



UNIwersYTET ROLNICZY
im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

KWASOWOŚĆ GLEB I STAN NAWOŻENIA WAPNIOWEGO W POLSCE W ŚWIETLE WYNIKÓW POWSZECHNEGO SPISU ROLNEGO 2020

– konsekwencje środowiskowe i ekonomiczne

Autorzy opracowania:

dr inż. Paweł Nicia, prof. URK
dr inż. Łukasz Paluch
dr hab. inż. Jacek Pijanowski, prof. URK
dr inż. Paweł Zadrozny, prof. URK
dr inż. Aleksandra Płonka
dr inż. Mariusz Dacko
dr hab. inż. Jarosław Janus, prof. URK
dr hab. inż. Tomasz Kowalik, prof. URK
dr hab. inż. Tomasz Wojewodzik, prof. URK

Opracowanie wykonane 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



„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
Za treść niniejszego opracowania odpowiada Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

SPIS TREŚCI

WPROWADZENIE.....	3
1. UZASADNIENIE TEORETYCZNE DLA WAPNOWANIA GLEB.....	5
1.1. Aspekty glebowe	5
1.2. Aspekty ekonomiczne.....	7
1.3. Aspekty przestrzenno-środowiskowe	10
2. ANALIZA ZRÓŻNICOWANIA POZIOMU NAWOŻENIA MINERALNEGO W POLSCE.....	15
2.1. Charakterystyka i klasyfikacja wybranych produktów dostępnych na polskim rynku nawozowym	15
2.2. Stan zużycia nawozów mineralnych (NPK) w Polsce	23
3. ANALIZA ZRÓŻNICOWANIA POZIOMU NAWOŻENIA WAPNIOWEGO W POLSCE.....	30
3.1. Wpływ wapnowania na środowisko glebowe i rośliny uprawne o znaczeniu gospodarczym w Polsce	30
3.2. Stan zużycia nawozów wapniowych i wapniowo-magnezowych w Polsce	34
4. OPIS METODYKI BADAN ORAZ UZASADNIENIE DOBORU OBIEKTÓW	43
4.1. Cel i zakres badań	43
4.2. Uzasadnienie doboru obiektów badań	45
4.3. Założenia metodyczne do oceny efektywności ekonomicznej gospodarstw rolnych stosujących różne strategie wapnowania gleb.....	48
5. OPIS METODYKI BADAŃ TERENOWYCH.....	52
5.1. Podstawowe założenia badawcze	52
5.3. Instrumenty pomiarowe – kwestionariusze ankiety.....	54
6. OPIS METODYKI MODELOWANIA.....	56
6.1. Utrata składników z nawozów azotowych i fosforowych z gleby	56
6.2. Założenia budowy modelu	57
6.3. Charakterystyka danych wejściowych	60
6.4. Kluczowe etapy budowy modelu.....	64
PODSUMOWANIE	67
BIBLIOGRAFIA.....	69
SPIS TABEL, WYKRESÓW, RYSUNKÓW, MAP	73

WPROWADZENIE

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 wpływają również na ilość zabiegów agrotechnicznych, jakie należy przeprowadzić przygotowując je do uprawy. Czynniki te bezpośrednio 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 gleby, które wytworzyły się z osadów polodowcowych. Gleby te zaliczane są do gleb lekkich i bardzo lekkich, które są podatne na zakwaszenie. Z genezy gleb wynikają ich właściwości chemiczne i fizyczne. Przemyte przez topniejące wody lodowców osady polodowcowe, charakteryzujące się brakiem węglanów w skałach macierzystych, stanowią większość skał macierzystych gleb w Polsce. Brak węglanów w skałach macierzystych przekłada się na odczyn gleb. Dane Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa Państwowego Instytutu Badawczego (IUNG PIB) wskazują, że ponad 70% gleb w Polsce charakteryzuje się odczynem kwaśnym i silnie kwaśnym ($\text{pH} < 6,5$). 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].

Niskie wartości pH gleb wykorzystywanych rolniczo wpływają negatywnie na jakość rolniczej przestrzeni produkcyjnej. Ten negatywny wpływ kwaśnego odczynu gleb jest bezpośrednio odczuwany przez rolnika w postaci niższego i jakościowo gorszego plonu, co przekłada się na opłacalność produkcji rolnej, zwłaszcza na glebach niższych klas. Zaledwie około 0,5% gruntów rolnych jest zaliczanych w Polsce do I klasy bonitacyjnej, czyli do gleb ornych najlepszych. Są to, zgodnie z klasyfikacją bonitacyjną gleb Polski, najlepsze czarnoziemy, najlepsze mady czarnoziemne pyłowe i najlepsze czarne ziemie wytworzone z glin marglistych lub utworów pyłowych, najlepsze czarnoziemne rędziny deluwialne, najlepsze gleby brunatne wytworzone z lessów lub utworów lessowatych oraz wyjątkowo najlepsze gleby brunatne wytworzone z glin. Gleby te gwarantują uzyskanie satysfakcjonujących plonów nawet przy stosunkowo niskich nakładach. Jednak większość pozostałych gleb, wytworzonych z bezwęglanowych skał macierzystych, klasyfikuje się w gorszych klasach bonitacyjnych. Gleby te wymagają od rolników znacznie większej ilości zabiegów agrotechnicznych, wśród których jednym z najważniejszych powinno być ich wapnowanie.

Wapnowanie to jeden z najprostszych zabiegów agrotechnicznych, który powinien być cyklicznie wykonywany na większości gruntów rolnych w Polsce. Jednak, jak wykazały wyniki Powszechnego Spisu Rolnego 2020, w latach 2019-2021 tylko w nieco ponad 21% gospodarstw rolnych przeprowadzono wapnowanie gleb. Zabieg wapnowania gleb według Kodeksu Dobrej Praktyki Rolniczej powinien być wykonywany w zależności od typu gleby raz na 2-4 lata [Powszechny Spis Rolny 2020]. Na podstawie danych ze stacji chemiczno-rolniczych oraz wywiadów z doradcami rolno-środowiskowymi można stwierdzić, że rolnicy zdecydowanie za rzadko badają gleby pod kątem potrzeb wapnowania, a jeszcze rzadziej wykonują ten zabieg pomimo, że znaczna ich część może skorzystać z dofinansowania na wykonanie zabiegu odkwaszania gleb.

Analizując ilości zużytych nawozów wapniowych w Polsce [Powszechny Spis Rolny 2020] stwierdzono, że największy wzrost ich zużycia odnotowano w 2020 r. Był on efektem Ogólnopolskiego programu regeneracji środowiskowej gleb poprzez ich wapnowanie, który został wprowadzony w 2019 roku przez Zarząd Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW) [www.gov.pl 2022], www.schr.gov.pl 2022). W ramach tego

programu, rolnicy mogą ubiegać się o dofinansowanie do zakupu nawozów wapniowych w wysokości od 100,00 PLN do 300,00 PLN za tonę czystego składnika odkwaszającego (CaO oraz MgO), w zależności od wielkości gospodarstwa rolnego oraz wartości pH gleb. Biorąc jednak pod uwagę liczbę wniosków złożonych w ramach tego programu do końca 2021 r. należy stwierdzić, że rolnicy nie wykorzystują w pełni możliwości tego narzędzia. Również we własnym zakresie nie stosują nawozów wapniowych w ilościach pozwalających na podniesienie pH gleb do optymalnego poziomu.

W Polsce istnieje silne zróżnicowanie przestrzenne produkcji roślinnej i jej intensywności. Zróżnicowany jest również poziom nawożenia gleb. Największe ilości nawozów wapniowych w 2020 r. zastosowano w województwie opolskim (średnio 146,5 kg/ha UR), zaś najniższe w małopolskim (średnio 52,4 kg/ha UR) [www.stat.gov.pl 2022]. Biorąc pod uwagę genezę gleb użytkowanych rolniczo w Polsce, brak węglanów w większości ich skał macierzystych oraz intensywność upraw należy bezsprzecznie stwierdzić, że są to wartości zdecydowanie zbyt niskie, aby zapewnić odpowiednie warunki do uzyskania optymalnych plonów płodów rolnych o wysokiej jakości.

1. UZASADNIENIE TEORETYCZNE DLA WAPNOWANIA GLEB

1.1. Aspekty glebowe

Regulacja odczynu gleb to jeden z kluczowych problemów mających dominujące znaczenie dla polskiego rolnictwa. Wynika to z faktu, że około 2/3 areatu gleb uprawnych Polski to gleby lekkie i bardzo lekkie, które są bardzo podatne na zakwaszenie [Jadczyszyn i Ochal 2013]. Zakwaszenie jest efektem procesów glebotwórczych oraz oddziaływań antropogenicznych. Szacuje się, że około 50% gleb użytków rolnych charakteryzuje się odczynem bardzo kwaśnym i kwaśnym ($\text{pH} \leq 5,5$) [Rutkowska 2018, Ochal i Smreczek 2020]. Stanowi to bardzo poważny problem (czasami wręcz barierę) w produkcji roślinnej oraz stwarza zagrożenie dla środowiska [Filipek 2001, Ochal 2015]. Zakwaszenie, jako niekorzystne zjawisko w produkcji rolniczej objawia się najczęściej znaczną obniżką ilości i jakości plonu wynikającą z pogorszenia się właściwości gleb, tzn. zmniejszenia się w nich ilości materii organicznej i zwiększa poziom wymywania składników mineralnych wnoszonych do gleby wraz z nawozami. Natomiast dla środowiska, ujemny wpływ zakwaszenia przejawia się poprzez niską efektywność wykorzystania azotu i fosforu, zwiększenie gazowych strat azotu, większą mobilność glinu i innych metali w glebie, co w połączeniu z wymywaniem biogenów, przyczynia się do pogorszenia jakości wód powierzchniowych [Ochal i Smreczek 2020].

Odczyn gleb to jeden z najważniejszych parametrów, który wraz z jej zasobnością i żyznością, warunkami klimatycznymi oraz poziomem nawożenia i kultury rolnej stanowią potencjał plonotwórczy w uprawie roślin. Zakwaszenie gleb jest jednym z dominujących czynników, które wpływają na ograniczenia w produkcji roślinnej w Polsce. Wynika ono z kompilacji warunków glebowo-klimatycznych, ale także z wieloaspektowej działalności człowieka [Zawadzki 1999, Bednarek i inni 2004, Hillel 2012, Mocek 2015]. Ponad 90% spośród areatu glebowego Polski to gleby wykształcone ze skał pochodzenia polodowcowego niezawierających lub pozbawionych związków wapnia. W glebach powstałych z takich skał macierzystych, w regionach gdzie występuje wyższy poziom opadów (pow. 600 mm) dochodzi dodatkowo do łatwego wymywania z ich kompleksów sorpcyjnych kationów o charakterze zasadowym. Zjawisko to może ulegać nasileniu w okresie jesienno-zimowym, gdy w niezamarzniętą glebę woda opadowa wnika znacznie głębiej niż w okresie letnim. Za obniżenie wartości pH gleby odpowiadają także procesy wietrzenia minerałów krzemianowych i glikokrzemianowych [Zawadzki 1999, Mocek 2015]. Wartość zakwaszenia, za które odpowiadają określone czynniki naturalne, można określić poprzez tzw. równoważnik wapniowy, czyli ilość kilogramów CaO, jaką trzeba zastosować, aby zrównoważyć efekt wpływu tego czynnika w danej glebie. W warunkach klimatyczno-glebowych Polski ilość ta to 120-250 kg CaO/ha [Vademecum wapnowania 2018].

Geneza gleb oraz zachodzące w nich naturalne procesy nie stanowią dla nich zagrożenia zakwaszeniem. Problem zakwaszenia nasilił się dopiero w wyniku szeroko rozumianej antropopresji na pokrywą glebową, poprzez zanieczyszczenia gazowe atmosfery, kwaśne deszcze oraz intensyfikację i chemizację rolnictwa. Dodatkowo, za obniżenie pH w glebie odpowiada wyniesienie kationów Ca, Mg, K, i Na wraz plonem (równoważnik wapniowy to 50-300 kg CaO/ha) [Zawadzki 1999, Mocek 2015]. Skuteczność uprawy roślin (ich wzrost, odporność na czynniki stresowe, wysokość plonu) wynika z żyzności gleby, o której decyduje głównie poziom jej zasobności w przyswajalne dla roślin formy składników odżywczych, przede wszystkim w takie pierwiastki jak azot fosfor i potas. Zasobność gleb kształtowana jest przez ich odczyn, który wpływa na gospodarkę i dostępność makro- i mikroelementów oraz metali ciężkich.

W przypadku azotu, przy niższym pH gleby, rośliny pobierają jego formę saletrzaną, a przy wyższym - amonową. Przy kwaśnym odczynie gleby w warunkach beztlenowych blokowane są procesy nityfikacji, dochodzi do strat gazowych, a nietrwałe azotany i azotyny są wypłukiwane lub ulegają przemianom do azotu cząsteczkowego. Łącznie, stanowi to najważniejszą przyczynę strat tego makroskładnika w glebie. Ze względu na to, że fosfor występuje w glebie nie tylko w związkach mineralnych, ale też organicznych, a przez rośliny pobierany jest wyłącznie w formie mineralnej, to jego forma organiczna musi ulec mineralizacji. Optymalizacja wykorzystania potencjału glebowego i nawożenia fosforowego występuje przy pH 6,0-7,0 (gleby mineralne) i 5,5-6,5 (gleby próchniczno-piaszczyste). Przy odczynie kwaśnym w glebach tworzą się trwałe związki fosforu z glinem i żelazem, a zasadowym – z wapniem. Dostępność potasu dla roślin nie zależy od odczynu gleby. Jednak odczyn odpowiada za sorpcję tego pierwiastka przez kompleks sorpcyjny gleby. Przy niskich wartościach pH dochodzi do intensyfikacji wymywania potasu z gleb (w glebach lekkich i silnie zakwaszonych prowadzi to do ich silnego zubożenia w ten makroelement) oraz obniżenia ilości dostępnego potasu dla roślin i efektywności nawożenia tym pierwiastkiem [Zawadzki 1999, Bednarek i inni 2004, Hillel 2012, Mocek 2015].

Większość mikroelementów wykazuje najlepszą przyswajalność dla roślin przy odczynie lekko kwaśnym i kwaśnym (wyjątkiem tu jest molibden, który wymaga odczynu obojętnego). Natomiast przy bardzo kwaśnym odczynie (<5,0) dochodzi do wzrostu stężenia jonów glinu i manganu, które są potencjalnie toksyczne dla korzeni roślin. W takich warunkach następuje zakłócenie prawidłowego rozwoju i funkcjonowania systemu korzeniowego roślin, co niestety ujawnia się zbyt późno i często jest mylone z objawami niedoboru składników odżywczych lub chorobami roślin innego pochodzenia [Zawadzki 1999, Hillel 2012, Mocek 2015]. Zasobność gleby zależy od jej zdolności sorpcyjnych regulowanych przez kompleks sorpcyjny, czyli układ koloidalny gleby zbudowany z mocno rozdrobnionych elementów cząstek stałych pochodzenia organicznego, organiczno-mineralnego i mineralnego. Układ ten odpowiada za gospodarkę makro- i mikroelementami, czyli ich magazynowanie, zapobieganie stratom przez wymywanie, dostępność i regulowanie pobierania przez rośliny. Funkcjonowanie kompleksu sorpcyjnego zależy od odczynu gleby, zwłaszcza gdy jest on oparty na cząstkach pochodzenia organicznego i organiczno-mineralnego (związki organiczne z Fe, Al, Ca, Mg). W środowisku kwaśnym, wodór jest trwale wiązany przez kompleks sorpcyjny co powoduje utrudnienia w wiązaniu przez niego innych kationów. Wzrost wartości pH gleby powoduje wzrost jej pojemności sorpcyjnej, co powoduje, że kompleks sorpcyjny ma możliwości wymiany i wiązania kationów o charakterze zasadowym [Zawadzki 1999, Bednarek i inni 2004, Hillel 2012, Mocek 2015].

Odczyn gleby jest także jednym z czynników modyfikujących strukturę gleby, czyli przestrzenne rozmieszczenie stałych składników gleby kształtujące ilość i kształt jej porów (wolnych przestrzeni wymiennie wypełnionych powietrzem lub roztworem glebowym). Najbardziej pożądanym rodzajem struktury jest struktura agregatowa (gruzetkowa), w której występują odpowiednie dla rozwoju roślin stosunki wodno-powietrzne. Agregaty glebowe to skupienia pojedynczych koloidów glebowych o zróżnicowanym rozmiarze i trwałości. Mogą się one tworzyć m.in. poprzez łączenie się koloidów w wyniku obniżenia potencjału elektrokinetycznego na powierzchni koloidów (koagulacja). Proces ten zachodzi przy nagromadzeniu się dużej ilości kationów zasadowych w koloidach glebowych. Z tego powodu, duże wysycenie kompleksu sorpcyjnego kationami wapnia i magnezu (np. w wyniku przeprowadzenia zabiegu wapnowania gleb) wpływa bardzo korzystnie na tworzenie się optymalnej struktury glebowej sprzyjającej rozwojowi roślin [Bednarek i inni 2004, Hillel 2012, Deja i Rymarczyk 2018]. Silne zakwaszenie gleby wpływa niekorzystnie na aktywność mikroorganizmów rozkładających słomę, resztki poźniwne oraz nawozy organiczne. W takich warunkach, spowalnia się rozwój wolno żyjących w glebie bakterii azotowych oraz

mikroorganizmów współżyjących z większością roślin bobowatych. Dodatkowo osłabiana jest intensywność procesu pobierania przez nie azotu z powietrza [Hillel 2012, Mocek 2015, Deja i Rymarczyk 2018, *Vademecum wapnowania* 2018].

Wapnowanie to bardzo ważny zabieg oddziałujący nie tylko na jakość i funkcje gleb, ilość i jakość plonów, ale także na środowisko przyrodnicze. W warunkach Polski i polskiego rolnictwa intensyfikacja wapnowania, czy wręcz czasami włączenie tego zabiegu do podstawowej praktyki rolniczej jest konieczne i nie powinno podlegać dyskusji [Ochal i Smreczek 2020, Jadczyzyn 2021]. W latach 70 i 80-tych ubiegłego wieku przeprowadzono bardzo szeroko zakrojone badania dotyczące wpływu wapnowania gleb na właściwości fizyczne i chemiczne gleb charakteryzujących się zróżnicowanym składem granulometrycznym i różnym poziomem kwasowości [Boguszewski 1980, *System nawożenia gruntów ornych w Polsce...* 1986, Fotyma i Zięba 1988]. Efektem tych badań było opracowanie naukowych podstaw systemu zaleceń nawozowych w zakresie wapnowania [*Zalecenia nawozowe. Cz. II ...* 1986], które zostały upowszechnione na terenie Polski i są do tej pory stosowane w praktyce rolniczej [Hołubowicz-Kliza 2006, Jadczyzyn i inni 2008, Grzebisz i inni 2012, Ochal 2012]. W okręgowych stacjach chemiczno-rolniczych (OSChR) stanowią one także podstawę do określania dawek nawozów wapniowych dla gospodarstw, które ubiegają się o dofinansowanie zakupu wapna nawozowego w ramach *Ogólnopolskiego programu regeneracji środowiskowej gleb poprzez ich wapnowanie*, realizowanego przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w latach 2019-2023 [www.gov.pl 2022, schr.gov.pl 2022].

1.2. Aspekty ekonomiczne

Prawidłowy rozwój i wysokie plony roślin są wypadkową szeregu synergicznie oddziałujących ze sobą czynników. Jednym z nich jest optymalny odczyn gleby. Dla większości roślin odczyn ten wynosi 5,5 - 7,0. Wraz z rosnącym zakwaszeniem gleby spada przyswajalność 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 uwstecniając się do formy fosforanu żelaza lub glinu. Inne składniki: potas, wapń i magnez, przemieszczają się w głąb gleby poza zasięg korzeni roślin [www.agrofaakt.pl 2022]. Nie dziwi, więc, że teoria i praktyka rolnicza zgodnie akcentują fakt, że odczyn gleby wywiera istotny wpływ na wynik ekonomiczny działalności rolniczej. 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, na bardzo kwaśnych glebach ($\text{pH} \leq 4,5$) katastrofalnie spada przyswajalność składników pokarmowych [www.rolnictwoprecyzyjne.eu 2022]:

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

Tymczasem przy uregulowanym odczynie zbliżonym do 7,0 wszystkie w/w składniki mogą zostać przyswojone przez rośliny praktycznie w 100%. 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) optaca 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.

Choć 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 pH zbliżone do obojętnego (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. Jak podaje portal Farmer.pl, udział gleb kwaśnych wynosi w Polsce aż 60%. Najniższy, choć wcale nie mały, jest on w województwie opolskim (35%). Ale już w województwie podkarpackim dotyczy on 76% 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 UR. Tymczasem typowe jednostkowe dawki wapnowania podawane są w tonach. W sposób oczywisty nasuwa się 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 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, które stanowią główne lub nawet jedyne źródło utrzymania rodziny rolnika. Tu 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 wynoszenia 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) kosztuje około 5 000,00 PLN konieczne staje 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, lecz 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 1000,00 PLN/ha. Ale jeśli 25-50% z dostarczonych w nawozie pierwiastków nie zasilą 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% 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 rozsypania 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 odstępie 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.

Podając 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 przeladunku 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 późniwy, 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 odczynu gleby. Portal AGROFAKT zwraca uwagę, że lepiej jest wapnować pola co roku mniejszymi dawkami [www.agrofakt.pl 2022]. 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.

1.3. Aspekty przestrzenno-środowiskowe

Eutrofizacja jest procesem globalnym występującym w wodach na całym świecie. Wywiera niekorzystne efekty wpływające na ich jakość, dlatego też polityka wodna Unii Europejskiej ustanowiła dyrektywy, które zawierają wymogi oceny tego zjawiska, a także wdrażanie działań ochronnych w państwach członkowskich (dyrektywa ściekowa (Dyrektywa 91/271/EWG), ramowa dyrektywa wodna (RDW) (Dyrektywa 2000/60/WE) oraz dyrektywa azotanowa (DA) (Dyrektywa 91/676/EWG) [Soszka 2009]. Eutrofizację według ustawy z dnia 20 lipca 2017 r. Prawo wodne (Dz.U. 2017 poz. 1566) definiuje się jako: „wzbogacenie wody związkami azotu powodujące przyspieszony wzrost glonów i wyższych form życia roślinnego i skutkujące niepożądanymi zaburzeniami równowagi organizmów obecnych w wodzie oraz niekorzystnymi zmianami jej jakości”, natomiast RDW i DA nie przedstawiają bezpośredniej definicji tylko ocenę stopnia eutrofizacji, tj.: „zawiera się w ocenie stanu ekologicznego, ponieważ zwiększona dostawa związków biogennych i zwiększenie ich stężenia w wodach wywiera wpływ na stan elementów biologicznych i fizyko-chemicznych. Dodatkowo specyficzne odniesienie do

eutrofizacji stanowi wymóg oszacowania wielkości wszystkich znaczących punktowych i obszarowych źródeł zanieczyszczeń z uwzględnieniem substancji, które przyczyniają się do eutrofizacji (w szczególności azotany i fosforany)" [Soszka 2009].

