakwaszenie gleb i aktualne zagadnienia wapnowania. *Studia i Raporty IUNG PIB*, 63(17): 9–19.
- Ochrona środowiska 2021*. 2021. Warszawa: GUS DBPiŚ.
- Ostrowski K., Bogdał A., Rajda 2005. Wpływ użytkowania wybranych mikrozlewni Pogórza Wielickiego na zawartość i sezonową zmienność cech fizyko-chemicznych w wodach odpływających. *Zeszyty Naukowe AR*, 420(26): 9–19.
- Paluch Ł., Krasnodębski A., Niemiec M. 2018. Perspectives For Development of The Market For Fertilizers Derived From By-Products of Coal Burning as an

- Element of Sustainable Waste Management. [W:] E. Horská, Z. Kapsdorferová, M. Hallová (red.). *International Scientific Days 2018. Towards Productive, Sustainable and Resilient Global Agriculture and Food Systems. Conference proceedings 2018*. Nitra: Wolters Kulwer.
- Paluch Ł., Niemiec M., Mudryk K., Chowaniak M., Komorowska M. 2020. The Use of Fertilizer Produced from Coal Combustion By-Products as a Part of Sustainable Management of Waste Materials. [W:] M. Wróbel, M. Jewiarz, A. Szłęk (red.). *Renewable Energy Sources: Engineering, Technology, Innovation ICORES 2018*. Cham: Springer.
- Pierre W.H., Scarseth G.D. 1931. Determination of percent base saturation of soil and its value for different soils at definite pH values. *Soil Science*, 31: 99–114.
- Pietr J. St., Krysztoforowski M. (red.). 2022. *Krajowy raport o stanie gruntów rolnych w Polsce: zakwaszenie gleb oraz ich regeneracja poprzez wapnowanie – stan obecny i propozycje systemowych rozwiązań*. Kraków-Brwinów: CDR.
- Pijanowski J., Janus J., Kowalik T., Nicia P., Wojewodzik T., Dacko M., Płonka A., Zadrożny P., Paluch Ł. 2023. Rola scaleń gruntów i zabiegów przeciwozyjnych w poprawie efektywności wapnowania gleb. *Przegląd Geodezyjny*, 4: 15–20.
- Pijanowski J.M., Bogdał A., Książek L., Wojewodzik T., Kowalik T., Wałęga A., Zarzycki J., Zadrożny P., Nicia P., Strużyński A., Dacko M., Wyrębek M., Goleńkowski K., Skorupka M. 2021. *Ocena wkładu założeń do projektów scalenia gruntów w realizację celów środowiskowych i społecznych na obszarach wiejskich*. Ekspertyza wykonana w ramach operacji „Środowiskowe i społeczne efekty prac urządzeniowo-rolnych”. Umowa nr: KSOW/4/2020/060. Kraków: UR.
- Pijanowski J.M., Kuryłowicz T., Woch F. 2018. *Koncepcja założeń unormowań prawnych w zakresie kompleksowego urządzania obszarów wiejskich (KUOW) w Polsce*. Opracowanie wewnętrzne na zlecenie Dyrektora Generalnego Krajowego Ośrodka Wsparcia Rolnictwa. Warszawa-Kraków-Białystok-Puławy: KSOW.
- Piowar A. 2011. Wybrane aspekty ekonomiczne i ekologiczne stosowania nawozów mineralnych w gospodarstwach rolnych. *Ekonomia Economics*, 17: 217–230.
- Piowar A. 2013. Nawozy mineralne w polskim handlu zagranicznym. *Przemysł Chemiczny*, 92(10): 1887–1890.
- Piowar A. 2013. Zarys problematyki nawożenia w zrównoważonym rozwoju rolnictwa w Polsce. *Ekonomia i Środowisko*, 1: 143–155.
- Plan Strategiczny dla Wspólnej Polityki Rolnej na lata 2023–2027*. <https://www.gov.pl/web/rolnictwo/plan-strategiczny-dla-wspolnej-polityki-rolnej-na-lata--2023-2027> (dostęp: 26.01.2023).
- Płonka A. 2019. State interventionism in agriculture – rationale, goals, conditions *Scientific Papers of Silesian University of Technology – Organization and Management*, 139: 477–488.