Z przyrodniczego punktu widzenia eutrofizacja to proces naturalny. Jest on związany ze wzrostem trofii (żywności wód), głównie poprzez wzrost stężeń związków bogatych w pierwiastki biogenne (azot i fosfor). Proces ten w warunkach naturalnych jest bardzo powolny. Jednak człowiek poprzez rozwój działalności gospodarczej mocno wpływa na jego przyspieszenie (nawet do kilkudziesięciu razy), co doprowadza do szybszej degradacji ekosystemów wodnych [Kajak 2001, Halecki i inni 2019, Borek i Kowalik 2022,]. Do pewnego momentu proces ten jest pożądany, gdyż wpływa na wzrost produkcji biologicznej, w tym wzrost produkcji ryb. Jednak po przekroczeniu pewnej granicy wywołuje niekorzystne efekty. Do nich należą:

- pojawienie się w nadmiarze glonów fitoplanktonowych,
- pogorszenie się warunków świetlnych w strefie litoralu,
- deficyt tlenowy,
- brak tlenu i zanik roślinności litoralowej potęgujące eutrofizację.

W skrajnych sytuacjach woda ulega zatruciu produktami niepełnego rozkładu substancji organicznej [Kajak 2001, Kubiak i Tórz 2005]. Jednak najbardziej niekorzystny jest czynnik antropogeniczny, który wpływa na tempo eutrofizacji. Zalicza się tu zwłaszcza takie elementy jak: erozja gleby, spływy nawozów organicznych i mineralnych z pól, zanieczyszczenia z turystyki i rekreacji, spływ nie oczyszczonych lub niedostatecznie oczyszczonych ścieków komunalnych i ścieków z przemysłu rolno-spożywczego, intensywny chów ryb, wycinka lasów [Jezireska-Madziar i Pińskwar 2008]. Powyższe procesy są bardzo niekorzystne, gdyż uwalniają i przenoszą do wód nadmierne ilości związków biogenych (głównie azot i fosfor). Szkodliwe oddziaływanie biogenów zależy od wielkości ich ładunku. Gdy ich ładunek jest większy od możliwości przyswojenia przez roślinę i większy od zdolności sorpcyjnych gleby wówczas przenikają do wód wzmagając eutrofizację [Bojanowska i inni 2004].

Podstawą racjonalnego nawożenia jest rozpoznanie zasobności gleby w składniki pokarmowe (analiza gleby) oraz uregulowany odczyn gleby. Stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego zasadami jest to procentowy udział kationów zasadowych (Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Na^+) w całkowitej pojemności sorpcyjnej. Kationy zasadowe stanowią zasadniczą pulę składników pokarmowych, które mogą zostać pobrane przez rośliny po ich przejściu do roztworu glebowego. Obecność dwuwartościowych kationów o charakterze zasadowym (wapń, magnez) w kompleksie sorpcyjnym wpływa korzystnie na strukturę gleby. Stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego zasadami ma w Polsce tendencję spadkową, co jest związane ze stratami dwuwartościowych kationów zasadowych. Wskazuje to na potrzebę uzupełniania kationów zasadowych, szczególnie wapnia i magnezu, poprzez wapnowanie.

Erozja gleby jest to destrukcja gleby przez wodę, śnieg, lód, wiatr, zwierzęta i człowieka. To degradowanie i zmiany gleb pod wpływem sił przyrody i gospodarczej działalności człowieka. Zależnie od głównego czynnika sprawczego wyróżnia się różne rodzaje erozji, z których dwa podstawowe to erozja wodna oraz erozja wietrzna [Nowocień 2015]. Czynnikiem mającym największy wpływ na występowanie i nasilenie erozji wodnej są: opady atmosferyczne, zróżnicowana rzeźba (stoczystość) terenu, podatność gleb na spłukiwanie i sposób użytkowania ziemi. Zabiegi przeciw erozji wodnej muszą przeciwdziałać następującym jej skutkom [Pijanowski i inni] 2021]:

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

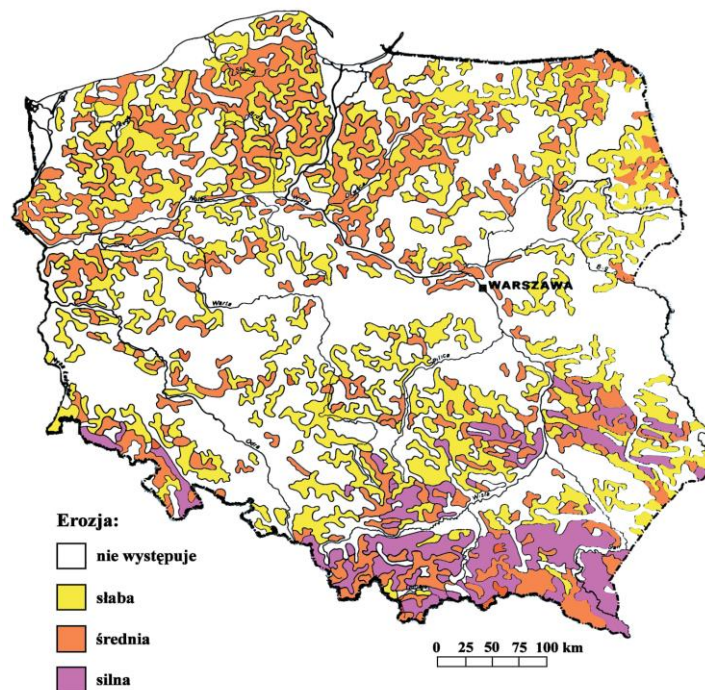
Chociaż Polska znajduje się w strefie klimatu umiarkowanego o średniej ilości opadów, to jednak około 1/3 obszaru kraju z racji silnego ukształtowania lub gleb podatnych na spłukiwanie powierzchniowe jest znacznie zagrożona erozją wodną (mapa 1).

Erozja wietrzna (eoliczna) to wywiewanie z powierzchni gleby i przenoszenie na różne odległości ziaren oraz cząstek glebowych i ziemnych (próchnicy, pyłu, iltu, piasku, okruchów skalnych). Głównymi czynnikami erozji wietrznej są: siła wiatru, podatność gleb na erozję wietrzną, stan wilgotności gleby, rzeźba terenu i okrywa roślinna. Obszary zagrożone erozją gleb wymagają stosowania specjalnych działań prewencyjnych i rehabilitacyjnych, jakimi są melioracje przeciwoerozyjne. Zgodnie z wynikami wieloletnich badań Józefaciuk A. i Józefaciuk Cz. (1999), głównymi celami melioracji przeciwoerozyjnych są:

- ograniczenie występowania i zmniejszenie nasilenia procesów erozyjnych,
- zachowanie potencjału produkcyjnego gleb i niedopuszczenie do jego niekorzystnych przemian,
- wydłużenie obiegu wody w krajobrazie i przeciwdziałanie deformacyjnym zmianom hydrografii i hydrologii cieków rzecznych,
- poprawienie ekotechnicznych warunków użytkowania ziemi, włącznie z rekultywacją gruntów.

Jako podstawowe zabiegi przeciwoerozyjne należy stosować natomiast:

- rozmieszczenie przestrzenne użytków produkcyjnych i ochronnych stosownie do rzeźby terenu,
- wprowadzenie układu działek i pól umożliwiającego uprawę poprzeczno-stokową,
- stosowanie agrotechniki przeciwoerozyjnej,
- planowanie dróg rolniczych z uwzględnieniem rzeźby terenu i w ścisłej koordynacji z układem działek i pól oraz umacnianie erodowanych odcinków dróg,
- rekultywacja i zagospodarowanie nieużytków erozyjnych (np. wąwozów, stromych zboczy) oraz likwidowanie trudnej mikrorzeźby terenu,
- stosowanie urządzeń do rozpraszania i odprowadzania powierzchniowych spływów wody.



Mapa 1. Mapa potencjalnej erozji wodnej w Polsce

Źródło: Józefaciuk i Józefaciuk 1999.

Każdy z wymienionych zabiegów wykazuje określone działanie ochronne, lecz najlepsze efekty uzyskuje się przy ich kompleksowym stosowaniu. Dodatni wpływ zabiegów przeciwoerozyjnych na dziedziny gospodarcze przejawia się m.in. w zmniejszaniu nakładów na:

- usuwanie namułów i renowacje dróg oraz szlaków komunikacyjnych, urządzeń melioracyjnych i wodnych, budynków itp.,
- oczyszczanie z namułów szlaków wodnych oraz utrzymywanie w odpowiednim stanie czystości wód pitnych i przemysłowych,
- ochronę terenów zabudowanych (osiedli, obiektów przemysłowych i innych) przed zamulaniem i uszkodzaniem przez erozję.

Zabiegi przeciwoerozyjne pod względem okresu działania można podzielić na trwałe (wieloletnie) i okresowe (sezonowe). Do działań trwałych należą przede wszystkim zabiegi o charakterze urządzeniowym, takie jak transformacja użytków, układ pól i dróg, urządzenia techniczne (tarasowanie zboczy, umacnianie dróg i cieków stałych, budowa grobli itp.). Do działań okresowych należą m.in. agrotechnika przeciwoerozyjna oraz rowy odprowadzające okresowe spływy powierzchniowe. Jak wskazują Józefaciuk A. i Józefaciuk Cz. (1999) programowanie działań przeciwoerozyjnych winno obejmować trzy etapy.

Etap I to programowanie, które składa się z dwóch faz, tj.: analitycznej i koncepcyjnej.

Faza analityczna jest ukierunkowana na charakterystykę środowiska rolniczego, obejmuje analizę warunków przyrodniczych i gospodarczych oraz ocenę zagrożenia erozją wodną i stopnia degradowania procesami erozyjnymi. W badaniach dotyczących charakterystyki warunków przyrodniczo-gospodarczych chodzi zwłaszcza o wyeksponowanie takich typologicznych cech rozpatrywanych czynników, które mają szczególny wpływ na stan zagrożenia erozją i na nasilenie procesów erozyjnych. Cechy te to przede wszystkim:

- nachylenie, kształt, długość i ekspozycja stoków,
- podatność na zmywy i skutki erozyjnej degradacji gleb,
- okresy pogodowe sprzyjające erozji, głównie z roztopami śniegowymi i z ulewami letnimi,
- rozmieszczenie lasów i użytków rolnych w rzeźbie terenu,
- układ działek i pól ornych względem nachylenia terenu,
- udział roślin glebochronnych (zbóż ozimych, motylkowatych, traw) w strukturze zasiewów i następstwo upraw polowych,
- usytuowanie dróg rolniczych w rzeźbie terenu i stan ich eksploataowania.

Faza koncepcyjna obejmuje opracowanie koncepcji określającej zakres i metody działań przeciwoerozyjnych wraz z wnioskami dotyczącymi inwestycji. Prace nad koncepcją rozpoczyna się od ustalenia kierunków produkcji rolniczej. Następnie opracowuje się koncepcję zagospodarowania nieużytków erozyjnych (np. wąwozów, stromych zboczy) i innych, takich jak grunty odłogowane, różne usypiska, wyrobiska itp. To stanowi podstawę do kolejnego zadania, którym jest rozmieszczenie w rzeźbie terenu użytków - zalesień, gruntów ornych, zbiorników wodnych oraz zadrzewień i zadarnień ochronnych (fitomelioracyjnych), stosownie do ich funkcji produkcyjnych i przeciwoerozyjnych. Następnie przystępuje się do kształtowania terenu, ze szczególnym uwzględnieniem technicznych parametrów programowanych zabiegów, takich jak:

- przestrzenne rozmieszczenie i procentowy udział użytków (rolnych, leśnych, wodnych i innych) stosownie do przyrodniczo-gospodarczych warunków, ale w myśl zasad ochrony gleb przed erozją wodną,
- wielkość, kształt, układ pól zgodnie z wymogami przeciwoerozyjnymi, ale z uwzględnieniem ekonomiki prac polowych,

- struktura dróg transportu wewnętrznego (lokalizacja i umocnienie) pod kątem możliwie największej efektywności użytkowania i zabezpieczenia przed erozją.

Opracowanie koncepcji działań przeciwoerozyjnych kończy się określeniem zasad agrotechniki, w których szczególną uwagę trzeba zwrócić na:

- właściwy udział upraw glebochronnych w strukturze zasiewów (wieloletnich mieszanek trawiastych, motylkowatych, zbóż ozimych),
- przeciwoerozyjne następstwo roślin,
- sposób uprawy roli zapewniający walory ochronne, ale równocześnie uzasadniony ekonomicznie,
- zróżnicowanie nawożenia odpowiednio do erozyjno-agroekologicznych siedlisk (wierzchowiny, zbocza, podnóża, doliny).

Stosownie do wnioskowanych zabiegów przeciwoerozyjnych opracowuje się program inwestycyjny, w którym określa się rozmiar rzeczowy, nakłady finansowe, podział na przedsięwzięcia i cykle inwestycyjne oraz kolejność realizacji inwestycji.

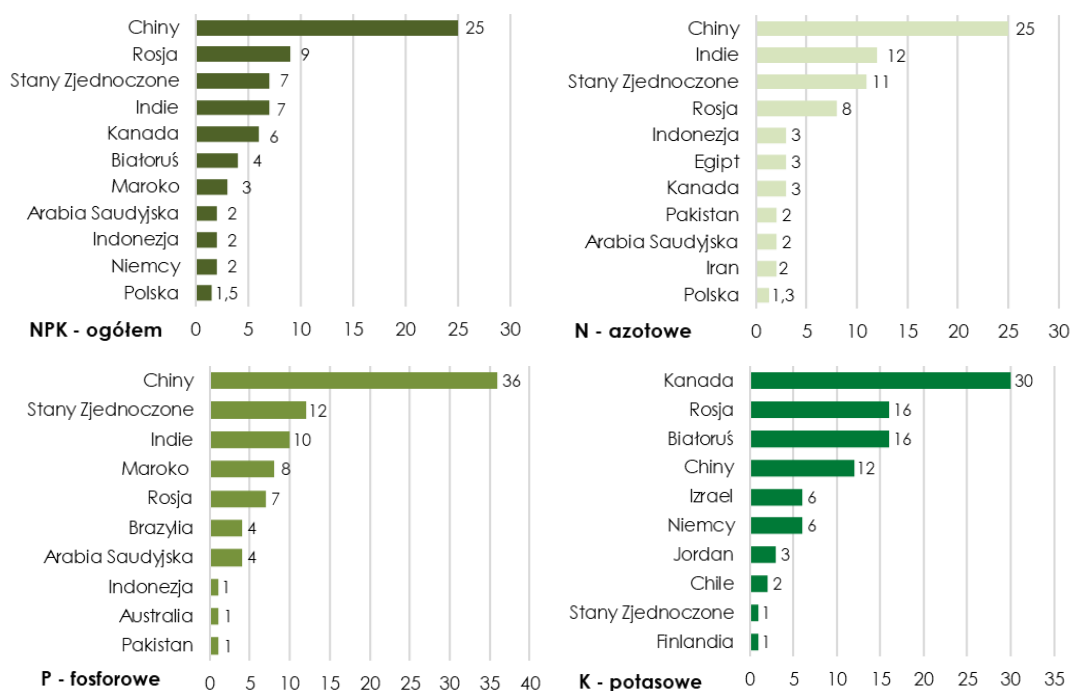
Etap II to projektowanie, które polega na konkretyzowaniu i szczegółowym opracowaniu koncepcji zawartych w programie. Obejmuje on opracowanie założeń techniczno-ekonomicznych oraz projektów technicznych dla wydzielonych przedsięwzięć inwestycyjnych, nie tylko w zakresie ochrony gleb przed erozją wodną, ale również w zakresie scalania gruntów.

Etap III to realizacja zadania, która polega na wyborze w ramach przetargu przedsiębiorstwa wykonawczego i jednostki kontrolującej. Określa się zakres nadzoru autorskiego i działalność lokalnych i innych organów władzy administracyjno-gospodarczej oraz udział użytkowników gruntów w świadczeniach na rzecz wdrożeń. Ponadto należy określić obowiązki użytkowników gruntów i miejscowej służby rolnej po zakończeniu prac wdrożeniowych. Chodzi tu zwłaszcza o określenie zasad racjonalnego użytkowania nowo utworzonej rolniczej przestrzeni produkcyjnej i właściwej konserwacji wykonanych urządzeń ekotechnicznych.

2. ANALIZA ZRÓŻNICOWANIA POZIOMU NAWOŻENIA MINERALNEGO W POLSCE

2.1. Charakterystyka i klasyfikacja 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% całkowitej światowej produkcji. Największym producentem od 1992 r. są niezmiennie Chiny z blisko 25% udziałem w produkcji globalnej. Pozostali liczący się producenci nawozów to Rosja z prawie trzykrotnie mniejszym wolumenem (około 9%), a także Indie i Stany Zjednoczone (około 7%), Kanada (około 6%) oraz Białoruś (około 4%). 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% nawozów azotowych, 85% nawozów fosforowych i 95% 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 te pięć krajów wytwarza ponad 3/4 światowej podaży fosforu [Impacts and Repercussions of Price... 2022] (wykres 1).



Wykres 1. 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.

W ramach państw członkowskich Unii Europejskiej najwięcej nawozów mineralnych produkuje się w Niemczech. We wspólnocie produkcja nawozów prowadzona jest także we Francji, Hiszpanii, Belgii, Włoszech, Holandii, Austrii, Litwie, Rumunii oraz w Czechach i na Węgrzech. Wymienione kraje wraz z Niemcami i Polską należą do Europejskiej Organizacji Producentów Nawozów (z ang. *Fertilizers Europe*), tj. organizacji zrzeszającej największe europejskie przedsiębiorstwa produkujące nawozy. Pomiedzy krajami Unii Europejskiej istnieją jednak wyraźne różnice w skali produkcji, wielkości obrotów handlu zagranicznego oraz w zużyciu nawozów mineralnych. Niemcy i Polska należą do liczących się w Europie producentów nawozów mineralnych. Udział Niemiec w światowej produkcji nawozów mineralnych wynosi ponad 2%, w tym w produkcji nawozów potasowych blisko 13%. Polski przemysł nawozowy wytwarza z kolei około 1,5% światowej produkcji nawozów mineralnych i około 1,3% produkcji nawozów azotowych. W przypadku pozostałych krajów członkowskich, warto zauważyć, że np. udział Francji w światowej produkcji nawozów mineralnych jest znacznie mniejszy i oscyluje w okolicach 0,5% produkcji globalnej, natomiast w Irlandii i Słowenii nawozy mineralne nie są produkowane. W strukturze produkcji nawozów mineralnych w Niemczech dominują nawozy potasowe, natomiast w Polsce i we Francji przeważają nawozy azotowe i fosforowe [Zalewski 2015].

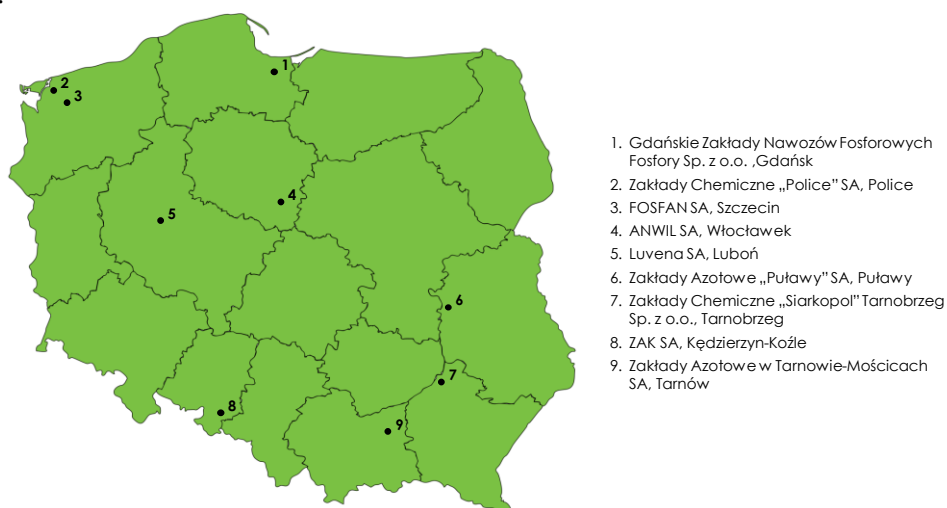
Produkcja nawozów mineralnych w Polsce jest pod względem ilościowym i wartościowym ważną częścią przemysłowego wytwarzania wyrobów chemicznych. Powiązania tego sektora z gospodarką rolną (wpływ na wielkość i jakość plonów) sprawiają, że jest ona także gwarantem szeroko rozumianego bezpieczeństwa państwa, 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 przewagę konkurencyjną na rynku nawozów posiadają te państwa, które mają dostęp do relatywnie tanich nośników energii oraz surowców do wytwarzania nawozów [Zalewski i Piwowar 2018].

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 Jordani. Są to strategiczne dla wytwórców miejsca, 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 w sektorze nawozów azotowych, surowcem do ich produkcji jest natomiast gaz ziemny. Warto podkreślić także, że największym odbiorcą gazu ziemnego w Polsce jest właśnie przemysł, w tym chemiczny. Z uwagi na niewielkie własne zasoby tego surowca, istotną rolę w podaży gazu ziemnego w Polsce 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% globalnej podaży. Choć 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 kilku krajach 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 w ich eksporcie 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 Piwowar 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 2).

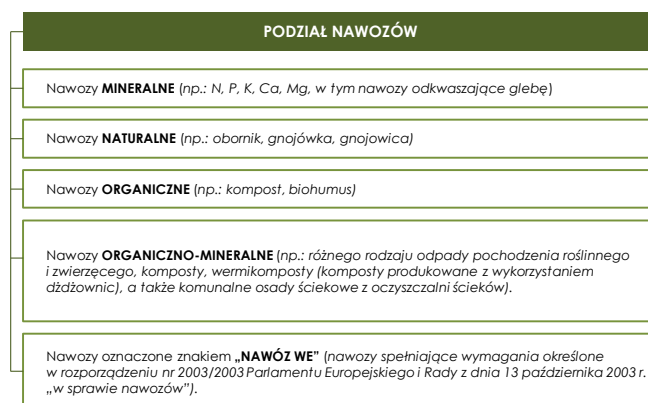


Mapa 2. Rozmieszczenie przestrzenne zakładów produkujących nawozy mineralne w Polsce

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Tabak 2011.

W skład Grupy Kapitałowej Azoty wchodzi największe zakłady chemiczne w Polsce: 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 wieloskładnikowe [Zalewski i Piwowar 2018]. W największej ilości nawozy wieloskładnikowe 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 1).



Rysunek 1. 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).

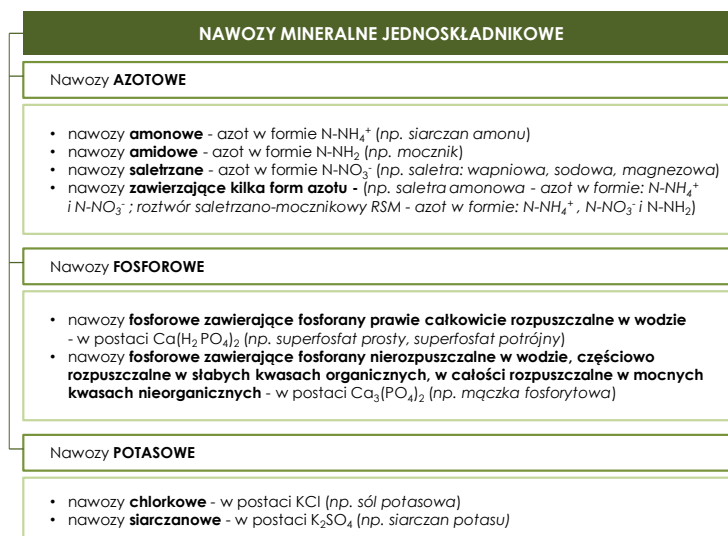
Nawozy mineralne to nawozy nieorganiczne, produkowane w drodze przemian chemicznych, fizycznych lub przerobu surowców mineralnych, w tym wapno nawozowe, do którego zalicza się wapno nawozowe zawierające magnez, a także niektóre nawozy pochodzenia organicznego. Ich podstawowymi i głównymi składnikami są: azot (N), fosfor (P), potas (K), dlatego też często nazywane są nawozami typu NPK (rysunek 2).



Rysunek 2. 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, fosfor lub potas. 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 3).



Rysunek 3. 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]:

- w przypadku nawozów azotowych:
 - Siarczan amonu (Zakłady Azotowe „Puławy” SA) zawiera 21% N i 24% S w formie $(NH_4)SO_4$,
 - Mocznik (Zakłady Chemiczne „Police” SA) zawiera 46% N w formie $(NH_2)_2CO$,
 - Saletra amonowa (ANWIL SA) zawiera 34% N w formie NH_4NO_3 ,
 - Kędzierzyńska Saletra Amonowa (ZAK SA) zawiera 32% N w formie NH_4NO_3 ,
 - Canwil z magnezem (ANWIL SA) zawiera 27% N, 6,5% CaO i 4% MgO w formie NH_4NO_3 i $CaMg(CO_3)_2$,
 - Canwil S z siarką (ANWIL SA) zawiera 27% N, 7,5% CaO i 4,8% S w formie NH_4NO_3 i $CaSO_4$,
 - Salmag (ZAK SA) zawiera 27,5% N, 6% CaO i 4% MgO w formie NH_4NO_3 i $CaMg(CO_3)_2$,
 - Salmag z borem (ZAK SA) zawiera 27,5% N, 6% CaO, 4% MgO i 0,2% B w formie NH_4NO_3 i $CaMg(CO_3)_2$ i H_3BO_3 ,
 - RSM (Zakłady Azotowe w Tarnowie-Mościcach SA) zawiera 28% N, 30% N lub 32% N w formie NH_4NO_3 i $(NH_2)_2CO$.
- w przypadku nawozów fosforowych:
 - Fosforyt Mielony P30 (Zakłady Chemiczne „Siarkopol” Tarnobrzeg sp. z o.o.) zawiera 30% P_2O_5 w formie $Ca_3(PO_4)_2$,
 - Superfosfat 19 (Luvana SA) zawiera 18,5% P_2O_5 , 24% CaO i 12% S w formie $Ca(H_2PO_4)_2$ i $CaSO_4$,
 - Superfosfat 20 (Luvana SA) zawiera 20% P_2O_5 , 25% CaO i 13% S w formie $Ca(H_2PO_4)_2$ i $CaSO_4$,
 - Superfosfat 20 z borem (Luvana SA) zawiera 20% P_2O_5 , 25% CaO, 13% S i 0,2% B w formie $Ca(H_2PO_4)_2$ i $CaSO_4$ i boraksu,
 - Superfosfat wzbogacony (Gdańskie Zakłady Nawozów Fosforowych Fosfory sp. z o.o.) zawiera 40% P_2O_5 , 34% CaO i 2% S w formie $Ca(H_2PO_4)_2$ i $CaSO_4$.
- w przypadku nawozów potasowych:

- Sól potasowa (Zakłady Chemiczne „Police” SA) zawiera 60% K₂O w formie KCl,
- Kalisop granulowany (K+S KALI GmbH) zawiera 50% K₂O i 18% S w formie K₂SO₄,
- Magnesia-Kainit (K+S KALI GmbH) zawiera 11% K₂O, 5% MgO, 27% Na₂O i 4% S w formie KCl, MgSO₄NaCl.

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 4). 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.



Rysunek 4. Podział nawozów mineralnych wieloskładnikowych oferowanych na polskim rynku

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Tabak 2011.

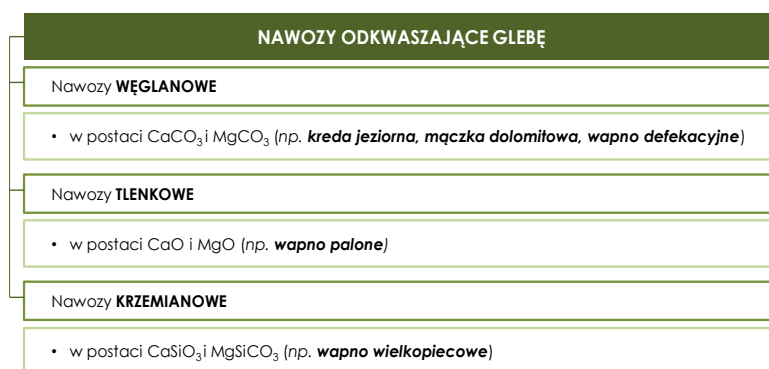
W ofercie głównych producentów nawozów mineralnych wieloskładnikowych na polskim rynku dostępne są [Tabak 2011]:

- w przypadku nawozów kompleksowych:

- Polidap (Zakłady Chemiczne „Police” SA) zawiera 18% N, 46% P₂O₅ i 2% S w formie NH₄H₂PO₄, (NH₄)₂HPO₄ i (NH₄)₂SO₄,
 - Polifoska 6 (Zakłady Chemiczne „Police” SA) zawiera 6% N, 20% P₂O₅, 30% K₂O i 3% S w formie NH₄H₂PO₄, (NH₄)₂HPO₄ i (NH₄)₂SO₄,
 - Polifoska 8 (Zakłady Chemiczne „Police” SA) zawiera 8% N, 24% P₂O₅, 24% K₂O i 3% S w formie NH₄H₂PO₄, (NH₄)₂HPO₄ i (NH₄)₂SO₄,
 - Polimag 405 (Zakłady Chemiczne „Police” SA) zawiera 5% N, 10% P₂O₅, 20% K₂O, 7% MgO i 4% S w formie NH₄H₂PO₄, (NH₄)₂HPO₄ i (NH₄)₂SO₄, KCl i MgCO₃.
- w przypadku nawozów mieszanych:
- Agrofoska 16-36 (Gdańskie Zakłady Nawozów Fosforowych sp. z o.o.) zawiera 16% P₂O₅, 36% K₂O i 10% CaO w formie Ca(H₂PO₄)₂ i KCl,
 - Agrofoska 24-24 (Gdańskie Zakłady Nawozów Fosforowych sp. z o.o.) zawiera 24% P₂O₅, 24% K₂O i 15% CaO w formie Ca(H₂PO₄)₂ i KCl,
 - Lubofoska 4-12-12 (Luvena SA) zawiera 4%N, 12% P₂O₅, 12% K₂O, 14% CaO i 12% S w formie (NH₄)₂SO₄, Ca(H₂PO₄)₂, KCl i CaSO₄,
 - Superfoska 5 NPK (Mg) 4-17-28-(4) (Zakłady Chemiczne „Siarkopol” Tarnobrzeg sp. z o.o.) zawiera 4%N, 17% P₂O₅, 28% K₂O, 6% CaO i 4% MgO w formie NH₄H₂PO₄, KCl, CaCO₃, MgCO₃, MgSO₄,
 - Unifoska 01 NPK (CaS) 8,5-8,5-8,5-(11-15) (Zakłady Chemiczne „Siarkopol” Tarnobrzeg sp. z o.o.) zawiera 8,5%N, 8,5% P₂O₅, 8,5% K₂O, 11% CaO i 15% S w formie NH₄H₂PO₄, KCl, CaCO₃, MgCO₃, MgSO₄.

Nawozy odkwaszające glebę ze względu na postać składnika aktywnego, wśród nawozów tych wyróżnia się nawozy węglanowe, tlenkowe i krzemianowe (rysunek 5). 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 drogownictwie, 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 acetyleny), popioły, pyły dymnicowe po spalaniu węgla.



Rysunek 5. 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 to nawóz organiczny 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 (*Eisenia fetida*) uzyskiwane po przetworzeniu substancji organicznej (obornik, torf, odpady z rzeźni lub przetwórnictwa owocowo-warzywnych, papier, wysłodki, wyłoki, trociny, osady ze ścieków) w specjalnych łóżach.
- 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].

Nawozy oznaczone znakiem „NAWÓZ WE” 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 typu nawozów 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 ŚRODEK WAPNUJĄCY”, który umożliwi swobodny obrót produktami na terenie UE. 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].

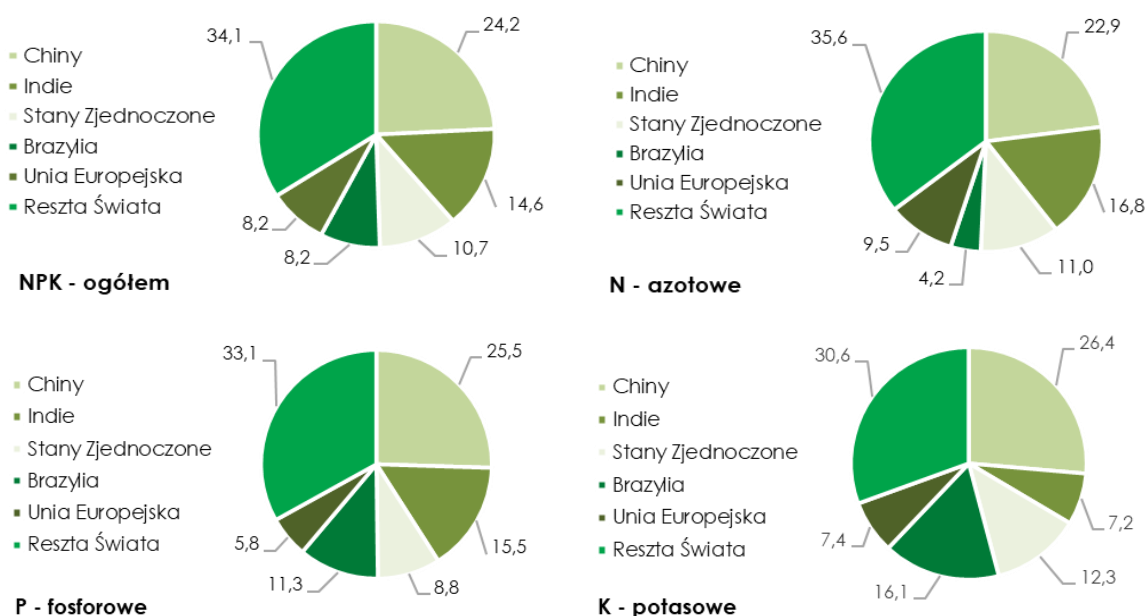
2.2. Stan zużycia nawozów mineralnych (NPK) w Polsce

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 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 nawozowymi, 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 jednak do zwiększenia ilości innych 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 popularne nawozy mineralnych.

Chociaż produkcja nawozów w ujęciu globalnym jest silnie skoncentrowana, stosowanie nawozów jest podyktowane składem gleby i produkowanym plonem. W rezultacie stosowanie nawozów jest szeroko rozpowszechnione na całym świecie, a niektóre kraje są większymi użytkownikami nawozów w przeliczeniu na hektar 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%. Drugim największym użytkownikiem są Indie (około 15%), 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% światowego zużycia nawozów, przy czym większość z nich wykorzystywana jest do produkcji zbóż i nasion oleistych [Molenda 2022] (wykres 2).

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 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% 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% i 10% swoich nawozów jako bezpośredni amoniak. Amoniak stanowi odpowiednio 17% i 16% 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].



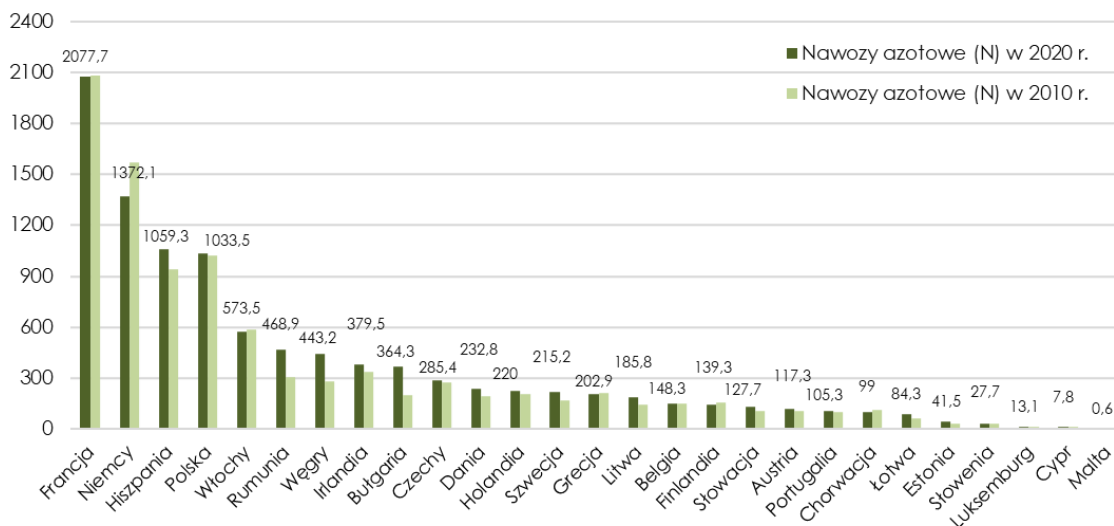
Wykres 2. Zużycie nawozów mineralnych (NPK) na świecie w latach 2017-2019 r. [%]

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% całkowitego zużycia nawozów azotowych w UE. Do państw tych zalicza się: Francja (17,2%), Niemcy (11,4%), Hiszpania (8,8%) oraz Polska (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 ukształtował 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%), Cypr (0,1%), Słowenia (0,1%), Estonia (0,1%) i Belgia (0,2%) (wykres 3 i 4).

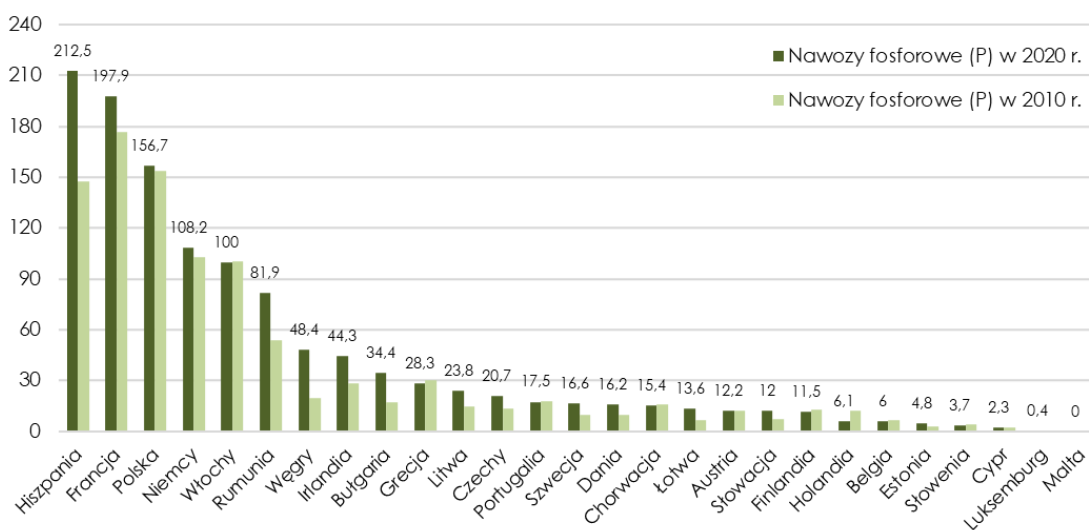
Zprezentowane dane wskazują, że jedną z tendencji obserwowanych obecnie na europejskim rynku nawozów mineralnych jest ich zróżnicowane zużycie w poszczególnych krajach. Analizując wielkość zużycia nawozów mineralnych (NPK) za okres od 2010 r. do 2019 r. można zauważyć, że większość krajów Europy Środkowo-Wschodniej 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% w przypadku nawozów fosforowych i ponad 30%, 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% 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% wyższe niż w roku poprzednim. Wojna rosyjsko-ukraińska spowodowała więc wzrost cen tego rodzaju środków produkcji przynajmniej o 50%. 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 3. Zużycie nawozów azotowych (N) w krajach Unii Europejskiej 2010 i 2020 r. [tys. ton]

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

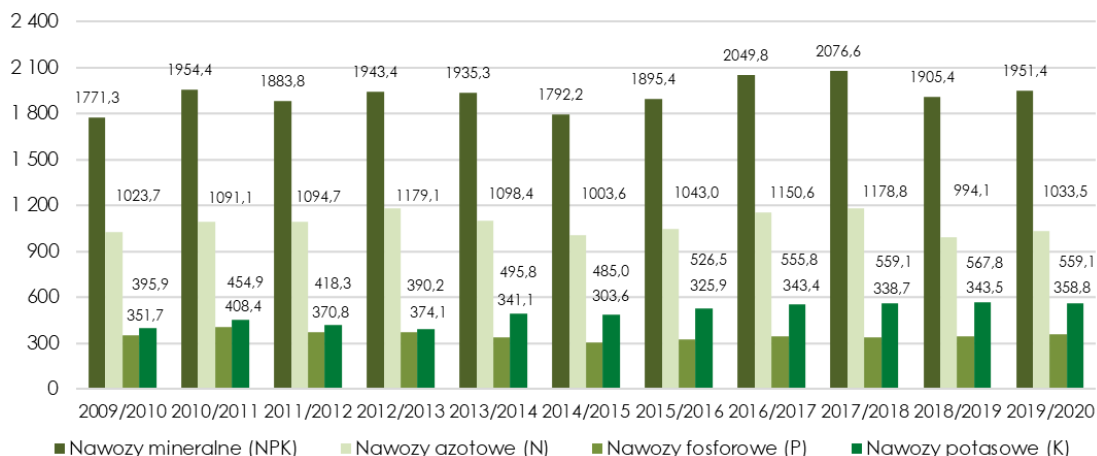


Wykres 4. Zużycie nawozów fosforowych (P) w krajach Unii Europejskiej 2010 i 2020 r. [tys. ton]

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

W Polsce w roku gospodarczym 2019/2020 około 956 tys. gospodarstw rolnych (około 73% ogółu podmiotów prowadzących działalność rolniczą) wykorzystywało w produkcji nawozy mineralne i wapniowe (w tym nawożenie mineralne (NPK) stosowało ponad 71% ogółu, a wapniowe blisko 21%). Z danych Głównego Urzędu Statystycznego (GUS) wynika, że w porównaniu do sezonu 2009/2010 r., pomimo zmniejszenia się liczby gospodarstw rolnych stosujących 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

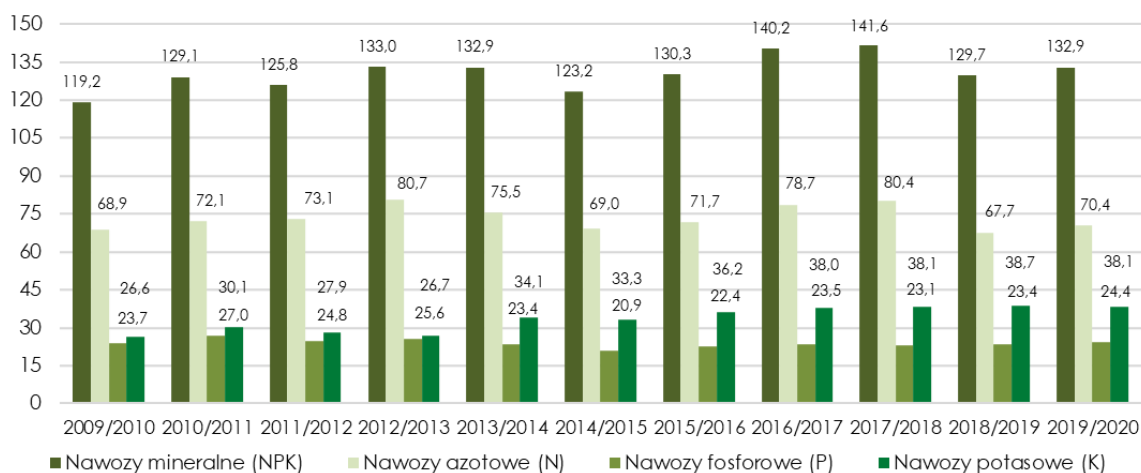
nawozów mineralnych (1 951,4 tys. ton) było jednak o ponad 10% wyższe niż w 2009/2010 (1 771,3 tys. ton) (wykres 5).