- Płonka A. 2021. *Procesy dostosowawcze gospodarstw rolnych w okresie dekoniunktury gospodarczej*. Warszawa: C. H. Beck.
- Pociask-Karteczka J. 2006. *Zlewnia właściwości i procesy*. Kraków: UJ: 145–153.
- Pokora-Kalinowska M. 2019. *Od 1 sierpnia można będzie składać wniośki o wapnowanie*. <https://www.farmer.pl/finanse/dotacje-i-doplaty/od-1-sierpnia-mozna-bedzie-skladac-wnioski-o-wapnowanie,86926.html> (dostęp: 19.03.2023).
- Pondel H., Ruszkowska M., Sykut S., Terelak H. 1991. Wymywanie składników nawozowych z gleb w świetle badań IUNG. *Roczniki Gleboznawcze*, 42(3/4): 97–107.
- Popek Z., Wasilewicz M., Bańkowska A., Boczoń A. 2014. Sezonowa zmienność odpływu wody i ładunków biogenów ze zlewni Wielkiej Strugi do jeziora Zdwońskiego. *Monografie KGW PAN*, 20(2): 341–354.
- Powszechny Spis Rolny 2020*. Raport z wyników. 2021. Warszawa: GUS DR.
- Przygodzka R. 2006. *Fiskalne instrumenty wspierania rozwoju rolnictwa – przyczyny stosowania, mechanizmy i skutki*. Białystok: WUB.
- Rada Gminy Polanka Wielka. 2015. *Strategia Rozwoju Gminy Polanka Wielka na lata 2015–2020*. Polanka Wielka: RG.
- Rice K.C., Herman J.S. 2012. Acidification of Earth: An assessment across mechanisms and scale. *Applied Geochemistry*, 27: 1–14.
- Rozporządzenie Ministra Rozwoju Regionalnego z dnia 8 grudnia 2010 r. w sprawie udzielania pomocy de minimis w ramach regionalnych programów operacyjnych (Dz.U. Nr 236, poz. 1562).
- Rozporządzeniu (WE) nr 2003/2003 Parlamentu Europejskiego i Rady z 13 października 2003 r. w sprawie nawozów.
- Rozporządzeniu Rady Ministrów z dnia 12 września 2012 r. w sprawie gleboznawczej klasyfikacji gruntów (Dz.U. 2012 poz. 1246).
- Rudke M. 2022. *Nie tylko Grupa Azoty. Produkcję nawozów ogranicza wiele firm w Europie. To wróży wzrost cen żywności*. <https://businessinsider.com.pl/> (dostęp: 08.09.2022).
- Rutkowska A. 2014. Racjonalne i efektywne nawożenie azotem. *Studia i raporty IUNG-PIB*, 37(11): 33–46.
- Rutkowska B., Szulc W., Łabętowicz J., Korc M., Sałajczyk M. 2002. System nawożenia jako czynnik determinujący zasobność gleby w przyswajalne formy składników pokarmowych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. 484(2): 537–547.
- Sarna S., Jarząbek A. 1998: *Impact of agricultural utilization of river catchment basins on the surface water quality in the region of the Pogórze Wielickie (Southern Poland)*. Proceedings 8th Polish and 1st International Scientific-Technological Conference. Water Quality and Water Resources Protection, „Principles of the Rational Water Management”: 93–100.