Wykres 5. Zużycie nawozów mineralnych (NPK) w Polsce w latach 2010-2020 (w przeliczeniu na czysty składnik) [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% 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% wyższy niż w roku gospodarczym 2009/2010. W pozostałych grupach obejmujących: nawozy azotowe (N) i fosforowe (P) ich zużycie w stosunku do roku bazowego nieznacznie wzrosło, tj. odpowiednio o niespełna 1% i 2%. 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% (wykres 6).

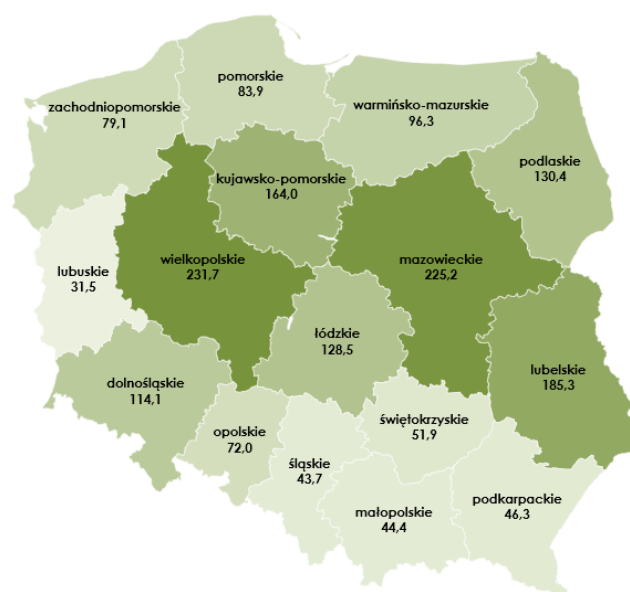


Wykres 6. Zużycie nawozów mineralnych (NPK) w Polsce w latach 2010-2020 (w przeliczeniu na czysty składnik) [kg/ha UR]

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 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 należą: 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 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%). 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 (mapa 3).

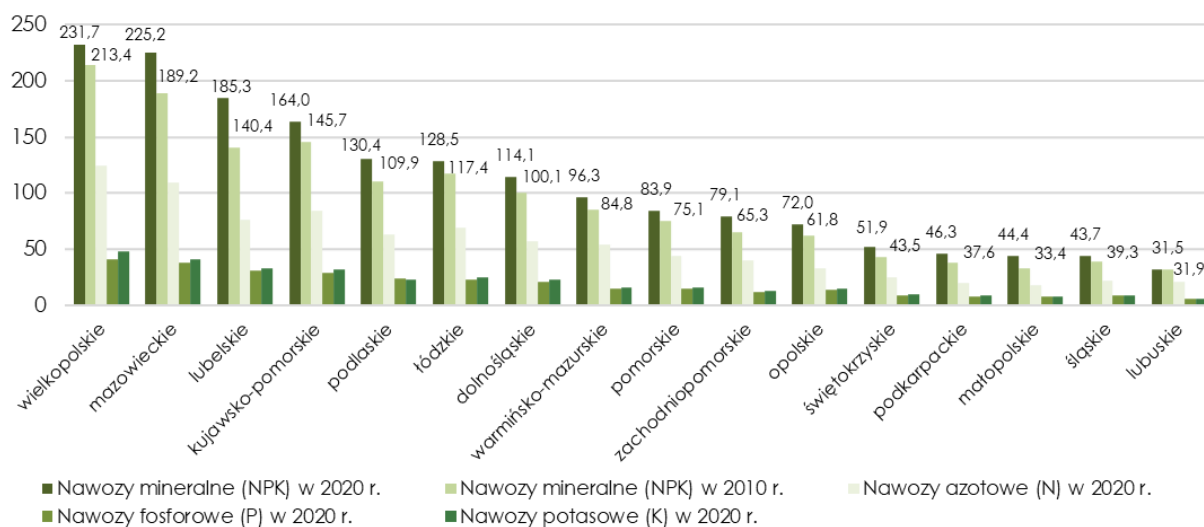


Mapa 3. Zużycie nawozów mineralnych (NPK) w województwach Polski w 2020 r. (w przeliczeniu na czysty składnik) w indywidualnych gospodarstwach rolnych [tys. ton]

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

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). Jedynym regionem na obszarze, którego poziom zużycia nawozów NPK obniżył się w przeciągu badanej dekady było województwo lubuskie (spadek o 321 t). 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

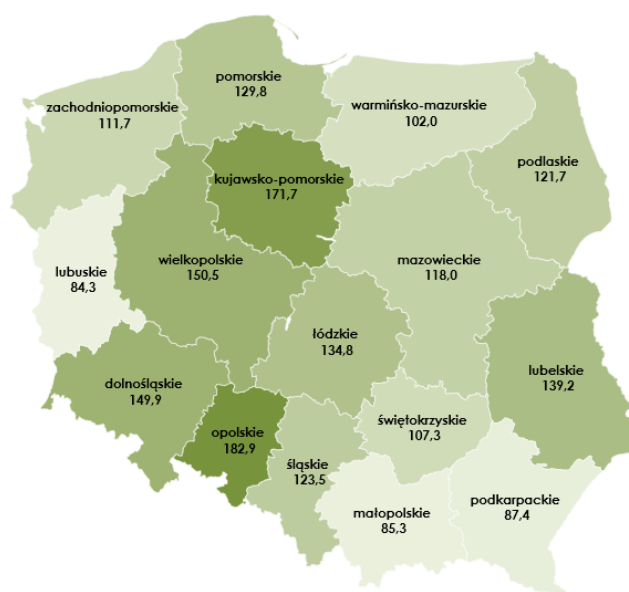
powyżej 50%. Wyjątek w tym zakresie stanowiły województwa: świętokrzyskie, małopolskie, podkarpackie i lubelskie (poniżej 50%). W mniejszej skali stosowano natomiast nawozy fosforowe (P) (średnio udział wynosił około 20%) i potasowe (K) (około 30%) (wykres 7).



Wykres 7. Zużycie nawozów mineralnych (NPK) w województwach Polski w 2020 r. (w przeliczeniu na czysty składnik) w indywidualnych gospodarstwach rolnych [tys. ton]

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

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 4).

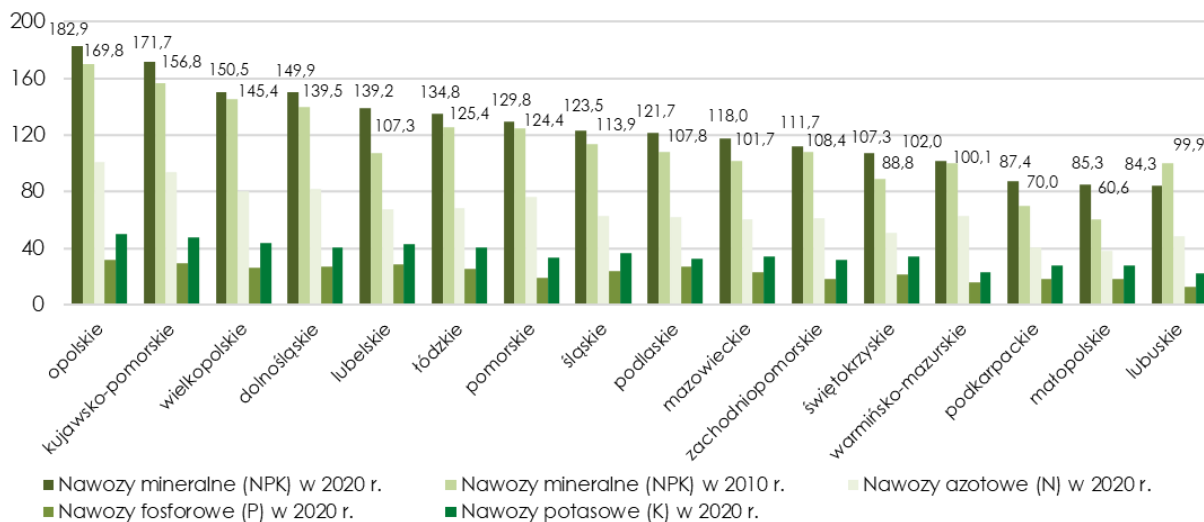


Mapa 4. Zużycie nawozów mineralnych (NPK) w województwach Polski w 2020 r. (w przeliczeniu na czysty składnik) w indywidualnych gospodarstwach rolnych [kg/ha UR]

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), zachodniopomorskie (o ponad 3 kg/ha UR) oraz wielkopolskie i pomorskie (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 8).



Wykres 8. Zużycie nawozów mineralnych (NPK) w gospodarstwach indywidualnych według województw w 2020 r. (w przeliczeniu na czysty składnik) [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 regionach, w których było ono niższe w 2010 r., a struktura agrarna bardziej rozdrobniona. Wzrost wskaźnika pokazującego średnie zużycie NPK w tych regionach następuje m.in. dlatego, że część podmiotów, które zaniechały lub znacznie ograniczyły swoją produkcję udostępnia swoje zasoby ziemi podmiotom większym, prowadzącym intensywną gospodarkę rolną. Przyspieszenie procesów transferu ziemi rolniczej jeszcze w większym stopniu zwiększyłoby wartość wskaźników opisujących intensywność produkcji, w tym wysokość nawożenia NPK na ha UR.

3. ANALIZA ZRÓŻNICOWANIA POZIOMU NAWOŻENIA WAPNIOWEGO W POLSCE

3.1. Wpływ wapnowania na środowisko glebowe i rośliny uprawne o znaczeniu gospodarczym w Polsce

Uregulowany odczyn gleby jest podstawą racjonalnego nawożenia roślin uprawnych. Przyczynia się on bowiem do właściwego gospodarowania zasobami składników pokarmowych oraz wpływa na stopień ich przyswajalności. Utrzymanie właściwego pH gleby jest zatem jednym z ważniejszych czynników, wpływających na produktywność całego agroekosystemu, tj. pojemność kompleksu sorpcyjnego, aktywność mikrobiologiczną, efektywność wykorzystania składników nawozowych, dostępność mikroelementów oraz metali ciężkich. Na zakwaszenie gleb wpływają warunki naturalne oraz działalność człowieka. Z rolniczego punktu widzenia skutki zakwaszenia gleb są niezwykle ważne, a proces ten może prowadzić do [Ochal i inni 2017]:

- zmniejszenia przyswajalności składników pokarmowych roślin, zwłaszcza fosforu, magnezu czy molibdenu,
- zwiększenia ruchliwości składników, które stają się niebezpieczne w większych ilościach, przede wszystkim metali ciężkich oraz glinu ruchomego.

Nagromadzenie metali ciężkich w glebie, zwłaszcza kadmu i ołowiu może doprowadzić do nadmiernej ich koncentracji w roślinach, co jest istotne, gdyż wysoka zawartość tych pierwiastków dyskwalifikuje rośliny z przeznaczenia do konsumpcji na podstawie Rozporządzenia Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 26 lipca 2004 r. w sprawie *integrowanej produkcji* (Dz.U. 2004 nr 178 poz. 1834). Nawozy wapniowe mają szczególne znaczenie w produkcji rolniczej ze względu na fakt, iż właściwy odczyn gleby wpływa istotnie na kształtowanie jej właściwości fizycznych, fizykochemicznych, chemicznych i biologicznych. Proces zakwaszenia gleby powoduje pogorszenie wszystkich wyżej wymienionych parametrów produkcyjnych podłoża, co przyczynia się często do obniżenia możliwości produkcyjnych, poprzez wielopłaszczyznową degradację jego struktury. Pomimo oczywistych i ogólnorozumianych korzyści, wynikających z regularnego wapnowania gleb, wykorzystanie nawozów wapniowych w Polsce jest nadal niewystarczające. Widoczne od kilku lat zmiany struktury agrarnej niosące ze sobą intensyfikację produkcji rolniczej, wpływają w coraz większym stopniu na konieczność racjonalizacji gospodarowania jednym z podstawowych czynników produkcji, jakim są zasoby ziemi uprawnej. Ważnym elementem tego procesu jest choćby utrzymywanie odczynu gleby na poziomie gwarantującym optymalne warunki do pobierania składników pokarmowych przez uprawiane rośliny, co warunkuje ich efektywny wzrost i rozwój. Konsekwencją konieczności intensyfikacji produkcji rolniczej, przy ograniczaniu zużycia środków produkcji, tj. nawozy sztuczne oraz pestycydy, będzie więc w przyszłości rozwój rynku nawozów wapniowych, które są jedną z ważniejszych determinant racjonalnego gospodarowania zasobami ziemi, szczególnie w warunkach produkcji intensywnej lub towarowej [Piwowar 2015].

Istotną kwestią stosowania nawozów wapniowych jest także aspekt ekologiczny prowadzonej produkcji rolnej, który w świetle realizacji koncepcji zrównoważonego rozwoju rolnictwa i obszarów wiejskich, ma coraz większe znaczenie. Wymaga to jednak kształtowania świadomości ekologicznej zarówno producenta, jak i konsumenta. Osiągnięcie wysokiego poziomu świadomości w tym zakresie wymaga zmiany podejścia do produkcji wśród rolników, tak aby nie postrzegali oni środków nawozowych i ochronnych tylko przez pryzmat ilościowy procesu produkcyjnego (jako jednego z bardziej kosztochłonnych elementów struktury

nakładów inwestycyjnych), ale także jakościowy (spodziewanych, pozytywnych efektów produkcji dla gospodarstwa rolnego oraz jego otoczenia środowiskowego). Produkcja żywności w zgodzie z wszelkimi standardami jakości produkcji funkcjonującymi na świecie, determinuje bowiem bezwzględnie szczególną dbałość o jakość krajowych zasobów glebowych. Wapnowanie gleb zakwaszonych powinno być zatem obowiązkiem każdego rolnika, tak jak w przypadku producentów, którzy uczestniczą w działaniach realizowanych w ramach PROW. Należy pamiętać także, iż obowiązki uregulowania odczynu, jak również i zasady prawidłowego wapnowania zostały ujęte w Kodeksie Dobrej Praktyki Rolniczej.

Zabiegiem agrotechnicznym, ograniczającym niepożądane skutki zakwaszenia gleb jest ich wapnowanie. Nadmierne zakwaszenie podłoża uniemożliwia bowiem otrzymanie wysokich plonów większości gatunków roślin uprawianych w Polsce, nawet przy stosowaniu prawidłowej uprawy i nawożenia mineralnego. W celu poprawienia żyzności gleb kwaśnych konieczne jest ich wapnowanie. Nawozy wapniowe mają bowiem zupełnie inną rolę do spełnienia niż nawozy mineralne, w tym głównie azotowe, fosforowe, czy potasowe. Są one tylko w niewielkim stopniu źródłem składnika pokarmowego (wapnia) dla roślin, a jednak mają na celu [Grzebisz 2008]:

- zmniejszenie szkodliwego działania kwasowości gleby, a tym samym, toksycznego działania glinu i manganu,
- poprawę dostępności dla roślin wielu składników pokarmowych,
- wspieranie rozwoju korzystnej mikroflory,
- polepszenie właściwości fizycznych warstwy ornej gleby.

Podstawowym zadaniem wapnowania jest obniżenie kwasowości gleby. W wyniku zastosowania odpowiednich dawek wapna można nadać glebie odpowiedni odczyn, dostosowany do wymagań różnych gatunków roślin. Oddziaływanie nawozów wapniowych zmienia się jednak w czasie. Szybkość i stopień reakcji pomiędzy glebą a nawozami wapniowymi zależy od [Grześkowiak 2016]:

- typu gleby,
- stopnia wymieszania nawozu z glebą,
- wilgotności gleby (w wilgotnej glebie szybkość reakcji jest większa),
- rodzaju nawozów wapniowych,
- stopnia rozdrobnienia nawozu (tabela 1).

Tabela 1. Przedziały potrzeb wapnowania w zależności od kategorii agronomicznej gleby

Typy gleb	pH dla przedziału potrzeb wapnowania				
	konieczne	potrzebne	wskazane	ograniczone	zbędne
bardzo lekkie	< 4,0	4,1 - 5,5	4,6 - 5,0	5,1 - 5,5	< 5,6
lekkie	< 4,5	4,6 - 5,0	5,1 - 5,5	5,6 - 6,0	< 6,1
średnie	< 5,0	5,1 - 5,5	5,6 - 6,0	6,1 - 6,5	< 6,6
ciężkie	< 5,5	5,6 - 6,0	6,1 - 6,5	6,6 - 7,0	< 7,1
użytki zielone	< 5,0	5,1 - 6,0	5,6 - 6,0	> 7,0	-

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Górlach i Mazur 2001.

Wapnować należy, przede wszystkim gleby mocno kwaśne i kwaśne, a wśród nich w pierwszej kolejności gleby lekkie. Podstawowym wskaźnikiem, określającym potrzeby wapnowania jest odczyn gleby. Na tej podstawie można sądzić o kwasowości wymiennej oraz o zawartości glinu ruchomego i manganu oraz składników szkodliwych dla roślin. Celem wapnowania jest bowiem ich unieruchomienie. Określenie prawidłowej dawki wapna jest więc z rolniczego punktu widzenia bardzo ważne. Zbyt małe dawki wapna mogą okazać się bowiem nieefektywne, natomiast przy zastosowaniu zbyt dużych, ujawniają się negatywne skutki wapnowania, zwane przewapnowaniem gleby. Zjawisko to jest szczególnie niekorzystne przy

zastosowaniu wapna tlenkowego na glebach lekkich. Za dawkę optymalną uznaje się taką, która umożliwi doprowadzenie pH gleby do dolnej granicy jego optymalnego przedziału. Wielkość tej dawki zależy od pH wyjściowego oraz od kategorii agronomicznej gleby. Dawki wapna naliczane są dla przedziałów potrzeb wapnowania, a nie dla przedziałów pH [Jadczyzyn i inni 2010] (tabela 2).

Tabela 2. Dawki wapna na gruntach ornych w zależności od kategorii agronomicznej gleby [ton CaO/ha]

Typy gleb	pH dla przedziału potrzeb wapnowania					
	bardzo kwaśny		kwaśny		lekkie kwaśny	
	< 4,1	4,1 – 4,5	4,6 – 5,0	5,1 – 5,5	5,6 – 6,0	6,1 – 6,5
bardzo lekkie	3,5	3,0	2,0	-	-	-
lekkie	3,5	3,0	2,0	1,0	-	-
średnie	5,5	5,0	4,0	2,5	1,0	-
ciężkie	6,0	6,0	4,5	3,0	2,0	1,5

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Jadczyzyn i inni 2010.

Z wapnowania można zrezygnować na glebach średnich i ciężkich, gdy są one w przedziale ograniczonych potrzeb wykonania tego zabiegu. Natomiast uprawiając rośliny bardzo wrażliwe na zakwaszenie, na glebach bardzo lekkich trzeba zastosować dawki nawozów wapniowych jak dla gleb lekkich oraz analogicznie: na lekkich, jak dla średnich. Dawki nawozów wapniowych zalecane dla przedziału „wapnowanie konieczne” nie doprowadzają do uzyskania optymalnego odczynu gleby, a jedynie powodują przesunięcie jej do przedziału „wapnowanie potrzebne”. Na glebach mniej kwaśnych wystarczające jest wapnowanie jednorazowe, podstawowe, a następne w odstępach 4-6 letnich. Wapnowanie ma na celu zmianę właściwości chemicznych, fizycznych i biologicznych gleby na dłuższy okres czasu. Jego wpływ nie ogranicza się jedynie do wzrostu plonów roślin w najbliższych latach po zabiegu, ale utrzymuje się także w dalszych latach [Jadczyzyn i inni 2010].

Wapnowania nie należy traktować jednak jako nawożenia pod poszczególne rośliny, ale jako zabieg dla rotacji zmianowania, czy ogniwa tego zmianowania. Można też stosować wapno małymi dawkami, ale częściej, jednak wówczas zdażyć się może, że zmiany właściwości nie zostaną osiągnięte wcale lub dopiero po dłuższym czasie, a ponadto taki zabieg staje się kosztowny. Pierwsze wapnowanie, w przypadku gleb kwaśnych, można traktować jako wapnowanie melioracyjne. Wówczas dawki nawozów wapniowych będą stosunkowo wysokie i wywołają zmiany odczynu, co najmniej o jednostkę pH, z czym wiążą się zmiany właściwości chemicznych gleby. Przy następnym wapnowaniu pH wyjściowe będzie wyższe, a dawki nawozów wapniowych odpowiednio niższe. Takie wapnowanie będzie nazywane zachowawczym, gdyż ma ono na celu niedopuszczenie do ponownego obniżenia pH. W celu ustalenia poziomu i terminu stosowania wapnowania należy śledzić zmiany odczynu gleby poprzez wykonywanie oznaczeń w terenie [www.martus.com.pl 2022].

Zwyżki plonów pod wpływem wapnowania roślin są znacznie większe na glebach lżejszych, niż na glebach ciężkich. Reakcja roślin na wapnowanie jest bardzo zróżnicowana i zależy od odczynu gleby. Na glebach bardzo kwaśnych (pH < 4,5) rośliny mało wrażliwe na zakwaszenie gleby reagują na wapnowanie w małym stopniu, natomiast rośliny wrażliwe w bardzo wysokim stopniu. Pod względem przeciętnej reakcji na wapnowanie, rośliny można podzielić na trzy grupy, tj. bardzo silnie reagujące, silnie reagujące oraz średnio reagujące [Hałubowicz-Kiza 2006] (tabela 3). Na glebach lekkich, na których udział roślin słabiej reagujących na wapnowanie jest duży, przeciętny efekt tego zabiegu jest mniejszy. Natomiast na glebach średnich i ciężkich z przewagą roślin reagujących dodatnio na wapnowanie jest on większy. Zakwaszenie gleb jest procesem ciągłym, w związku z tym konieczne jest regularne stosowanie nawozów wapniowych dla utrzymywania optymalnego odczynu gleb (pH), dostosowanego do wymagań uprawianych roślin. Podstawowym źródłem wapna dla celów rolniczych są złoża wapieni i margli, a także dolomitów i kredy. Z tych surowców powstają nawozy wapniowe

i wapniowo-magnezowe, które aby mogły być wykorzystane w rolnictwie, poddaje się obróbce polegającej między innymi na dokładnym ich rozdrobnieniu.