- Siuta J. 1974. *Kształtowanie przyrodniczych warunków rolnictwa w Polsce*. Warszawa: PWN.
- Smoroń S. 1998. Eutrophication of surface water as an influence of biogenic compounds penetration from the agriculture sources to the Environment. *Zeszyty Edukacyjne IMUZ*, 5: 57–70.
- Smreczak B., Ukalska-Jaruga A., Łysiak M., Strzelecka J., Niedźwiecki J., Sobich D. 2017. Funkcje, jakość i usługi ekosystemowe gleb. *Studia i Raportu IUNG PIB*, 54(8): 9–23.
- Snarska A. 2005. *Statystyka. ekonometria. prognozowanie*. Warszawa: Placet.
- Sojka M., Murat-Błażejewska S., Kanclerz J. 2008. Wymywanie związków azotu i fosforu ze zlewni rolniczej w zróżnicowanych okresach hydrometeorologicznych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 526: 443–450.
- Sroka W. Dacko M. 2010. Ocena czynników rozwoju przodujących gospodarstw rolniczych z wykorzystaniem drzew regresyjnych typu C&RT. *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej*, 2: 100–112.
- Starmach K., Wróbel S., Pastermak K. 1976. *Hydrobiologia*. Warszawa: PWN.
- Stiglitz J. E. 1987. Some Theoretical Aspects of Agricultural Policies. *The World Bank Research. Observer*, 2(1): 61–77.
- Strategia Bezpieczeństwo Energetyczne i Środowisko*. 2014 http://kigeit.org.pl/FTP/PRCIP/Literatura/008_3_Strategia_Bezpieczenstwo_Energetyczne_i_Srodowisko_2020.pdf (dostęp: 17.03.2023).
- Strzemski M., Siuta J., Witek T. 1973. *Przydatność rolnicza gleb Polski*. Warszawa: PWRiL.
- Systematyka gleb Polski*. 2019. Wrocław-Warszawa: WUP, INoGiOŚ, PTG, KGKiKG.
- Szaleniec M. 2008. *Sieci neuronowe i regresja wieloraka czyli jak określić złożoność w badaniach naukowych? Zastosowania statystyki i Data Mining w badaniach naukowych*. Kraków: Statsoft.
- Środki produkcji w rolnictwie w roku gospodarczym 2019/2020*. 2021. Warszawa: GUS DR.
- Tabak M. 2011. Nawozy mineralne. W: B. Filipek-Mazur (red.). *Środowiskowe aspekty stosowania nawozów i środków ochrony roślin w rolnictwie*. Kraków: WUR.
- Tujaka A., Gosek S. 2009. Wykorzystanie fosforu w zależności od wielkości dawki i formy nawozu fosforowego. *Fragmenta Agronomia*, 26(2): 158–164.
- Ustawa z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu (Dz. U. Nr 147, poz. 1033).
- Wasilewski M., Mądra M. 2007. Efektywność wykorzystania czynników produkcji w gospodarstwach indywidualnych. *Roczniki Naukowe SERiA*, 8(1): 525–531.
- Wawrzyniak B. 2020. Instrumenty wsparcia Wspólnej Polityki Rolnej w perspektywie finansowej 2021–2027. *Zagadnienia Doradztwa Rolniczego*, 1: 107–121.
- Welfe W. 1977. *Ekonometryczne modele rynku*. Warszawa: PWE.

- Wilkin J. 2003. Interwencjonizm państwowy w rolnictwie: dlaczego był, jest i będzie. W: *Dostosowanie się polskiego rynku rolnego do wymogów UE*. Warszawa: IERiGŻ.
- Wilkin J. 2010. *Możliwość prowadzenia przez Polskę narodowej polityki rolnej w ramach Wspólnej Polityki Rolnej*. Opinie i Ekspertyzy. Warszawa: BAIKKS.
- Wojewodziec T. 2017. Procesy dywertycji i dezagraryzacji w rolnictwie o rozdrobnionej strukturze agrarnej. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Rolniczego im. H. Kołłątaja w Krakowie*, 535(412). *Seria rozprawy*.
- Wsparcie rolnictwa i obszarów wiejskich środkami krajowymi w krajach Unii Europejskiej*. 2006. Warszawa: FAPA SAEPIR.
- Zajączkowski J., Zajączkowski K. 2013. *Hodowla Lasu. Zadrzewienia*. Warszawa: PWRiL.
- Zalewski A., Piwowar A. 2018. *Światowy rynek nawozów mineralnych z uwzględnieniem zmian cen surowców i bezpośrednich nośników energii*. Warszawa: IERiGŻ PAN.
- Zawadzki S. (red.) 1999. *Gleboznawstwo*. Warszawa: PWRiL
- Zeliaś A., Pawełek B., Wanat S. 2002. *Metody statystyczne. Zadania i sprawdziany*. Warszawa: PWE.
- Ziętara W. 1998. Metodyczne aspekty oceny efektywności gospodarowania w rolnictwie. *Zeszyty Naukowe SGGW. Ekonomia i Organizacja Gospodarki Żywnościowej*, 34: 17–32.
- Ziętara W., Zieliński M. 2012. Efektywność i konkurencyjność polskich gospodarstw rolniczych nastawionych na produkcję roślinną. *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej*, 1(330): 40–61.
- <https://ec.europa.eu/eurostat> (dostęp: 04.09.2022).
- <https://www.ec.europa.eu/eurostat> (dostęp: 08.09.2022).
- <https://www.bdl.stat.gov.pl> (dostęp: 08.09.2022).
- <https://www.chemiaindustria.com> (dostęp: 08.09.2022).
- <https://www.rolnictwozrownowazone.pl> (dostęp: 08.09.2022).
- <https://www.cdr.gov.pl> (dostęp: 08.09.2022).
- <https://www.biznes.interia.pl> (dostęp: 08.09.2022).
- <https://www.farmer.pl> (dostęp: 08.11.2022).
- <https://www.agrofakt.pl> (dostęp: 08.11.2022).
- <https://www.agrecol.pl> (dostęp: 08.11.2022).
- <https://www.swiatrolnika.pl> (dostęp: 08.11.2022).
- <https://www.dpr.iung.pl> (dostęp: 20.01.2023).
- <https://www.isok.gov.pl> (dostęp: 20.01.2023).
- <https://www.danepubliczne.imgw.pl> (dostęp: 20.01.2023).
- <https://www.stat.gov.pl> (dostęp: 08.02.2023).
- <https://www.terazpole.pl> (dostęp: 20.02.2023).

Spis tabel, wykresów, rysunków, map

Tabele

Tabela 1. Wartości wskaźnika waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej (WWRPP)	29
Tabela 2. Struktura użytkowania gruntów w gospodarstwach rolnych w 2020 r.	30
Tabela 3. Struktura użytków rolnych w gospodarstwach rolnych w 2020 r.	31
Tabela 4. Struktura wielkości gospodarstw rolnych w 2020 r.	32
Tabela 5. Struktura powierzchni zasiewów w gospodarstwach rolnych w 2020 r.	33
Tabela 6. Struktura gospodarstw rolnych według przeznaczenia produkcji końcowej oraz głównych źródeł dochodu rolników i ich rodzin w 2020 r.	34
Tabela 7. Struktura gospodarstw rolnych według wielkości ekonomicznej w 2020 r.	35
Tabela 8. Źródła głównych gazowych zanieczyszczeń powietrza pochodzenia antropogenicznego mające wpływ na zakwaszenie gleb.	43
Tabela 9. Ocena potrzeb wapnowania gleb mineralnych (gruntów ornych).	51
Tabela 10. Zalecane dawki nawozów wapniowych na grunty orne	52
Tabela 11. Przykład dawki CaO na gruntach ornych dla gleb ciężkich.	53
Tabela 12. Struktura gospodarstw rolnych według stosowanych strategii wapnowania w latach 2010–2020.	72
Tabela 13. Struktura towarowych gospodarstw rolnych według stosowanych strategii nawożenia NPK i CaO w latach 2016–2020	73
Tabela 14. Struktura towarowych gospodarstw rolnych według typów i stosowanych strategii wapnowania w latach 2016–2019	75
Tabela 15. Uczestnictwo rolników w szkoleniach/kursach dotyczących wapnowania gleb według kryterium częstotliwości wapnowania gleb [%].	135