Tabela 3. Podział roślin uprawnych ze względu na stopień reakcji na wapnowanie

Grupa roślin	Wybrane rośliny
silnie reagujące na wapnowanie - około 25 % wyżki plonu	buraki, kukurydza, groch siewny, koniczyna
średnio reagujące na wapnowanie - około 15 % wyżki plonu	pszenica, rzepak, łubin biały, jęczmień, bobik, łubin wąskolistny
słabo reagujące na wapnowanie - około 7 % wyżki plonu	żyto, ziemniaki, łubin żółty, owies, len, seradela

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Hałubowicz-Kliza 2006.

Produkcja nawozów w formie tlenkowej wymaga dodatkowo przeróbki termicznej, w wyniku wyprażenia kamienia wapiennego. Poza grupą nawozów wapniowych powstających z przerobu skał wapiennych, w rolnictwie wykorzystuje się również produkty nawozowe o znacznej zawartości wapnia, pochodzące z produkcji ubocznej różnych gałęzi przemysłu, do których zaliczyć można REA-gips, tj. drobnocząsteczkowy dihydrat siarczanu wapniowego ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) o wysokim stopniu czystości, uzyskiwany przy mokrym odsiarczaniu spalin. Nawozy te charakteryzują się jednak zróżnicowaną zawartością tlenku wapnia (CaO) i wilgotności. Wśród najczęściej stosowanych nawozów wapniowych w Polsce wyróżnia się [Tabak 2011]:

- nawozy węglanowe, które charakteryzują się wolnym działaniem. Zaleca się je do nawożenia gleb lekkich. Zawierają wapń w związkach węglanowych CaCO_3 . Węglan wapnia to związek właściwie nierozpuszczalny w wodzie. Aby wapń i magnez mogły zostać uwolnione z węglanów (dysocjacja soli na jony) i przyjęte przez kompleks sorpcyjny, w glebie musi zajść proces przekształcania węglanów w rozpuszczalne wodorowęglany. W przemianie tej bierze udział woda glebowa nasycona dwutlenkiem węgla;
- nawozy tlenkowe ze względu na silne działanie, poleca się je stosować zwłaszcza na gleby ciężkie. Zawierają wapń w postaci tlenkowej CaO - produktem prażenia wapieni jest wapno palone (tlenkowe). Tlenkowa postać nawozów odkwaszających glebę jest bardzo reaktywna - reakcja z wodą znajdującą się w glebie jest gwałtowna i egzotermiczna (dochodzi do wydzielania energii). Kationy zasadowe wysycają kompleks sorpcyjny;
- nawozy krzemianowe zaleca się do nawożenia gleb lekkich. Działanie tych nawozów jest wolniejsze niż nawozów tlenkowych i wapniowych. Zawierają krzemian, który wprowadzony do gleby ulega hydrolizie, a wapń obecny w powstającym wodorotlenku zubożętnia glebę.

Wszystkie nawozy wapniowe mogą wykazywać wysoką efektywność przy zubożętnianiu nadmiernej kwasowości glebowej, ale pod warunkiem racjonalnie dokonanego wyboru gatunku wapna oraz umiejętnego ich zastosowania. Przy wyborze formy nawozu wapniowego i ustaleniu warunków jego zastosowania należy wziąć pod uwagę rodzaj gleby, podlegającej wapnowaniu. Wapno tlenkowe nadaje się, przede wszystkim na gleby cięższe, których odczyn zmienia się bardzo powoli. Na tych glebach nie ma niebezpieczeństwa gwałtownej zmiany odczynu, gdyż odznaczają się one wysoką zdolnością buforową, nie ma więc ryzyka przewapnowania, a jest możliwość szybszego osiągnięcia pożądanego odczynu niż przy stosowaniu wapna węglanowego. Na glebach lekkich, szczególnie piaskach, bardziej celowe jest stosowanie wapna węglanowego, które jest znacznie łagodniejsze w działaniu. Na glebach lekkich, ze względu na małą zdolność buforowa istnieje niebezpieczeństwo wywołania okresowo zbyt zasadowego odczynu przy zastosowaniu wapna tlenkowego, szczególnie przy większych dawkach. Nawet, gdy zastosujemy właściwą dawkę nawozu, to w pierwszym roku nie jest możliwe równomierne wymieszanie go z glebą. Jednak niebezpieczeństwo przewapnowania jest niegroźne, gdyż gleby lekkie słabo wchłaniają wnoszone nawozy i tylko część wapna zostaje

związana z glebą. Pozostała część wapna (wapno tlenkowe) przechodzi do roztworu glebowego i szybko zostaje wymyta do głębszych warstw gleby i tym samym dla rolnika pozostaje stracona [Hałubowicz-Kiza 2006].

Na glebach lekkich, piaszczystych z korzyścią może być stosowany margiel, gdyż dodatkowo wnosi się do nich części ilaste, poprawiając ich strukturę. Jednak polecany jest on do stosowania lokalnego, tam gdzie nie zachodzi konieczność transportowania go z dużych odległości. Wapno tlenowe nie powinno być stosowane równocześnie z innymi nawozami, zawierającymi amoniak. Nawóz ten powinien być aplikowany wyłącznie na glebę suchą, gdyż tylko w takim przypadku możliwe jest dokładne jego wymieszanie z glebą. Sposób wnoszenia wapna do gleby zależy od wielkości dawki. Wapno stosowane w dużych ilościach powinno być równomiernie rozrzucone po polu i dokładnie wymieszane z całą warstwą gleby. Małe dawki wapna nie są w stanie zmienić odczynu gleby. Duże ilości wapna należy wysiewać dodatkowo, jak najwcześniej przed uprawą roślin i starać się dokładnie wymieszać z glebą. Należy pamiętać także, aby wapna nie wysiewać na bardzo wilgotną glebę, jak również w pogodę deszczową bez względu na rodzaj wysiewanego nawozu wapniowego. Wapno rozsiane na mokrą ziemię musi pozostać dłuższy czas bez przykrycia, gdyż jakiegokolwiek zabieg uprawowy w tych warunkach grozi zniszczeniem struktury gleby [Hałubowicz-Kiza 2006].

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

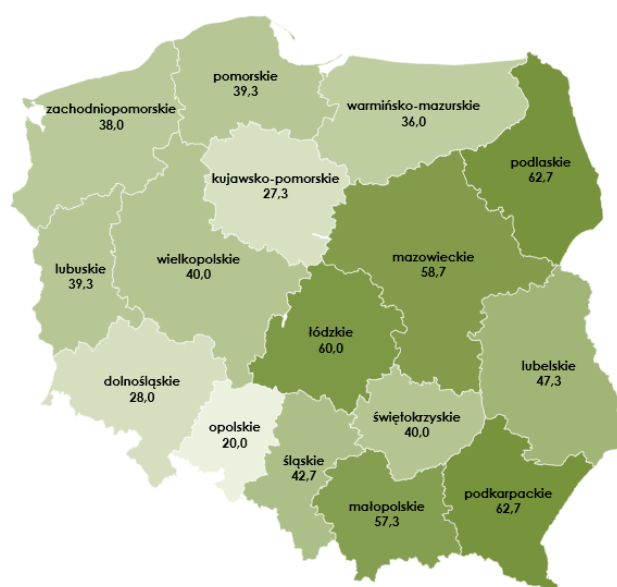
Wapnowanie to nawożenie gleby zasadowymi związkami wapnia w celu zubożenia nadmiernej kwasowości. Zabieg ten powoduje w środowisku glebowym również inne korzystne dla roślin zmiany chemiczne, fizyczne i biologiczne, które wpływają ostatecznie na wzrost plonów roślin uprawnych. Dzięki zastosowaniu wapna aktywują się mikroorganizmy glebowe, poprawia się skuteczność pracy drobnoustrojów w kształtowaniu żyzności i zdrowotności gleby. Ponieważ w rolnictwie dąży się do racjonalnego gospodarowania składnikami pokarmowymi, aby wywierać jak najmniejszą presję na środowisko, proces wapnowania uważany jest za jeden z najważniejszych czynników mających istotny wpływ na efektywność wykorzystania azotu i wielkość jego strat w uprawie roślin polowych [Pikuła 2018].

Jednym z najczęściej definiowanych problemów polskiego rolnictwa jest zjawisko nadmiernego zakwaszenia gleb. Na podstawie przeglądu gleb można stwierdzić, że większość ich typów ulega w mniejszym lub większym stopniu zakwaszaniu. Jedynie gleby węglanowe i zasobne naturalnie w wapń nie ulegają temu procesowi w sposób wysoce intensywny [Paluch i inni 2020]. Zakwaszenie gleb w Polsce zależy od warunków naturalnych oraz działalności człowieka. Naturalnymi czynnikami wpływającymi na zakwaszenie gleb jest klimat oraz rodzaj skały macierzystej na której wytworzyły się utwory glebowe. Zakwaszenie gleby występuje również na skutek oddychania mikroorganizmów zasiedlających glebę oraz korzenie roślin, rozkładu materii organicznej oraz utleniania azotu i siarki. W wyniku procesu rozkładu oraz utleniania uwalniają się jony wodorowe, które powodują zakwaszenie gleb. Również człowiek przyczynia się do zakwaszenia gleb, m.in. poprzez stosowanie nawozów azotowych. Nawozy te, ze względu na fizjologiczny aspekt pobierania azotu, potęgują proces zakwaszenia. Kolejnym problemem jest emisja dwutlenku siarki i tlenków azotu do atmosfery. W wyniku spalania paliw powstają kwaśne opady. Okresowo wysokie opady, połączone z kwaśnym odczynem deszczu powodują, wypłukiwanie wapnia i magnezu w głąb profilu glebowego [Urbanowicz 2020].

Poziom zakwaszenia gleb w Polsce jest zatem jednym z najważniejszych czynników wpływających na produkcję roślinną. Decyduje o przyswajalności składników pokarmowych, zarówno makro-, jak i mikroelementów, wpływając tym samym na aktywność życia biologicznego gleby, co w istotnym stopniu przekłada się na koszty produkcji z upraw polowych. W czasie drastycznie rosnących cen nawozów, zwłaszcza azotowych,

wykorzystanie z nich składników pokarmowych przez rośliny musi być więc jak najwyższe. Punktem wyjścia dla tego ważnego czynnika agrotechnicznego jest uregulowany odczyn gleb w gospodarstwie (pH) prowadzony w oparciu o analizy chemiczne gleb. Proces zakwaszenia pól zachodzi bowiem w każdym sezonie i jak wskazano powyżej ma on kilka przyczyn z których większość jest niezależne od woli samego rolnika, a wyniki prowadzonych cyklicznie krajowych badań gleb nie są pod tym względem zbyt optymistyczne [Biernacki2021].

W Polsce na powierzchni ponad 90% 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. W Polsce dominują zatem gleby bardzo kwaśne (pH < 4,5) i kwaśne (pH 4,6-5,5), a ich łączny udział w strukturze gleb stanowi ponad 50% w skali kraju. Według danych Głównego Urzędu Statystycznego (GUS) uzyskanych na podstawie badań przeprowadzonych przez Krajową Stację Chemiczno-Rolniczą (KSCR) w latach 2017-2020 najwięcej gleb kwaśnych i bardzo kwaśnych stwierdzono w województwie podkarpackim (30% gleb odczynie o bardzo kwaśnym i 33% gleb o odczynie kwaśnym) oraz w województwie podlaskim (27% gleb o odczynie bardzo kwaśnym i 35% gleb o odczynie kwaśnym) (mapa 5).



Mapa 5. Udział gleb kwaśnych i bardzo kwaśnych w latach 2017-2020 r. [%]

Źródło: opracowanie własne na podstawie: *Ochrona środowiska 2021*. 2021. Warszawa: GUS DBPiŚ.

W województwie opolskim stwierdzono natomiast najniższy stopień zakwaszenia gleby na tle pozostałych regionów (odczyn bardzo kwaśny wykazało niespełna 4%, a kwaśny 16%). Najwięcej gleb zasadowych zlokalizowanych jest w województwach: świętokrzyskim (19%) i kujawsko-pomorskim (18%). Dość dobrze pod względem poziomu kwasowości gleb prezentuje się ponadto województwo dolnośląskie (gleby bardzo kwaśne – 8%, a kwaśne – około 20%). W przypadku pozostałych województw udział gleb wykazujących odczyn kwaśny i bardzo kwaśny kształtuje się następująco: lubuskie (27 i 12%), pomorskie (29 i 10%), świętokrzyskie (22 i 18%), warmińsko-mazurskie (26 i 10%), wielkopolskie (26 i 14%) oraz zachodniopomorskie (28 i 10%).

Z przeprowadzonych przez Krajową Stację Chemiczno-Rolniczą (KSCR) 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 w analizowanym okresie około 69% krajowych zasobów glebowych wykorzystywanych w produkcji rolnej wykazywało potrzebę wapnowania, z czego w przypadku 21% określono stan potrzeby wapnowania jako konieczny, dla 14% potrzebny, 17% wskazany oraz dla 17% uznano potrzebę tą jako ograniczoną. W przypadku 31% gleb użytkowanych rolniczo stwierdzono natomiast ich wapnowanie jest zbędne (tabela 4).

Tabela 4. Potrzeby wapnowania gleb w latach 2017-2020 [%]

Województwo	Potrzeba wapnowania gleb				
	konieczna	potrzebna	wskazana	ograniczona	zbędna
dolnośląskie	18	14	22	22	24
kujawsko-pomorskie	12	10	13	16	49
lubelskie	27	15	14	14	30
lubuskie	14	13	17	20	36
łódzkie	29	19	17	14	21
małopolskie	48	14	11	10	17
mazowieckie	30	16	16	13	25
opolskie	11	14	26	28	21
podkarpackie	50	15	12	10	13
podlaskie	32	18	16	11	23
pomorskie	15	17	21	19	28
śląskie	28	15	18	16	23
świętokrzyskie	24	11	11	11	43
warmińsko-mazurskie	16	14	18	20	32
wielkopolskie	15	12	16	16	41
zachodniopomorskie	13	14	18	19	36

Źródło: opracowanie własne na podstawie: *Ochrona środowiska 2021*. 2021. Warszawa: GUS DBPIŚ.

Charakteryzując potrzebę wapnowania gleb w ujęciu regionalnym, zauważyć można, że w badanym interwale czasowym największy jej zakres wystąpił w województwach: podkarpackim, gdzie dla 65% gleb nawożenie wapnem uznano za konieczne i potrzebne oraz w województwie małopolskim (gdzie wapnowanie uznano za konieczne i potrzebne na 62% powierzchni przebadanych gleb). Najmniejszą potrzebę wapnowania gleb stwierdzono natomiast w województwach: kujawsko-pomorskim (dla 49% gleb uznano nawożenie wapnem za zbędne), świętokrzyskim (43%) oraz w wielkopolskim, gdzie 41% gleb nie wykazywało potrzeby odkwaszania. Na tle wszystkich województw wyróżnić należy także opolskie, które charakteryzuje się najmniejszym udziałem gleb kwaśnych i bardzo kwaśnych, niemniej jednak ponad 50% gleb tego regionu wskazuje na potrzebę ich wapnowania, tj. 26% uzyskało status potrzeby wskazanej, a 28% ograniczonej [Niedźwiecki i inni 2021].

Potwierdzeniem oszacowanego powyżej stopnia potrzeb wapnowania gleb w ujęciu regionalnym w Polsce są także dane Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa (IUNG) w Puławach. Wskazują one bowiem, że około 32,5% przebadanych próbek gleb charakteryzuje się potrzebą wapnowania w stopniu koniecznym, 17,2% – potrzebnym, 13,4% – wskazanym, 12% – ograniczonym, a 25% – zbędnym. Największymi potrzebami wapnowania, tj. koniecznymi i potrzebnymi odznaczają się województwa: małopolskie – 77,5%, podkarpackie – 73,4% i łódzkie – 59,7%, natomiast dolnośląskie, mazowieckie, śląskie, podlaskie, lubelskie i warmińsko-mazurskie – od 54,2 do 50,9%. Najmniejsze potrzeby wapnowania cechuje województwo kujawsko-pomorskie - 26,5%. Według przeprowadzonych badań w Polsce blisko 50% przebadanych próbek gleb wskazywało na potrzebę wapnowania na poziomie koniecznym i potrzebnym. Należy zauważyć także, że w porównaniu z danymi Krajowej Stacji Chemiczno-Rolniczej (KSCR) z lat 2012-2015 potrzeby te są wyższe o 15,7% [Ochal i inni 2017].

Przeprowadzona powyżej charakterystyka kwasowości gleb w Polsce wskazuje na uzasadnione potrzeby wapnowania gruntów rolniczych. Należy pamiętać, jednak że poza ograniczeniem poziomu ich zakwaszenia, który jest m.in. efektem wykorzystywania gleb pod

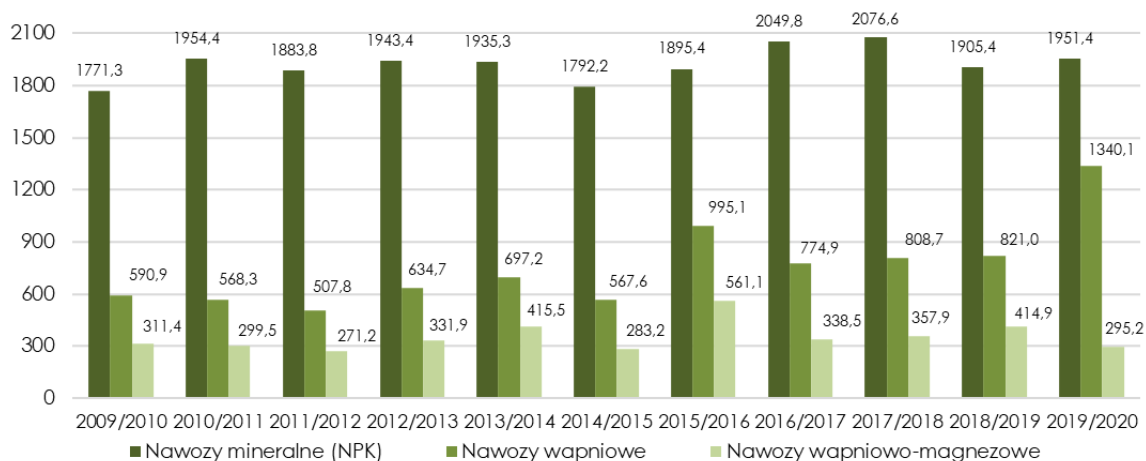
cele produkcyjne, stosowanie nawozów wapniowych oraz magnezowo-wapniowych przynosi także szereg innych korzyści w rolnictwie. Dzięki zastosowaniu wapna aktywują się bowiem mikroorganizmy glebowe, poprawia się skuteczność pracy drobnoustrojów w kształtowaniu żyzności i zdrowotności gleby. Intensywniej przebiegają procesy mineralizacji materii organicznej i sprawniej przebiega udostępnianie roślinom pierwiastków odżywczych, powstawanie humusu glebowego, tworzenie struktury gruzłkowatej gleby, ograniczanie rozwoju patogenów i aktywności enzymów. Użycie wapna nawozowego skutecznie chroni rośliny przed toksycznym działaniem manganu, glinu i metali ciężkich. Jego stosowanie usprawnia obieg węgla, azotu i siarki, zapewniając dobre zaopatrzenie roślin w te składniki. Dobrze odżywiona w wapń roślina, ma mocną i zwartą budowę chroniącą przed wnikaniem patogenów chorobotwórczych. Ponadto tylko gleba o optymalnym pH daje szansę na rozwój runi pastwiskowej bogatej w szereg odżywczych ziół i gatunków traw szlachetnych niezbędnych dla prawidłowego rozwoju zwierząt [www.rolnictwozrownowazone.pl 2022].

Wapnowanie gleb daje również możliwość spełnienia nowych regulacji komisji Unii Europejskiej w ramach wprowadzania Europejskiego Zielonego Ładu, zgodnie z którymi od 2023 r. polscy rolnicy będą zobligowani do dostosowania się do wymogu zmniejszenia strat składników odżywczych o 50% przy jednoczesnym zachowaniu żyzności gleby. W najbliższych latach oznaczać to może zmniejszenie nawożenia mineralnego o blisko 20%, a zużycia pestycydów nawet o 50% [Wpływ Europejskiego Zielonego Ładu na... 2021]. Stosowanie wapna w rolnictwie jest zatem jednym z najskuteczniejszych i efektywnych ekonomicznie sposobów na realizację tych założeń, gdyż warunkuje ono m.in. utrzymanie na wysokim poziomie przyswajalność fosforu, potasu, magnezu i większości mikroelementów. Należy pamiętać jednak, że nawozy wapniowe stanowią grupę środków produkcji, które stosowane są w interwałach kilkuletnich, dlatego też obiektywna ocena efektów wykorzystania nawozów wapniowych wymaga przeprowadzenia analizy trendów ich zużycia przy wykorzystaniu danych wyjściowych z okresu przynajmniej kilku lat.

Analizując wielkość zużycia nawozów wapniowych w Polsce w latach 2010-2020 zauważyć można, że od roku gospodarczego 2009/2010 wzrosło ono ponad dwukrotnie i wyniosło 1 340 tys. ton (591 tys. ton w roku 2009/2010 r.). Warto podkreślić, że poziom zużycia tego rodzaju środków produkcji w sezonie 2019/2020 był najwyższy na przestrzeni badanej dekady. Na wzrost zużycia tych nawozów wpłynął m.in. wprowadzony w 2019 r. „Ogólnopolski program regeneracji środowiskowej gleb poprzez ich wapnowanie” i związane nim dofinansowanie na realizację przedsięwzięć skutkujących poprawą jakości środowiska udzielane w ramach pomocy *de minimis*¹. W sumie, w skali kraju, w omawianym okresie 956 tys. gospodarstw rolnych zadeklarowało stosowanie nawozów mineralnych lub wapniowych. W ogólnej liczbie gospodarstw rolnych udział gospodarstw stosujących nawożenie wapniowe wyniósł 21,3% (wykres 9).

Poza sezonem 2019/2020 wzrostem zużycia nawozów wapniowych przez polskich rolników w stosunku do roku bazowego charakteryzował się rok gospodarczy 2014/2015, w którym ogółem w gospodarstwach rolnych wykorzystano ponad 995 tys. ton nawozów wapniowych (o około 68% więcej niż w 2009/2010). Wyraźna tendencja wzrostowa wystąpiła także w roku 2016/2017 (więcej o około 70%), 2017/2018 (więcej o ponad 35%) oraz w sezonie 2018/2019 (więcej o blisko 40%). W perspektywie dekady największy spadek zużycia nawozów wapniowych zanotowano natomiast w roku gospodarczym 2011/2012 kiedy to nastąpił spadek zużycia tego rodzaju nawozów o ponad 83 tys. ton, tj. o około 14%.