Tabela 16. Zainteresowanie rolników udziałem w szkoleniach/kursach dotyczących wapnowania gleb według kryterium dotychczasowego braku uczestnictwa w szkoleniach [osób] oraz częstotliwości wapnowania gleb [%]	137
Tabela 17. Wyniki przeprowadzonych symulacji zmian w zakresie przedostawania się substancji sprzyjających eutrofizacji (związki azotu) w zależności od zmienności wybranych czynników [%]	163
Tabela 18. Wyniki przeprowadzonych symulacji zmian w zakresie przedostawania się substancji sprzyjających eutrofizacji (związki fosforu) w zależności od zmienności wybranych czynników [%] . . .	164
Tabela 19. Identyfikacja głównych barier wapnowania przez rolników w ujęciu przestrzennym [liczba wskazań]	170
Tabela 20. Identyfikacja głównych barier wapnowania przez rolników według liczby lat pracy w gospodarstwie rolnym [liczba wskazań]	172
Tabela 21. Identyfikacja głównych barier wapnowania przez rolników w kontekście częstotliwości wykonywania tego zabiegu [liczba wskazań]	173
Tabela 22. Identyfikacja głównych barier wapnowania w kontekście doświadczenia zawodowego pracownika instytucji [liczba wskazań]	175
Tabela 23. Dochód z gospodarstwa rolnego w zależności od typu produkcji i poziomu wapnowania gleb	184
Tabela 24. Dochód z gospodarstwa rolnego w gospodarstwach w zależności od poziomu nawożenia NPK i poziomu wapnowania gleb	185
Tabela 25. Podsumowanie regresji zmiennej zależnej Y_1	187
Tabela 26. Struktura towarowych gospodarstw rolnych specjalizujących się w uprawach polowych według powierzchni i stosowanych strategii wapnowania [%]	189
Tabela 27. Struktura towarowych gospodarstw rolnych specjalizujących się w uprawach zbóż według powierzchni i stosowanych strategii wapnowania [%]	190
Tabela 28. Średnia wartość produkcji roślinnej gospodarstw rolnych specjalizujących się w uprawach polowych w latach 2016–2020 [zł/ha]	191
Tabela 29. Wartość dodana brutto w towarowych gospodarstwach rolnych specjalizujących się w uprawach polowych w latach 2017–2020 [zł/ha]	192

Tabela 30. Średnia wartość dochodu rolniczego w towarowych gospodarstwach rolnych specjalizujących się w uprawach polowych w latach 2017–2020 [zł/ha]	193
Tabela 31. Struktura towarowych gospodarstw rolnych specjalizujących się w produkcji polowej według stosowanych strategii nawożenia NPK i CaO	195
Tabela 32. Struktura towarowych gospodarstw rolnych specjalizujących się w produkcji zbóż według stosowanych strategii nawożenia NPK i CaO	196
Tabela 33. Średnia wartość produkcji roślinnej w towarowych gospodarstwach rolnych specjalizujących się w uprawach polowych w zależności od stosowanych strategii nawożenia NPK i CaO	196
Tabela 34. Wartość dodana brutto w towarowych gospodarstwach rolnych specjalizujących się w uprawach polowych w zależności od stosowanych strategii nawożenia NPK i CaO	198
Tabela 35. Średnia wartość dochodu rolniczego w towarowych gospodarstwach rolnych specjalizujących się w produkcji polowej w zależności od stosowanych strategii nawożenia NPK i CaO	198
Tabela 36. Charakterystyka predyktorów wykorzystanych w modelu drzewa CART	201

Wykresy

Wykres 1. Względna efektywność plonotwórcza NPK w zależności od odczynu gleby	47
Wykres 2. Wpływ pH na przyswajalność składników pokarmowych oraz na aktywność biologiczną gleb	54
Wykres 3. Udział w badanej populacji gospodarstw towarowych dokonujących zakupu nawozów wapniowych [%] oraz średnia wysokość stosowanych dawek CaO [kg/ha]	70
Wykres 4. Histogram średnich rocznych dawek nawozu wapniowego stosowanych w latach 2010–2016 w grupie 3 726 gospodarstw	74
Wykres 5. Udział w rynku głównych producentów nawozów mineralnych (NPK) na świecie w 2020 r. [%]	94
Wykres 6. Zużycie nawozów mineralnych (NPK) na świecie w latach 2017–2019 r. [%]	104

Wykres 7. Zużycie nawozów azotowych (N) w krajach Unii Europejskiej [tys. ton]	106
Wykres 8. Zużycie nawozów fosforowych (P) w krajach Unii Europejskiej [tys. ton]	106
Wykres 9. Zużycie nawozów mineralnych (NPK) w Polsce [tys. ton]	107
Wykres 10. Zużycie nawozów mineralnych (NPK) w Polsce [kg/ha UR]	108
Wykres 11. użycie nawozów mineralnych (NPK) w gospodarstwach rolnych według województw Polski [tys. ton]	110
Wykres 12. Zużycie nawozów mineralnych (NPK) w gospodarstwach rolnych według województw Polski [kg/ha UR]	112
Wykres 13. Zużycie nawozów wapniowych i wapniowo-magnezowych na tle nawozów mineralnych (NPK) w Polsce [tys. ton]	113
Wykres 14. Zużycie nawozów wapniowych i wapniowo-magnezowych na tle nawozów mineralnych (NPK) w Polsce [kg/ha UR]	114
Wykres 15. Zużycie nawozów wapniowych w gospodarstwach rolnych według województw Polski [kg/ha UR]	116
Wykres 16. Zużycie nawozów wapniowo-magnezowych w gospodarstwach rolnych według województw Polski [kg/ha UR]	118
Wykres 17. Główne powody niewykorzystania dopłat do zakupu i stosowania nawozów wapniowych w opiniach rolników [liczba wskazań]	128
Wykres 18. Bariery w ubieganiu się o dofinansowanie zadań w ramach <i>Ogólnopolskiego programu regeneracji środowiskowej gleb poprzez ich wapnowanie</i> w opiniach rolników [liczba wskazań]	130
Wykres 19. Bariery w ubieganiu się o dofinansowanie zadań w ramach <i>Ogólnopolskiego programu regeneracji środowiskowej gleb poprzez ich wapnowanie</i> w opiniach ekspertów [liczba wskazań]	131
Wykres 20. Opinie ekspertów nt. znajomości <i>Ogólnopolskiego programu regeneracji środowiskowej gleb poprzez ich wapnowanie</i> [%]	132
Wykres 21. Uczestnictwo rolników w szkoleniach (kursach) dotyczących wapnowania gleb [%]	134
Wykres 22. Zainteresowanie rolników udziałem w szkoleniach (kursach) dotyczących wapnowania gleb [%]	136
Wykres 23. Bariery wapnowania w opiniach rolników [liczba wskazań]	169
Wykres 24. Bariery wapnowania w opiniach przedstawicieli instytucji [liczba wskazań]	174
Wykres 25. Struktura gospodarstw według wysokości wapnowania (CaO w t/ha/rok) w latach 2016–2019 [%]	190

Wykres 26. Wartość produkcji roślinnej w gospodarstwach prowadzących działalność na powierzchni powyżej 50 ha UR i specjalizujących się w produkcji zbóż w zależności od zastosowanego poziomu wapnowania	192
Wykres 27. Wartość produkcji roślinnej w gospodarstwach specjalizujących się w produkcji zbóż w zależności od zastosowanego poziomu wapnowania i nawożenia NPK	197
Wykres 28. Wysokość dochodu rolniczego w gospodarstwach specjalizujących się w produkcji zbóż w zależności od zastosowanego poziomu wapnowania i nawożenia NPK	199
Wykres 29. Sekwencja kosztów dla drzew klasyfikacyjnych CART	202
Rysunek 30. Diagram drzewa klasyfikacyjnego CART dla wartości produkcji roślinnej	204