¹ Wielkość pomocy ze strony państwa, która nie wymaga jej wcześniejszego notyfikowania do Komisji Europejskiej. Pułap pomocy *de minimis* wynosi 200 000 EUR w dowolnie ustalonym okresie 3 lat budżetowych. Zasady udzielania pomocy *de minimis* reguluje 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).



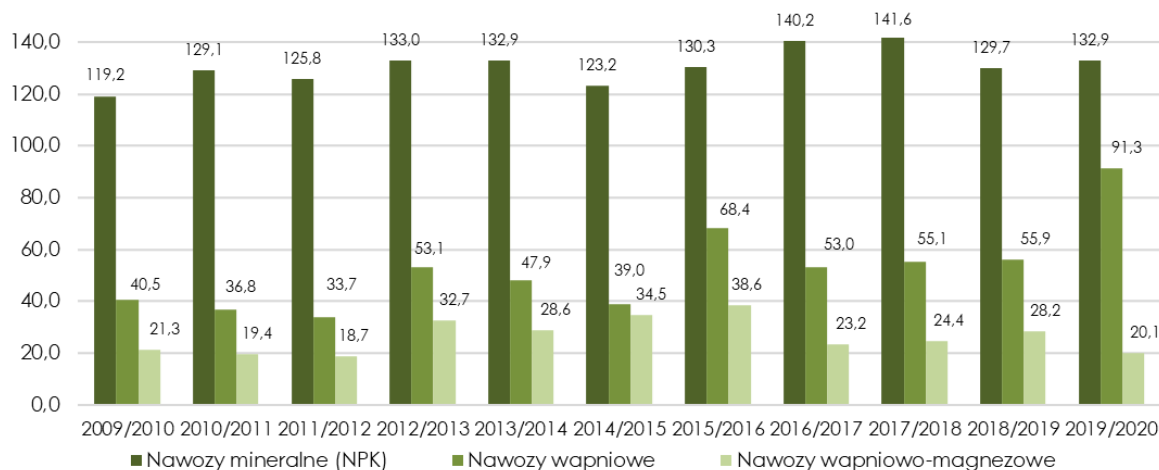
Wykres 9. Zużycie nawozów wapniowych i wapniowo-magnezowych w Polsce w latach 2010-2020 (w przeliczeniu na czysty składnik) na tle nawozów (NPK) [tys. ton]

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 jest natomiast wyraźnie amplituda wahań wielkości ich zużycia w poszczególnych latach. W porównaniu z rokiem bazowym w sezonie 2019/2020 nastąpił spadek wielkości wykorzystanego rodzaju środków produkcji o ponad 16 tys. ton, tj. jest o około 5%. Najwyższy przyrost nawożenia magnezowo-wapniowego dotyczył roku gospodarczego 2013/2014 oraz 2018/2019 (tj. o około 33%). Najniższy poziom ich wykorzystania w produkcji rolnej odnotowano natomiast w sezonie 2011/2012, kiedy w gospodarstwach rolnych użyto około 270 tys. ton, tj. nastąpił spadek w porównaniu do roku 2009/2010 o ponad 13%.

W sezonie 2019/2020 zużycie nawozów wapniowych w Polsce wynosiło średnio 91,3 kg w przeliczeniu na 1 ha UR ogółem 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, w których zużycie tych nawozów wyniosło średnio 133,3 kg CaO na ha UR ogółem [*Powszechny Spis Rolny 2020. Raport... 2021*]. Analizując wielkość wykorzystania nawozów wapniowych w kg na ha UR warto zauważyć, że od roku gospodarczego 2015/2016 (wzrost o około 70%) do 2018/2019 poziom ich zużycia charakteryzowała stała tendencja wzrostowa w porównaniu do roku bazowego kształtująca się w okolicach 35%. Największy spadek wartości zużycia tego rodzaju nawozów wystąpił natomiast w sezonie 2011/2012 i wynosił blisko 17%.

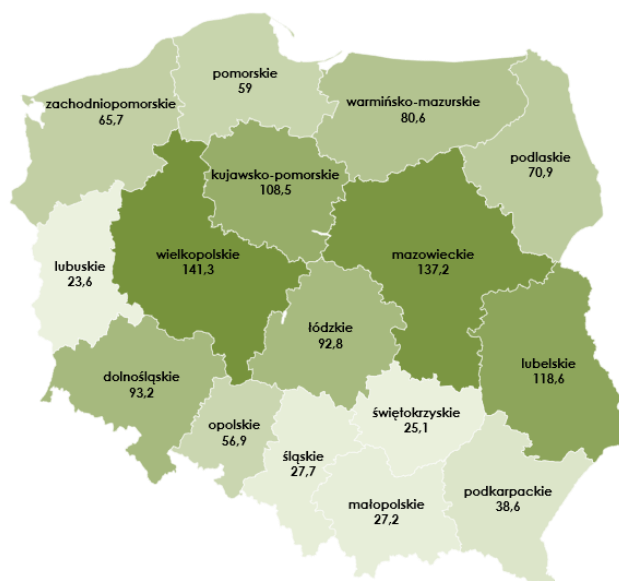
Charakteryzując wielkość zużycia nawozów wapniowych w Polsce można stwierdzić, że stosowane dawki w nawożeniu wapniowym znacznie odbiegają od faktycznych potrzeb. Przeciętnie w kraju zapotrzebowanie na wapno wynosi około 2 t CaO/ha UR. Zastosowanie takiej ilości CaO pozwoliłoby bowiem na doprowadzenie odczynu gleb w Polsce do poziomu odpowiadającego potrzebom produkcji roślinnej [*Wzrost popytu na nawozy.... 2021*]. Analizując, z kolei wielkość wykorzystania w produkcji rolnej nawozów wapniowo-magnezowych w kg na ha UR zauważyć można, że w sezonie 2019/2020 wystąpił niewielki spadek, tj. z 21,4 do 20,1 kg/ha UR. W badanym okresie największy wzrost (o ponad 50%) ich zużycia charakteryzował lata 2012/2013, 2014/2015 oraz 2015/2016. Największy natomiast spadek wykorzystania tego rodzaju nawozów w gospodarstwach rolnych, który wyniósł 12,2% miał miejsce w sezonie 2011/2012 (wykres. 10).



Wykres 10. Zużycie nawozów wapniowych i wapniowo-magnezowych w Polsce w latach 2010 -2020 (w przeliczeniu na czysty składnik) na tle nawozów (NPK) [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 wykonana 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 należą: wielkopolskie (12,1% udziału w krajowym zużyciu CaO ogółem), mazowieckie (11,8%), lubelskie (10,2%) oraz kujawsko-pomorskie (9,3%) (mapa 6).

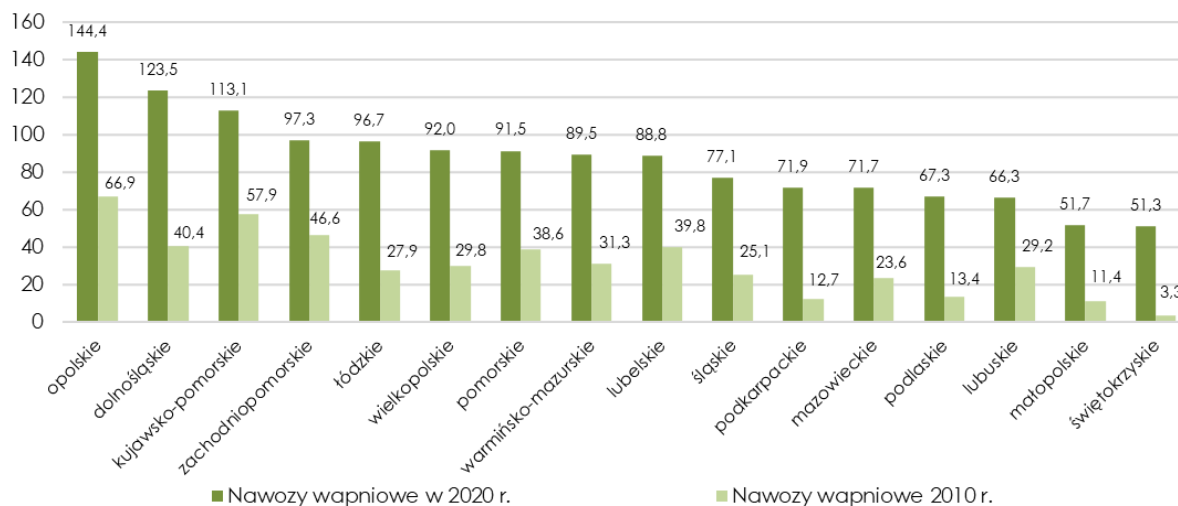


Mapa 6. Zużycie nawozów wapniowych w indywidualnych gospodarstwach rolnych w 2020 r. (w przeliczeniu na czysty składnik) [tys. t]

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

W przypadku regionów o najniższym poziomie nawożenia, gdzie udział w zużyciu nawozów wapniowych ogółem dla Polski wynosił poniżej 5%, wyróżnić należy z kolei województwa: lubuskie (2%), 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. 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 blisko 144,5 kg/ha UR w województwie opolskim. W porównaniu z innymi województwami względnie wysokie zużycie nawozów wapniowych odnotowano również w województwach: dolnośląskim i kujawsko-pomorskim, tj. powyżej 110 kg/ha UR oraz zachodniopomorskim, łódzkim, wielkopolskim i pomorskim – ponad 90 kg/ha UR (wykres 11).

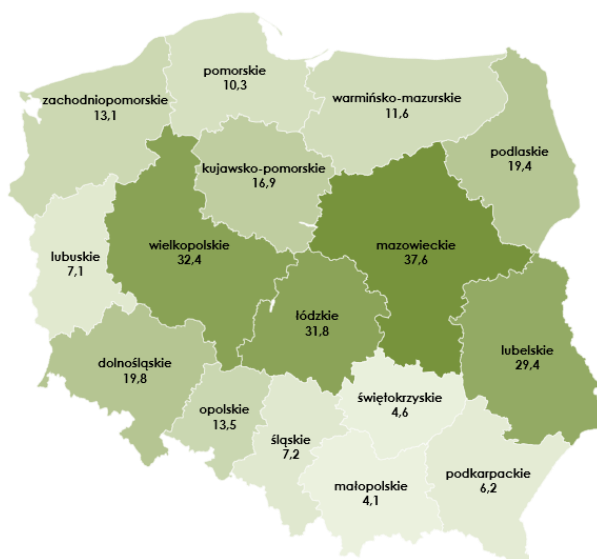


Wykres 11. Zużycie nawozów wapniowych w indywidualnych gospodarstwach rolnych [kg CaO/ha UR]

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

W pozostałych regionach poziom nawożenia CaO kształtował się następująco: lubuskie (66,0 kg), podlaskie (67,3 kg), mazowieckie (71,7 kg), podkarpackie (71,9 kg), śląskie (77,1 kg), lubelskie (88,8 kg) oraz warmińsko-mazurskie (89,5 kg). Analizując wielkość nawożenia wapniowego wyrażoną w kg na hektar UR zauważyć można, że w roku gospodarczym 2019/2020 w poszczególnych regionach Polski ich zużycie było wyższe 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 do 58 kg/ha UR.

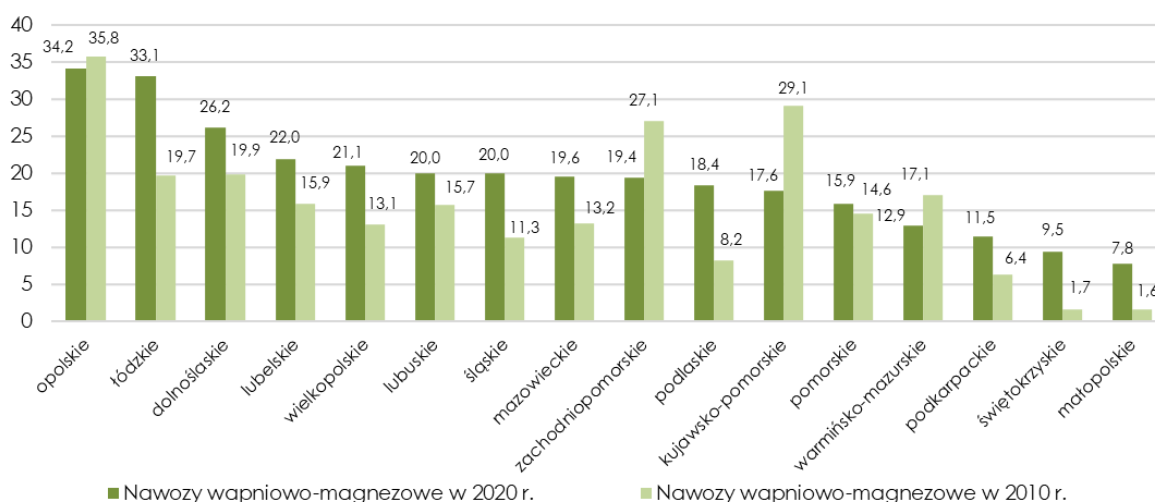
Charakteryzując wewnątrzregionalny rozkład zużycia nawozów magnezowo-wapniowych w indywidualnych gospodarstwach rolnych warto zauważyć, iż podobnie, jak w przypadku nawozów wapniowych w obrębie poszczególnych województw występuje wyraźne zróżnicowanie w tym zakresie. Z danych Głównego Urzędu Statystycznego (GUS) wynika, że do regionów charakteryzujących się najwyższym poziomem nawożenia tego rodzaju środkami produkcji należą województwa: wielkopolskie, mazowieckie i lubuskie, w których w roku gospodarczym 2019/2020 rolnicy stosowali dawkę ponad 30 kg/ha UR. Najniższe zużycie nawozów magnezowo-wapniowych dotyczy natomiast regionów: małopolskiego, świętokrzyskiego (w obu przypadkach w okolicach 4,5 kg/ha UR) oraz województw: podkarpackiego, lubuskiego oraz śląskiego (średnio 6,8 kg/ha UR). W pozostałych regionach wielkość dawki nawożenia na ha UR kształtował się w przedziale od 11,6 kg w województwie warmińsko-mazowieckim do 19,4 kg w podlaskim (mapa 7).



Mapa 7. Zużycie nawozów magnezowo-wapniowych indywidualnych gospodarstwach rolnych w 2020 r. (w przeliczeniu na czysty składnik) [tys. ton]

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 magnezowo-wapniowych wskazują, że w latach 2010-2020 do województw, w których w sezonie 2019/2020 nastąpił spadek poziomu nawożenia tego typu środkami produkcji należą: 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 mazowiecki (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 i 8 kg/ha UR). W pozostałych województwach wzrost poziomu wielkość dawki nawożenia magnezowo-wapniowego na ha UR kształtował się w przedziale od 7,8 kg/ha UR w świętokrzyskim do 1,3 kg/ha UR w pomorskim (wykres 12).



Wykres 12. Zużycie nawozów magnezowo-wapniowych w indywidualnych gospodarstwach rolnych (w przeliczeniu na czysty składnik) [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.

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 oraz dotychczasowy

poziom nawożenia wapniowego wyrażonego w kg/ha UR, należy jak najszybciej zdefiniować działania mające na celu wzrost wapnowania krajowych zasobów gleby. 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.

4. OPIS METODYKI BADAN ORAZ UZASADNIENIE DOBORU OBIEKTÓW

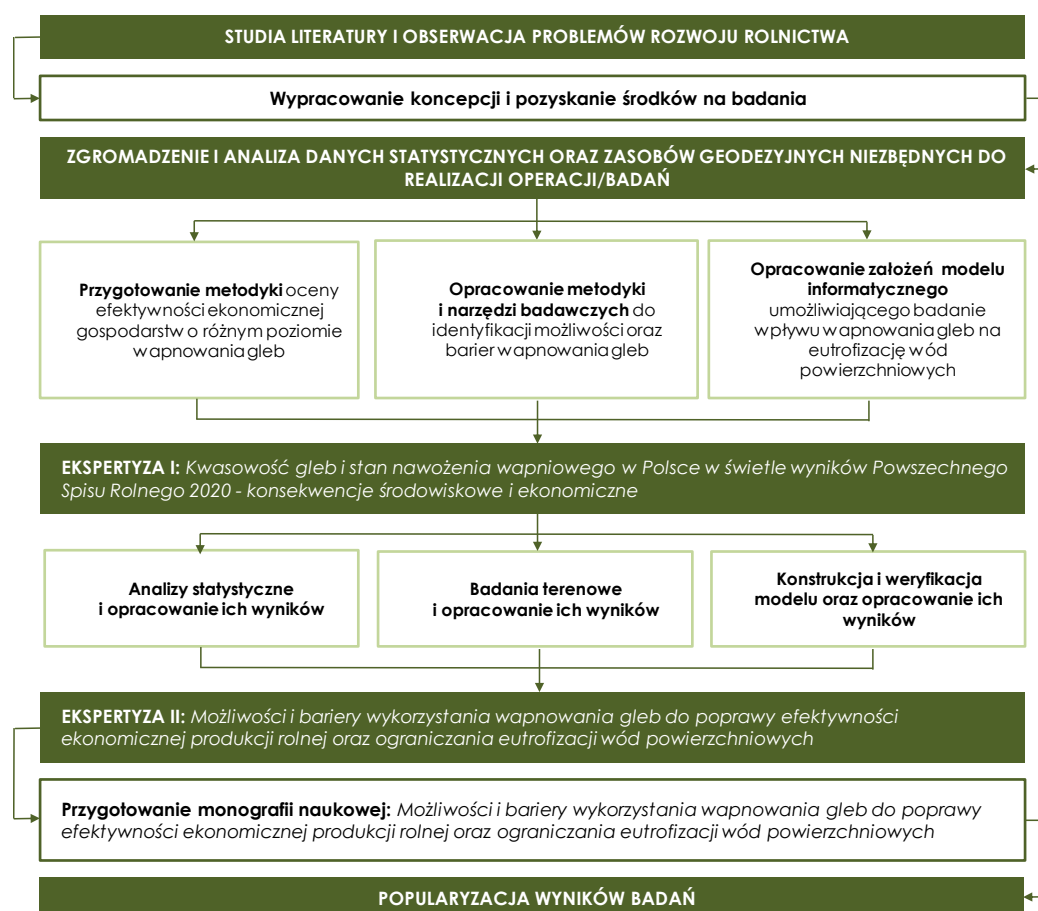
4.1. Cel i zakres badań

Głównym celem podjętych badań jest identyfikacja czynników, które wpływają na niedostateczny poziom stosowania przez rolników nawozów wapniowych w uprawach rolnych. Pomimo tego, iż większość gleb w Polsce wymaga systematycznego nawożenia nawozami wapniowymi to wciąż obserwowane jest relatywnie niskie zainteresowanie nawożeniem wapniowym wśród znacznej części właścicieli ziemi rolniczej, w ograniczonym zakresie zmieniło to również wprowadzenie od 2019 r. programu dopłat do wapnowania gleb. Skutki zbyt dużej kwasowości gleb, jak to już wielokrotnie podkreślano, w negatywny sposób oddziałują na jakość środowiska, jakość i ilość plonów, a tym samym na efektywność ekonomiczną prowadzonej produkcji rolniczej.

Prezentowana ekspertyza ma na celu nakreślenie tła dla wieloaspektowych badań, które będą prowadzone w drugim etapie realizacji projektu. W etapie pierwszym szczególną uwagę poświęcono wypracowaniu metodyki badań, w tym narzędzi badawczych oraz pozyskaniu i wstępnej analizie materiałów wtórnych. Najważniejsze efekty studiów literatury na temat przyrodniczych, ekonomicznych oraz przestrzennych konsekwencji zbyt wysokiej kwasowości gleb zostały już omówione w rozdziałach poprzednich. Szczegółowo zostały również zaprezentowane wyniki analizy przestrzennej i dynamicznej poziomu nawożenia NPK oraz nawozami wapniowymi. W dalszej części opracowania zaprezentowane zostaną najważniejsze założenia planowanego procesu badawczego, na który będą się składały:

- próba oceny efektywności ekonomicznej gospodarstw towarowych w zależności od stosowanego poziomu nawożenia gleb wapniem oraz identyfikacja czynników w największym stopniu oddziałujących na wyniki ekonomiczne tych gospodarstw,
- poznanie opinii rolników oraz pracowników instytucji okołorolniczych na temat możliwości i barier stosowania nawozów wapniowych,
- 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 ciek wódno lub wód stojących) (rysunek 6).

Zasadniczy zakres czasowy dla planowanych badań ekonomiczno-społecznych bazujących na wtórnych źródłach informacji stanowi okres lat 2010-2020. Szczegółowy zakres badań w poszczególnych etapach zostanie omówiony w kolejnych rozdziałach. Złożony charakter prowadzonych badań wymusił na zespole realizującym projekt korzystanie ze zróżnicowanej i szerokiej bazy informacji, na którą złożyły się materiały publikowane przez instytuty badawcze, instytucje otoczenia rolnictwa, w tym Agencję Resestrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa, Stacje Chemiczno-Rolnicze, statystykę publiczną (głównie GUS oraz Wojewódzkie Urzędy Statystyczne). Punktem wyjścia zarówno dla powstania projektu, jak również dla realizacji jego pierwszego etapu były wyniki przeprowadzonego w 2020 r. Powszechnego Spisu Rolnego. Bardzo ważnym źródłem informacji były dane pozyskane z Polskiego FADN, gromadzone i administrowane przez Instytut Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej PIB w Warszawie. FADN (Farm Accountancy Data Network) to europejski system zbierania danych rachunkowych z gospodarstw rolnych, którego formalne kształtowanie rozpoczęło się w 1965 r. [Rozporządzenie Rady EWG nr 79/65/EWG].



Rysunek 6. Etapy procesu badawczego

Źródło: opracowanie własne.

Zakres przestrzenny prowadzonych badań został zdeterminowany założeniami projektu. Na etapie projektowania badań założono, iż analizy statystyczne zostaną przeprowadzone w ujęciu regionalnym, co wynikało między innymi z dostępności danych masowych. Na bazie przeprowadzonej analizy wytypowano cztery województwa do badań szczegółowych, tj.: małopolskie, opolskie, podkarpackie i zachodniopomorskie. Regiony te charakteryzują się zdecydowanie odmiennymi uwarunkowaniami środowiskowymi, strukturalnymi i historycznymi, co istotnie poszerzy możliwość wnioskowania. Jak wykazały wyniki analiz zaprezentowane w rozdziale III są to również województwa znacznie zróżnicowane pod względem wysokości 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 nawożenia wapniem był najwyższy i wynosił 144,4 kg CaO na ha UR. W województwie zachodniopomorskim wynosił on natomiast odpowiednio 97,3 kg/ha UR.