Rysunki

Rysunek 1. System korzeniowy jęczmienia w warunkach narastającego zakwaszenia	47
Rysunek 2. Zależności pomiędzy właściwościami, funkcjami i usługami ekosystemowymi gleb, a korzyściami dla człowieka	48
Rysunek 3. Sposób obliczania dochodu gospodarstwa rolnego według FADN	68
Rysunek 4. Eutrofizacja potoku w otoczeniu gruntów ornych	79
Rysunek 5. Grunty orne dotknięte erozją wodną z naniesionym namulem wskutek spływów powierzchniowych	81
Rysunek 6. Właściwie ukształtowany poprzeczno-stokowy układ pól na terenie urzeźbionym	81
Rysunek 7. Przykład obiektu Barnstädt (Saksonia-Anhalt, Niemcy) – mikroskala, ukazująca rolę zadrzewień śródpolnych w obniżania zagrożenia erozją wodną na terenach rolnych	83
Rysunek 8. Przykład kanału melioracyjnego, który w skutek bezpośredniego sąsiedztwa z nawożonymi terenami uprawnymi znajduje się w stanie zaawansowanej eutrofizacji	84
Rysunek 9. Przykłady stref buforowych wzdłuż cieków Wrzepskim na obiekcie Strzelce Wielkie (gmina Szczurowa, województwo małopolskie) w formie zadrzewień liniowych wraz z roślinnością podokapową obiektu	84

Rysunek 10. Przykład pola we wschodniej części obiektu badań (okolice stawu Polaniec) podlegającego silnym procesom erozyjnym	86
Rysunek 11. Przykład rolniczej przestrzeni produkcyjnej pozbawionej naturalnych barier dla spływów erozyjnych z różnych części obiektu badań	87
Rysunek 12. Po lewej i u dołu ciek melioracyjny z wyraźnymi śladami wykwitów żelazisto próchnicznych, po prawej u góry miejsce ujścia zamulonej wody z kilku zbieraczy do rowu melioracyjnego.	88
Rysunek 13. Przykłady zalanych fragmentów pól o różnej powierzchni na obiekcie badań.	89
Rysunek 14. Klasyfikacja nawozów według przepisów ustawowych w Polsce.	97
Rysunek 15. Podział nawozów mineralnych oferowanych na polskim rynku	98
Rysunek 16. Podział nawozów mineralnych jednoskładnikowych	98
Rysunek 17. Podział nawozów mineralnych wieloskładnikowych oferowanych na polskim rynku	100
Rysunek 18. Podział nawozów odkwaszających glebę oferowanych na polskim rynku	101
Rysunek 19. Schemat zaproponowanego procesu obliczeniowego	146
Rysunek 20. Przyjęta koncepcja analizy poprzez ocenę wpływu pól testowych o rozmiarze 10x10 m wraz z fragmentem analizowanego obszaru z widocznym podziałem na siatkę GRID	148
Rysunek 21. Układ granic własności na badanym obszarze wraz z mapą użytkowania terenu oraz zawartość jednej z warstw cyfrowej mapy glebowo-rolniczej	149
Rysunek 22. Zawartość numerycznego modelu terenu	149
Rysunek 23. Mapa przedstawiająca natężenie parametru określającego nachylenie terenu na analizowanym obszarze	150
Rysunek 24. Mapa warstwiczna oraz mapa przedstawiająca podział obszaru badań na zlewnie na tle numerycznego modelu terenu.	151
Rysunek 25. Mapa odległości pomiędzy elementami podziału powierzchniowego a siecią wód powierzchniowych	152
Rysunek 26. Zasada uzyskania mapy odległości przeliczeniowych biorących udział przy obliczaniu parametrów związanych ze spływem powierzchniowym	154
Rysunek 27. Przyjęte w modelu zmienności temperatur (lata: 2019 i 2021) oraz opadów atmosferycznych (lata: 2017, 2019, 2021)	156