Dzięki identyfikacji czynników, które wpływają na niski poziom stosowania przez rolników nawozów wapniowych, możliwe będzie wyeliminowanie lub ograniczenie tego zjawiska. W wyniku realizacji projektu i promocji wyników badań 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 świadomości rolników oraz wiedzy rolników, pracowników instytucji okołorolniczych oraz decydentów na temat znaczenia zabiegu 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 poprawy tej sytuacji (efekty etapu I),

- identyfikacji barier oraz możliwości zwiększenia poziomu wapnowania gleb, a tym samym poprawy efektywności ekonomicznej funkcjonowania gospodarstw rolnych oraz jakości wód gruntowych (efekty etapu II),
- dostarczenia i promocji wytycznych do konstrukcji nowych, skuteczniejszych programów regeneracji środowiskowej gleb poprzez ich wapnowanie (efekty etapu III).

Dzięki publikacji wyników badań w perspektywie długookresowej nastąpi wzrost świadomości rolników, pracowników instytucji okołorolniczych i decydentów w zakresie znaczenia wapnowania gleb dla poprawy rolniczej przestrzeni produkcyjnej (mi.n. wzrost zawartości próchnicy, poprawa struktury gleby, pojemności sorpcyjnej) i jakości środowiska (m.in. ograniczenie odpływu składników nawozów mineralnych NPK do wód gruntowych oraz powierzchniowych). Dzięki zwiększeniu poziomu wapnowania gleb zwiększy się wysokość i jakość plodów rolnych, bez konieczności zwiększania drogiego nawożenia NPK, a także możliwe będzie ograniczenie nawożenia NPK (na potrzebę ograniczania nawożenia NPK wskazują założenia koncepcji Europejskiego Zielonego Ładu). Nastąpi również poprawa jakości gleb użytkowanych rolniczo. Wzrost wiedzy na temat wapnowania, jak również szersze stosowanie tego zabiegu podniosą konkurencyjność gospodarstw rolnych oraz poprawią ich wyniki ekonomiczne.

4.2. Uzasadnienie doboru obiektów badań

Zgodnie z założeniami projektu analizy statystyczno-ekonomiczne prowadzone będą na poziomie województw, ze szczególnym uwzględnieniem regionów wytypowanych do badań, tj.:

- województwo małopolskie,
- województwo opolskie,
- województwo podkarpackie
- województwo zachodniopomorskie.

Podjęcie takie wynika zarówno z dostępności danych, jak również z przepisów określających możliwości publikowania wyników badań opracowanych na podstawie informacji gromadzonych w bazie FADN. Tam, gdzie to będzie możliwe i celowe przedstawione zostaną również charakterystyki opisujące powiaty, a w szczególności powiaty wytypowane do przeprowadzenia badań ankietowych. Zgodnie z założeniami projektu do badań terenowych należało wytypować po dwa powiaty w każdym z czterech województw. Ze względu na dużą liczebność badanych jednostek samorządu terytorialnego w Polsce (314 powiatów ziemskich) analizowaną zbiorowość podzielono na cztery grupy o zróżnicowanym poziomie zużycia nawozów wapniowych (w kg/ha UR). Podziału analizowanych powiatów dokonano, przy wykorzystaniu kryterium wartości średniej arytmetycznej (X_{sr}) oraz odchylenia standardowego $S(X_i)$ (tab. 5).

Tabela 5. Kryteria podziału powiatów ziemskich w Polsce na grupy o zróżnicowanym poziomie zużycia nawozów wapniowych (CaO t/ha UR)

Grupa	Kryterium podziału	Poziom nawożenia CaO [kg/ha UR]
A - o najwyższym poziomie nawożenia CaO	$X_i \geq X_{\text{sr}} + S(X_i)$	powyżej 126
B - o średnim poziomie nawożenia CaO	$X_i \in [X_i, X_{\text{sr}} + S(X_i)]$	126 - 84
C - o niskim poziomie nawożenia CaO	$X_i \in [X_{\text{sr}} - S(X_i), X_i]$	84 - 42
D - o najniższym poziomie nawożenia CaO	$X_i < X_{\text{sr}} - S(X_i)$	poniżej 42

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Kukuła 2000.

Przeprowadzona analiza przestrzenna wykazała znaczne zróżnicowanie poziomu nawożenia wapniowego pomiędzy powiatami. Najniższy poziom wapnowania stwierdzono w powiatach: leskim (1,1 kg CaO/ha UR), tatrzańskim (1,8 kg/ha UR) oraz skarżyskim (2,3 kg/ha UR). Były to katastrofalnie niskie wartości zarówno w odniesieniu potrzeb, jak i do poziomu wapnowania stosowanego w powiatach oświęcimskim (221,3 kg/ha UR), dzierzoniowskim (220,7 kg/ha UR), głubczyckim (205,1 kg/ha UR) oraz lubańskim (204,9 kg/ha UR).

W każdym z badanych województw do badań szczegółowych wybrano po jednym z powiatów o relatywnie wysokim poziomie nawożenia CaO i po jednym z powiatów o relatywnie niskim poziomie nawożenia wapniowego. W trakcie dokonywania wyboru uwzględniono również dodatkowe kryteria, tj. sposób użytkowania gruntów, struktura użytków rolnych, możliwości logistyczne przeprowadzenia badań, itp. Ostatecznie do badań terenowych (ankietowych) wytypowane zostały:

- powiat oświęcimski (221,3 kg CaO/ha UR) oraz nowosądecki (19,4 kg CaO/ha UR) (województwo małopolskie),
- powiat prudnicki (176,3kg CaO/ha UR) oraz opolski (51,8 kg CaO/ha UR) (województwo opolskie),
- powiat jarosławski (194,7kg CaO/ha UR) oraz jasielski (20,5 kg CaO/ha UR)(województwo podkarpackie),
- powiat łobeski (145,8 kg CaO/ha UR) oraz drawski (57,8 kg CaO/ha UR) (województwo zachodniopomorskie) (mapa 8).



Objaśnienia do mapy 8: A – powiaty ziemskie o najwyższym poziomie nawożenia wapniowego (CaO), B – powiaty ziemskie o średnim poziomie nawożenia wapniowego (CaO), C – powiaty ziemskie o niskim poziomie nawożenia wapniowego (CaO), D – powiaty ziemskie o najniższym poziomie nawożenia wapniowego (CaO).

Mapa 8. Lokalizacja powiatów wytypowanych do przeprowadzenia badań ankietowych zlokalizowanych na obszarze czterech województwach Polski

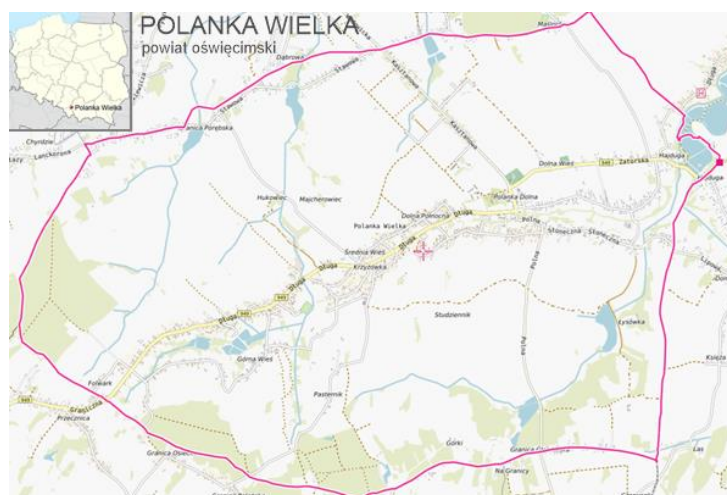
Źródło: opracowanie własne: www.bdl.stat.gov.pl 2022.

Zgodnie z założeniami projektu, jednym z jego etapów jest opracowanie modelowania wpływu wapnowania gleb na ograniczenie zagrożenia eutrofizacją otaczających je wód powierzchniowych. Opracowanie modelu, jego przetestowanie i dopasowanie wartości

wykorzystanych parametrów oraz funkcji, zostanie wykonane na jednym z obszarów testowych. Jako kryteria doboru obszaru testowego 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.

Kolejnym z kryteriów jest lokalizacja wybranego obszaru na terenie, gdzie przeprowadzone zostaną badania ankietowe wśród rolników oraz pracowników instytucji. Po szeregu analiz, wybrano do badań obszar wsi (a jednocześnie gminy) Polanka Wielka w powiecie oświęcimskim (gmina Polanka Wielka). Obiekt ten jest zlokalizowany w powiecie, który został wybrany do analizy (w tym do przeprowadzenia na jego terenie badań ankietowych) ze względu na wysoki poziom nawożenia nawozami wapniowymi (mapa 9 i 10).



Mapa 9. Lokalizacja obiektu badań na tle mapy Polski oraz mapa topograficzna z lokalizacją cieków i zbiorników wodnych

Źródło: opracowanie własne.



Mapa 10. Lokalizacja obiektu badań na tle ortofotomapy

Źródło: opracowanie własne.

Cechy charakterystyczne wybranego obszaru istotne z punktu widzenia realizowanego projektu, to:

- stosunkowo duża, jak na pojedynczą wieś powierzchnia (2400 ha), w praktyce obszar wsi stanowi jednocześnie obszar całej gminy Polanka Wielka,
- interesujący z punktu widzenia celu badań układ cieków i zbiorników wód powierzchniowych,
- układ pól uprawnych, które kwalifikują obszar wsi do prowadzenia prac urządzeniowo-rolnych (niekorzystne parametry rozdrobnienia gruntów, bardzo wydłużone działki),
- zróżnicowane parametry pokrycia terenu przez różne formy jego użytkowania, w tym również występowanie obszarów pokrytych lasami,
- odpowiednio duża deniwelacja na obszarze badań (występują wysokości pomiędzy 245 m a 285 m n.p.m.), co odpowiada różnicy wysokości 40 metrów; wartość ta pozwala zaobserwować istotny poziom erozji powierzchniowej na badanym obszarze oraz potencjalnie wysoki udział wymywania składników z gleb w postaci spływu powierzchniowego,
- obszar jest stosunkowo intensywnie użytkowany rolniczo, przy czym obserwowane są zarówno grunty orne, jak i trwałe użytki zielone,
- obszar posiada pokrycie cyfrową mapą glebowo-rolniczą, dostępne są ponadto wszystkie inne kluczowe dla realizacji modelu dane przestrzenne, w tym wyniki pomiarów metodą lotniczego skaningu laserowego.

4.3. Założenia metodyczne do oceny efektywności ekonomicznej gospodarstw rolnych stosujących różne strategie wapnowania gleb

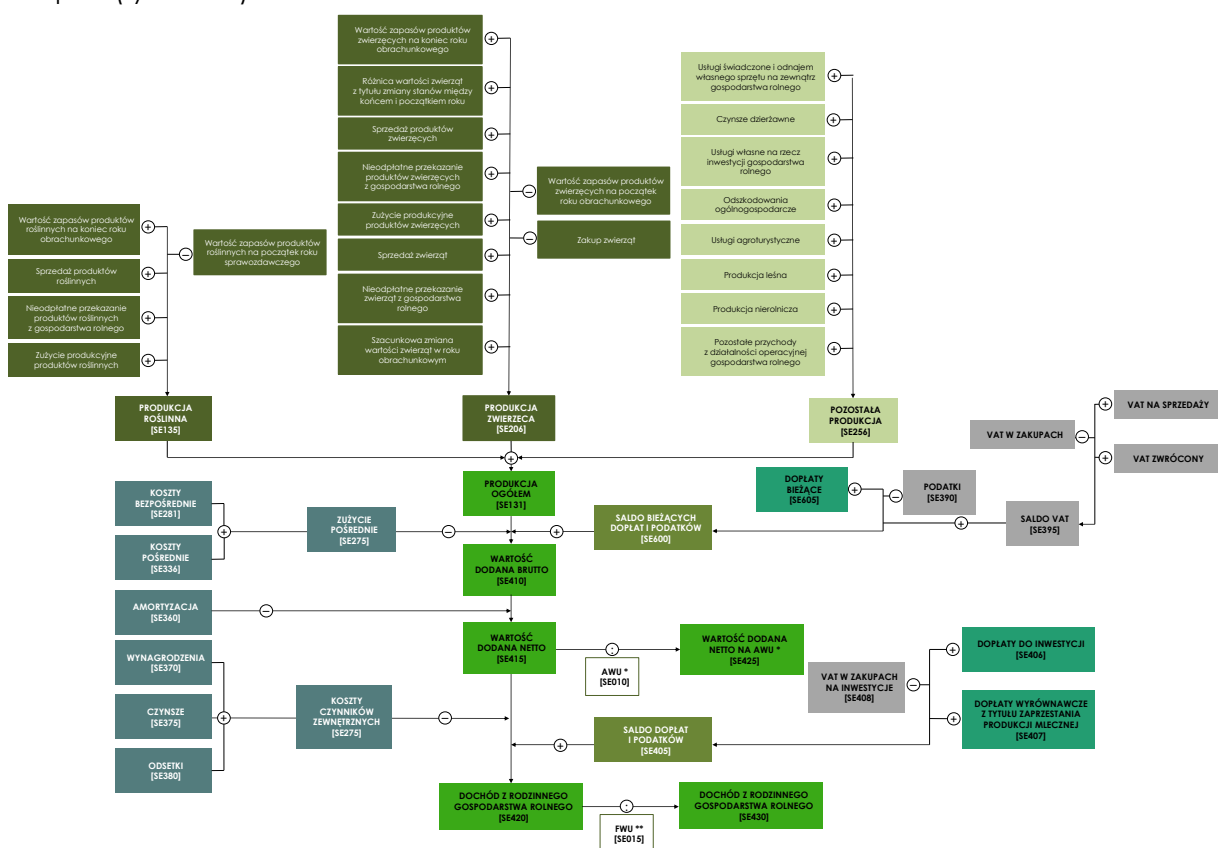
Ocena wyników ekonomicznych gospodarstw rolnych jest przedsięwzięciem bardzo trudnym, m.in. ze względu na brak powszechnego obowiązku prowadzenia rachunkowości w gospodarstwach rolnych. Obowiązek taki przewidują, na ogół w formie uproszczonej, tylko niektóre z systemów wsparcia gospodarstw środkami publicznymi. Sytuacja taka bardzo utrudnia nie tylko analizy ekonomiczne o charakterze naukowym, ale bardzo często również bieżące podejmowanie decyzji przez samych rolników. W projektowanych badaniach efektywności ekonomicznej gospodarstw rolnych stosujących różne strategie nawożenia nawozami waniowymi 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. W polu obserwacji europejskiego systemu FADN znajdują się gospodarstwa towarowe, które wytwarzają około 90% wartości Standardowej Produkcji w danym regionie lub kraju. Są to więc podmioty relatywnie większe i silniejszych ekonomicznie, dlatego też uzyskane wyniki nie mogą być uznawane jako reprezentatywne dla całej populacji gospodarstw rolnych.

Dużym atutem danych gromadzonych w ramach FADN jest wypracowywana przez kilka dekad metodologia 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 [Wojewodziec 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. Dla potrzeb realizowanego projektu zostały wzbogacone o ocenę jakości ziemi, wysokość i koszty wapnowania oraz nawożenia NPK. Każde z gospodarstw na bazie metodologii

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 euro². 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), średniomałe (25 000 - 50 000 euro), średnioduże (50 000 - 10 0000 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 8 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 7).



Objaśnienia do rysunku 7: * 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 7. Sposób obliczania dochodu gospodarstwa rolnego według FADN

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

² Standardowa Produkcja (SO) jest to średnia z 5 lat wartości 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.

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 pozostają 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.

Zarówno odsetek gospodarstw stosujących wapnowanie, jak i średnia wysokość stosowanych dawek CaO są wyższe w grupie gospodarstw towarowych niż w całej populacji gospodarstw rolnych w Polsce. Wynika to zarówno z charakteru prowadzonej produkcji, ale jak należy przypuszczać również z wiedzy merytorycznej samych rolników, którzy prowadzą gospodarstwa ukierunkowane na rynek i generowanie dochodu. Już wstępne wyniki badań wykazały, że zarówno odsetek gospodarstw dokonujących wapnowania jak i średnie dawki zastosowanych nawozów wapniowych wzrastały w latach 2010-2020 w gospodarstwach prowadzących rachunkowość rolną dla potrzeb FADN (tabela 6). Jednocześnie średnia ilość zastosowanego CaO na ha UR była znacznie wyższa niż zaprezentowana w rozdziale III niniejszej ekspertyzy na bazie wstępnych wyników Powszechnego Spisu Rolnego z 2020 r.

Tabela 6. Gospodarstwa rolne ponoszące wydatki na wapnowanie w latach 2010-2020*

Rok	Liczba gospodarstw rolnych wapnujących gleby	Gospodarstwa rolne wapnujące gleby [%]	Średnia dawka nawożenia wapniowego (CaO) w gospodarstwie rolnym [kg/ha UR]
2010	776	20,8	136
2011	980	26,3	177
2012	1 103	29,6	211
2013	1 188	31,9	209
2014	1 214	32,6	192
2015	1 243	33,4	205
2016	1 334	35,8	222
2017	1 315	35,3	220
2018	1 346	36,1	233
2019	1 379	37,0	246
2020	1 300	34,9	256

Objaśnienia do tabeli 6: * Polska ogółem N = 3 726.

Źródło: opracowanie własne: podstawie danych FADN.

Wstępne analizy wykazały, że w badanej populacji 3 726 gospodarstw towarowych stosowane były różne strategie odnośnie częstotliwości zakupu i stosowania wapnowania gleb. Jak podaje literatura przedmiotu z agrotechnicznego punktu widzenia wskazane jest coroczne wapnowanie gleb o niskim odczynie pH, w praktyce jednak dobre wyniki dają również wapnowanie większymi dawkami co 2-3 lata na glebach lekkich i co 3-4 lata na glebach ciężkich. Dane gromadzone w ramach systemu FADN nie pozwalają na szczegółową ocenę strategii wapnowania, ani identyfikację dawek zastosowanych na poszczególne pola. Pozwalają jednak na wskazanie czy w danym roku gospodarstwo zakupiło nawozy wapniowe, bez określenia czy były one stosowane w małych dawkach na całą powierzchnię, czy w większych na wybrane pola. Niemniej już nawet informacje zawarte w bazie FADN pozwoliły zidentyfikować podmioty nie dokonujące wapnowania w latach 2010-2020, a było ich 703

(18,9%), co jest liczbą bardzo dużą. Dla potrzeb uszczegółowienia analizy dokonano podziału badanych gospodarstw wykorzystując częstotliwość zakupu nawozów wapniowych w latach 2010-2016 oraz 2017-2020 (tabela 7). W praktyce zakup nawozów wapniowych jest równoznaczny z ich zastosowaniem ze względu na trudności z przechowywaniem tego typu nawozów w dłuższej perspektywie.

Tabela 7. Strategie gospodarstw rolnych odnośnie częstotliwości zakupu nawozów wapniowych

Wyszczególnienie		Częstotliwość wapnowania w okresie 2010-2016				Razem
		0*	1-2*	3-5*	6-7*	
		Liczba gospodarstw rolnych stosujących daną strategię				
Częstotliwość wapnowania w okresie 2017-2020	0*	703	432	132	9	1 278
	1-2*	310	613	511	81	1 515
	3-4*	51	223	471	188	933
Razem		1 064	1 268	1 114	278	3 724

Objaśnienia do tabeli 7: * liczba lat w danym okresie, w których ponoszono koszty na wapnowanie.

Źródło: opracowanie własne: podstawie danych FADN.

Pomimo wzrostu zainteresowania rolników nawożeniem wapniowym w dalszym ciągu duża grupa gospodarstw stosuje tylko sporadycznie ten typ nawożenia. W okresie 2017-2020, aż 34,3 % badanych podmiotów nie prowadziło wapnowania, mimo że powinno mieć ono miejsce w tym okresie conajmniej raz. W badanych województwach wskaźnik ten wynosił odpowiednio: w małopolskim – 45,1%, opolskim – 23,3%, podkarpackim – 21,8% oraz zachodniopomorskim – 27,9%. Sytuacja taka powinna mieć istotny wpływ na wysokość i jakość plonów w tych gospodarstwach, a tym samym na efekty ekonomiczne prowadzonej produkcji. Jednym z kluczowych pytań jakie się pojawia w trakcie analiz ekonomicznych jest: w jaki sposób zabiegi wapnowania wpływają na wyniki ekonomiczne gospodarstw rolnych. Jest to jednak pytanie bardzo trudne, a próba odpowiedzi na nie wymaga wieloaspektowych analiz. Proste policzenie średniej wartości dochodu rolniczego w gospodarstwach prowadzących wapnowanie i nie stosujących tego zabiegu nie tylko nie daje odpowiedzi na to pytanie, ale może wręcz wprowadzać w błąd.

Każde gospodarstwo jest inne, a na kształtowanie dochodu rolniczego wpływ wywiera bardzo dużo czynników, z czego część nie ma oddzwierciedlenia w bazie danych FADN, a część jest wręcz nie kwantyfikowalna. Na obecnym etapie badań nie należy wyciągać dalekoidących wniosków ze średniej wartości dochodu rolniczego w gospodarstwach o różnym poziomie stosowania nawozów wapniowych. Dlatego też zrezygnowano z ich prezentacji w obecnym opracowaniu. Dopiero szczegółowe analizy poprzedzone dogłębną weryfikacją zgromadzonych danych mogą zbliżyć badaczy do prawdy o efektywności ekonomicznej wapnowania gleb. W drugim etapie badań podjęta zostanie próba identyfikacji czynników determinujących efektywność nawożenia przy wykorzystaniu zaawansowanych narzędzi pakietu Statistica®. Podjęte zostaną również próby modelowania kategorii dochód z gospodarstwa rolnego oraz wartość dodana brutto z wykorzystaniem różnych zmiennych objaśniających, w tym poziom nawożenia wapniowego.