Rysunek 28. Przykładowe mapa obrazujące zróżnicowanie wpływu poszczególnych pól obliczeniowych na zasilanie najbliższych elementów wód powierzchniowych (na przykładzie azotu)	161
Rysunek 29. Diagram drzewa klasyfikacyjnego CART dla strategii wapnowania	178

Mapy

Mapa 1. Lokalizacja powiatów wytypowanych do przeprowadzenia badań ankietowych	28
Mapa 2. Lokalizacja obiektu badań na tle mapy Polski oraz mapa topograficzna z lokalizacją cieków i zbiorników wodnych.	37
Mapa 3. Podział Polski ze względu na wartość odczynu gleby	44
Mapa 4. Przestrzenne zróżnicowanie gleb w klasach odczynu bardzo kwaśnego i kwaśnego [%]	45
Mapa 5. Rozmieszczenie przestrzenne zakładów produkujących nawozy mineralne w Polsce	96
Mapa 6. Zużycie nawozów mineralnych (NPK) w gospodarstwach rolnych według województw Polski, w 2020 r. [tys. ton]	109
Mapa 7. Zużycie nawozów mineralnych (NPK) w gospodarstwach rolnych według województw Polski, w 2020 r. [kg/ha UR]	111
Mapa 8. Zużycie nawozów wapniowych w gospodarstwach rolnych według województw Polski, w 2020 r. [kg/ha UR]	115
Mapa 9. Zużycie nawozów wapniowo-magnezowych w gospodarstwach rolnych według województw Polski, w 2020 r. [kg/ha UR]	117
Mapa 10. Obiekt badań na tle ortofotomapy	140
Mapa 11. Główne ciek przepływające przez obiekt Polanka Wielka oraz zbiorniki wodne.	142

Wdrażanie koncepcji Europejskiego Zielonego Ładu wymaga poszukiwania rozwiązań agrotechnicznych umożliwiających uzyskiwanie wysokich plonów przy jednoczesnym ograniczaniu ilości stosowanych środków produkcji pochodzenia przemysłowego, takich jak nawozy sztuczne czy środki ochrony roślin. Na znacznej części powierzchni Polski dominują gleby o niskim pH (gleby kwaśne i bardzo kwaśne), co zmniejsza efektywność wykorzystania składników pokarmowych dostarczanych roślinom w ramach nawożenia mineralnego i zwiększa koszty produkcji. Dla poprawy tej sytuacji niezbędne jest uregulowanie odczynu gleb poprzez systematyczne ich wapnowanie. Ilość zastosowanych nawozów odkwaszających i częstotliwość ich stosowania są zróżnicowane w skali kraju i na ogół niewystarczające w stosunku do potrzeb. Przygotowana przez pracowników naukowych Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie monografia stanowi próbę wskazania odpowiedzi na kluczowe w tym zakresie pytania:

- jakie czynniki powodują, iż obecny poziom wapnowania gleb nie jest wystarczający?
- jaki jest obecnie poziom wiedzy wśród rolników i pracowników instytucji okołorolniczych na temat efektów wapnowania gleb?
- czy znane są rolnikom i pracownikom instytucji okołorolniczych programy wspierające wapnowanie gleb?
- jakie są czynniki, wskutek których rolnicy nie wykorzystują w satysfakcjonującym stopniu programu wsparcia wapnowania gleb?
- w jaki sposób na przyszłość gospodarstw rolnych wpłynie realizacja założeń koncepcji Europejskiego Zielonego Ładu?

Przeprowadzone badania terenowe i modelowe, jak również obszerne studia literatury, założeń Wspólnej Polityki Rolnej oraz stosowanych rozwiązań w krajowej polityce rolnej pozwoliły autorom zaproponować rozwiązania sprzyjające zwiększeniu poziomu nawożenia odkwaszającego gleb w Polsce.