5. OPIS METODYKI BADAŃ TERENOWYCH

5.1. Podstawowe założenia badawcze

Głównym celem operacji jest określenie czynników, które wpływają na niedostateczny poziom stosowania przez rolników nawozów wapniowych w uprawach rolnych. Kluczowym elementem realizacji tak przyjętego celu badawczego będzie poznanie opinii rolników oraz pracowników instytucji okołorolniczych na temat możliwości i barier stosowania nawozów wapniowych. Operacja wychodzi naprzeciw konieczności opracowania odpowiedniej metodologii, pozwalającej na realizację powyższych założeń. Niezbędnym jej elementem jest opracowanie przez interdyscyplinarny zespół badawczy narzędzi badawczych (kwestionariuszy ankiet) służących pozyskaniu danych pierwotnych, będących podstawą dalszych prac. Zagadnienia zawarte w kwestionariuszach ankiet przygotowanych w pierwszym etapie realizacji projektu powinny dostarczyć odpowiedzi na 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 nieodpłatnych programów wsparcia wapnowania gleb?
- w jaki sposób na przyszłość gospodarstw rolnych wpłynie realizacja założeń koncepcji Europejskiego Zielonego Ładu?

Badania ankietowe będą prowadzone wśród:

- właścicieli gospodarstw rolnych (rolników),
- pracowników instytucji okołorolniczych (tzw. ekspertów), w tym 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.

Prace badawcze w ramach projektu będą realizowane w celowo przyjętych do badań ośmiu powiatach z obszaru 4 województw, tj. (alfabetycznie):

- małopolskiego,
- opolskiego,
- podkarpackiego,
- zachodniopomorskiego.

Regiony te charakteryzują się zdecydowanie odmiennymi uwarunkowaniami środowiskowymi, strukturalnymi i historycznymi, co istotnie wzbogaci spektrum planowanych badań oraz poszerzy możliwość wnioskowania.

5.2. Metody gromadzenia materiałów źródłowych

Biorąc pod uwagę założone cele badawcze oraz zakres podjętych prac, niezbędne jest skorzystanie z licznych źródeł informacji, zarówno o charakterze wtórnym, jak i pierwotnym. Pożądane będzie łączenie w badaniach analizy danych pierwotnych i wtórnych, gdyż konfrontując te dwa źródła danych, powstanie pełniejszy obraz badanego zjawiska. Prace

należy więc prowadzić w układzie dwustopniowym, opartym o studia literaturowe oraz badania empiryczne. Pierwsza i zarazem wyjściowa płaszczyzna warunkująca zakres przedmiotowy, podmiotowy i przestrzenny prowadzonych badań koncentrowała się na analizie polskiej i zagranicznej literatury przedmiotu, a w tym wykorzystaniu 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 prymarnych projektów badawczych [Hinds i inni 1997, Corti i Thompson 2007, Bartnikowska i inni 2017].

Z kolei druga płaszczyzna badawcza, obejmująca kwestie poznania opinii rolników oraz pracowników instytucji okołorolniczych na temat możliwości i barier stosowania nawozów wapniowych, wymaga pozyskania danych pierwotnych. Zbieranie danych ze źródeł pierwotnych jest głównym etapem w całym procesie badania. Etap ten bowiem generuje najwyższe koszty oraz decyduje o jakości danych i czasie całego procesu badawczego (Kaczmarczyk 2014). 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].

Jedną z kluczowych metod pozyskiwania pierwotnych materiałów źródłowych jest metoda ankietowa. Ankieta jest szeroko obecnie stosowaną formą badania preferencji, opinii i postaw społecznych [Mruk 2003, Dacko i inni 2021]. Metoda badań ankietowych w aspekcie technicznym sprowadza się do udzielania przez wyraźnie określone osoby (respondentów) odpowiedzi na pytania tworzące świadomy, logiczny, konsekwentny i spójny zestaw odpowiedzi służących do rozwiązania problemu [Apanowicz 2003]. Jej podstawową cechą jest brak aktywnej i dynamicznej interakcji pomiędzy badaczem a respondentem [Matejun 2016]. W metodzie ankietowej podstawowym instrumentem pomiarowym jest kwestionariusz ankiety (zw. też formularzem lub ankietą), będący zbiorem pytań. Zawiera on uporządkowany zestaw pytań zapisanych w określony sposób na kartkach papieru lub w innej formie, na które badany (respondent) udziela odpowiedzi [Kaczmarczyk 1995].

Warto nadmienić, że stosowanie kwestionariusza jest wspólną cechą zarówno metody ankietowej, jak i drugiej z kluczowych metod pozyskiwania pierwotnych danych źródłowych – metody wywiadu standaryzowanego. Różnice pomiędzy tymi metodami tkwią w tym, że w metodzie ankietowej respondent udziela odpowiedzi wyłącznie na piśmie. Brak jest więc bezpośredniego kontaktu respondenta z badanym. Przebieg badania ankietowego może być realizowany przez ankietera, jednak w tym przypadku powinien on pełnić bardziej rolę techniczną, niż merytoryczną [Babbie 2013]. Niekiedy kontakt badacza z respondentem może być bardzo przydatny. Zapewnia on bowiem możliwość wspólnej interpretacji pytań, gdy okaże się, że nie są one w pełni zrozumiałe dla odbiorcy. Takie możliwości daje z kolei metoda wywiadu. Wywiad najogólniej definiuje się jako rozmowę kierowaną, w której udział biorą co najmniej dwie osoby - ankietę (badacz) oraz respondent (Sztumski 1995). Wywiad nie jest tylko rozmową, lecz formą dialogu umożliwiającą badającemu uzyskanie od respondenta takich informacji, które pomogą mu osiągnąć postawiony cel badań [Żelazo 2013].

Zarówno metoda wywiadu standaryzowanego, jak i metoda ankietowa mogą znaleźć szerokie zastosowanie w badaniach realizowanych w ramach przyjętej operacji. Wybór odpowiedniej z nich pozostaje podyktowany możliwościami oraz wielkością badanej próby. Wybór sposobu przeprowadzenia badań ankietowych musi być dostosowany do warunków

lokalnych. Doświadczenia autorów ekspertyzy wskazują, iż potencjalni respondenci niechętnie biorą udział w badaniach, gdy są do nich zapraszani przez osoby obce. Trudno również oczekiwać udziału w badaniach prowadzonych przez Internet osób w starszym wieku oraz osób bardziej aktywnych zawodowo. Dlatego też, najbardziej skutecznym sposobem dotarcia do respondentów wydaje się wykorzystanie autorytetu liderów lokalnych, takich jak sołtysi, radni, delegaci izb rolniczych i zaangażowanie ich w przeprowadzenie badań przy wykorzystaniu papierowego formularza ankiety.

5.3. Instrumenty pomiarowe – kwestionariusze ankiety

Na potrzeby realizacji operacji i przyjętych w niej celów badawczych zaprojektowane zostały 2 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).

Przygotowując kwestionariusze ankiet dążono do tego, aby uzyskane dzięki nim wyniki umożliwiły poznanie, ogląd, modelowanie nieznannej jeszcze (lub zbyt słabo rozpoznanej) rzeczywistości. Jak podaje Kowal (1998), uogólnianie bądź modelowanie dotyczyć może m.in.:

- zliczania obiektów lub zdarzeń (np. liczba rolników korzystających z dopłat do zakupu i stosowania nawozów wapniowych),
- oceny natężenia lub intensywności występowania pewnej właściwości (np. odsetek osób, które na 5-cio stopniowej skali Likerta stwierdziły, że zastosowanie wapnowania gleb zdecydowanie zwiększa plony),
- częstości występowania pewnej właściwości (np. odsetek rolników z wykształceniem wyższym rolniczym wśród ogółu respondentów).

Dokonując pomiaru badacz może koncentrować się na różnych kwestiach: zliczaniu, porównywaniu ze wzorcem, porządkowaniu lub przypisywaniu odpowiedniego nasilenia, właściwości cechy. W uogólnieniu pomiarem nazywa się czynność przyporządkowania cechom liczb lub opisów słownych w taki sposób, aby odzwierciedlały one relacje zachodzące między badanymi jednostkami. Jak zauważają Kędzior i Karcz (1999), Kowal (1998) oraz Łaniec (1999), w badaniach marketingowych pomiaru zmiennej dokonuje się na jednej z czterech skal – nominalnej, porządkowej, interwałowej lub ilorazowej. W kwestionariuszach ankiety przygotowywanych w celu realizacji przyjętych założeń badawczych projektu, dominować będzie skala pięciostopniowa – oparta na niej zostanie zdecydowana większość pytań przyporządkowując im odpowiedzi wg koncepcji Likerta, tj. „zdecydowanie tak”, „raczej tak”, „ani tak, ani nie” (lub „nie mam zdania” w zależności od treści pytania), „raczej nie”, „zdecydowanie nie”. Preferowana skala Likerta odpowiada na potrzeby liczenia wskaźników zbudowanych z sumy (lub średniej) pytań kwestionariuszowych, a w związku z tym różni się od innych skal porządkowych. Z reguły bywa ona traktowana jako ilościowa. W zaprojektowanych kwestionariuszach ankiet przewidziano także kilka pytań opartych na skalach nominalnych, porządkowych i interwałowych.

Kwestionariusz ankiety „*Możliwości i bariery stosowania nawozów wapniowych wg rolników*” (Ankieta 1) adresowany jest do właścicieli gospodarstw rolnych zlokalizowanych w przyjętych do badań powiatach (w ramach 4 wytypowanych województw). Ankieta składa się z kilku części, dzięki którym możliwe będzie uzyskanie odpowiedzi na postawione w projekcie pytania badawcze. W treści kwestionariusza zamieszczono pytania pozwalające na charakterystykę

respondenta i jego gospodarstwa (tzw. metryczka) oraz na dokonanie ogólnej oceny badanych gospodarstw i ewentualnych zagrożeń ich funkcjonowania w przyszłości.

Kluczową część kwestionariusza stanowią 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 także uwagę na znajomość obecnie dostępnych programów wspierających wapnowanie gleb, a w zależności od wskazań respondentów – próbę scharakteryzowania czynników (i/lub barier) niesatysfakcjonującego stopnia ich wykorzystania. Podjęto również próbę identyfikacji i oceny wpływu otoczenia (instytucji współpracujących bezpośrednio z rolnikami) na propagowanie stosowania nawozów wapniowych. Elementem dopełniającym badania rolników są 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) adresowany jest do pracowników instytucji okołorolniczych (tzw. ekspertów). Do udziału w badaniu ankietowym zaproszeni zostaną przede wszystkim pracownicy ośrodków doradztwa rolniczego (ODR-ów), terenowych jednostek Agencji Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa (ARiMR), samorządów terytorialnych, terenowych jednostek Państwowej Inspekcji Ochrony Roślin i Nasiennictwa oraz jednostek Wód Polskich, zlokalizowanych w wyznaczonym obszarze badawczym (tj. po 2 powiaty z 4 przyjętych do badań województw). Konstrukcja tego kwestionariusza ankiety (Ankieta 2) powinna być bardzo podobna do Ankiety 1, dzięki czemu możliwe będzie dokonanie porównań (rolnik–ekspert) w obrębie analizowanych zagadnień badawczych.

Zawarte w opracowanym kwestionariuszu zagadnienia dotyczą zatem m.in. kwestii dotyczących 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 obecnie dostępnych programów wspierających wapnowanie gleb. Analogicznie respondenci z tej grupy badawczej zostaną też poproszeni o udzielenie odpowiedzi na pytania dotyczące oceny wpływu otoczenia (instytucji które reprezentują) na informowanie i propagowanie stosowania nawozów wapniowych wśród rolników. Wprowadzone z kolei różnice w konstrukcji kwestionariusza wynikać będą głównie z konieczności dostosowania pytań do zakresu sprawowanych obowiązków służbowych. Badania ankietowe prowadzone wśród ekspertów, jako z założenia mniej liczne, będą źródłem wiedzy uzupełniającej, cenniejszej z punktu widzenia projektu, choć o mniejszym potencjale do obróbki statystycznej.

6. OPIS METODYKI MODELOWANIA

6.1. Utrata składników z nawozów azotowych i fosforowych z gleby

Spływ nawozów organicznych i mineralnych z terenów rolniczo użytkowanych jest jedną z głównych przyczyn eutrofizacji wód. Dlatego w projekcie zostanie podjęta próba stwierdzenia, czy odczyn gleby wpływa na ograniczenie eutrofizacji. W modelu będzie założona szeroka parametryzacja czynników mogących mieć wpływ na wielkość eutrofizacji wód. Kluczowym parametrem będą zmiany odczynu gleby oraz zmiany parametrów fizykochemicznych gleb zależnych od zmian odczynu gleby, będących wynikiem potencjalnych zmian w poziomie wapnowania gleb. Efektem analizy tych zmian będzie oszacowanie zmienności tempa wgłębnej i powierzchniowej utraty składników gleby wpływających na zjawisko eutrofizacji wód. Jako czynniki o charakterze zmiennym (oprócz zmian wynikających z wapnowania) przyjęto zmiany w sumarycznej wielkości opadów oraz charakteru tych opadów, zmiany użytkowania ziemi, zmiany temperatur.

Zbadany zostanie również wpływ potencjalnych efektów dla skali obserwowanej eutrofizacji wód wynikający z zaprojektowania stref buforowych w otoczeniu zbiorników i cieków wodnych. Oszacowany i uwzględniony w modelu zostanie również wpływ zabiegów związanych z ponownym zaprojektowaniem układu działek na badanym obszarze, które będą miały na celu (w szczególności) zmniejszenie erozji powierzchniowej poprzez: zmianę kierunku uprawy ziemi, transformację użytkowania w kierunku trwałych użytków zielonych oraz zadrzewień lub zalesień [Pijanowski 2020].

Projektując badania założono, że proces modelowania zostanie wykonany z wykorzystaniem wybranego systemu informacji geograficznej GIS wraz z uzupełniającymi procedurami obliczeniowymi, które mogą być wykonane poza tym środowiskiem przy użyciu odpowiednich pakietów programistycznych (w analizowanym przypadku wybrano narzędzia w postaci języków Python oraz C#). Model zostanie skonstruowany oraz rozwiązany dla obszaru przykładowej wsi, jednak jego konstrukcja ma z założenia posiadać charakter uniwersalny i być możliwa do stosunkowo szybkiego ponownego zastosowania na dowolnych innych obszarach, po odpowiednim przygotowaniu danych wejściowych.

Straty składników z nawozów azotowych mogą być spowodowane wymywaniem, procesami denitryfikacji oraz ulatniania się amoniaku. Przyczyną największych strat jest wymywanie jonów azotanowych. Podstawowym warunkiem wystąpienia strat azotu jest na tyle wysoka zawartość wody w glebie, że pozwala na swobodny transport azotanów do wód gruntowych [Merino i inni 2000, Sapek 2006]. Wymywanie azotu z gleby zależy także od:

- dawki i rodzaju nawozu azotowego,
- skał macierzystych, z których wytworzyły się gleby i zawartości w nich węglanów,
- gatunku gleby (skład granulometryczny),
- ilości opadów atmosferycznych,
- zdolności sorpcyjnych gleby,
- agrotechniki i sposobu użytkowania gleby, w mniejszym stopniu od gatunku uprawianych roślin.

Zagrożenie wymywaniem azotanów występuje głównie w półroczu zimowym. W okresie letnim dominuje proces parowania (z gleby i roślin), woda podsiąka z głębszych warstw ku powierzchni, stąd utrata N jest znacznie mniejsza. W tym okresie istotne straty azotu w wyniku wymywania występują głównie w sytuacji deszczy nawalnych lub intensywnych długotrwałych opadów. Największe straty azotu wskutek wypłukiwania zachodzą głównie na glebach lekkich,

piaszczystych. Natomiast denitryfikacja, prowadząca do ulatniania się zastosowanego azotu do atmosfery, zachodzi najczęściej na glebach ciężkich, gliniastych [Patra i inni 2007, Sapek 2006].

Główną rolę w uwalnianiu z gleby fosforu odgrywają warunki wilgotnościowe gleby i opady atmosferyczne. Ponadto na proces ten wpływają: temperatura powietrza, zwłaszcza w okresie wegetacyjnym oraz właściwości fizykochemiczne gleby, w tym zawartość węgla organicznego oraz odczyn. Utrata fosforu z gleb uprawnych przyczynia się do eutrofizacji wód powierzchniowych. Za oczywisty można przyjąć związek pomiędzy poziomem zawartości fosforu, a możliwością jego wymywania przy odpowiednich warunkach hydrologicznych. Utrata ta może następować w drodze wymywania w głąb profilu glebowego, poprzez spływ powierzchniowy oraz spływ podpowierzchniowy w przypadku obszarów objętych funkcjonowaniem systemów melioracji opartej o systemy drenów. W szczególności, szybkie przemieszczanie się dużych ilości związków fosforu do wód powierzchniowych jest możliwe w przypadkach wystąpienia opadów w krótkim czasie po powierzchniowym nawożeniu trwałych użytków zielonych w powiązaniu z niekorzystnym ukształtowaniem terenu.

6.2. Założenia budowy modelu

Do prognozowania przebiegu procesów wpływających ostatecznie na wystąpienie zjawiska eutrofizacji mogą być stosowane różne modele matematyczne, których implementacja jest coraz częściej wspomagana poprzez nieustannie rosnące możliwości systemów informatycznych gromadzących i przetwarzających dane o charakterze przestrzennym (systemy GIS). Poszczególne modele mogą posiadać różnicowany poziom złożoności, jednak stopień skomplikowania modelowanego zagadnienia powoduje, że zwiększenie złożoności modelu nie musi wpływać na zwiększenie dokładności wyników obliczeń. Kluczowym problemem dla uzyskania poprawnych wyników modelowania wydają się być cztery czynniki: pozyskanie odpowiednich danych, uwzględnienie większości kluczowych dla analizowanych procesów czynników, odpowiednie sformułowanie zależności funkcyjnych opisujących badane procesy oraz poprawne zaprojektowanie etapu weryfikacji i kalibracji modelu, najlepiej w oparciu o wyniki terenowych (najlepiej wieloletnich) badań biochemicznych. Ostatnie ze wskazanych działań mogą być przedmiotem pogłębionych badań i analiz przeprowadzanych w przyszłości.

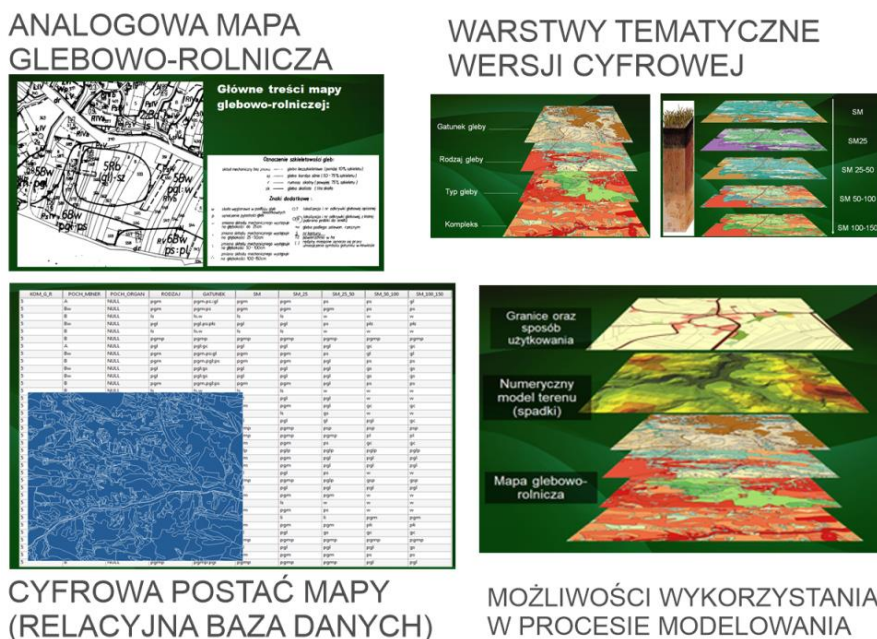
Założenia budowy modelu muszą umożliwiać realizację wyznaczonego celu analizy, jakim jest oszacowanie wpływu zmian poziomu wapnowania na zmiany zagrożenia występowania zjawiska eutrofizacji. Z uwagi na tematykę opracowania skoncentrowaną na efektach wapnowania gleb, etap modelowania powinien zakończyć się na ocenie zmienności przedostawania się związków chemicznych sprzyjających eutrofizacji do wód powierzchniowych, w zależności od uwarunkowań glebowych, ukształtowania terenu, sposobu użytkowania ziemi, poziomu nawożenia, poziomu wapnowania oraz potencjalnych zabiegów urzędzeniowo-rolnych. Natomiast zmiany parametrów biochemicznych w środowisku wodnym, czyli modelowanie samego procesu eutrofizacji, wybiega poza zakres projektu. W procesie eutrofizacji związki fosforu i azotu będące efektem działalności rolniczej na danym obszarze są jedynie jednym z wielu czynników uwzględnianych w modelowaniu tego zjawiska w środowisku wodnym, i często nie jest to czynnik dominujący.

Wiele prowadzonych badań dowodzi, że charakterystyka przemieszczania się składników mineralnych w glebach, a w szczególności związków azotu i fosforu, jest niezwykle trudna do zamodelowania w sposób uniwersalny. Prowadzone badania empiryczne dotyczą najczęściej konkretnych siedlisk i nie mogą być odniesione bezpośrednio do innych warunków środowiskowych, innej dynamiki opadów czy przebiegu temperatur. Dodatkowo, w przypadku prowadzonych badań zakładamy nie tylko różnicowany poziom nawożenia nawozami zawierającymi azot i fosfor, ale również zróżnicowany poziom wapnowania oraz wpływ zmienności

odczynu gleby na charakterystykę procesu utraty związków chemicznych oraz przedostawania się ich do wód powierzchniowych. Z tego powodu model musi posiadać szereg uproszczeń, a proces jego kalibracji, w tym dobranie ostatecznej postaci zaproponowanych wstępnie funkcji wykorzystanych przy jego rozwiązywaniu, będzie prowadzony w trakcie otrzymywania kolejnych wyników działania zaprojektowanych procedur obliczeniowych. Zgodnie ze wstępnymi założeniami zawartymi w dokumentacji projektu, jako podstawowe dane dla celów budowy modelu zostaną wykorzystane następujące istniejące zbiory danych:

- dane charakteryzujące istniejący układ przestrzenny typów i gatunków gleb pozyskane na podstawie analizy i przetworzenia cyfrowych map glebowo-rolniczych lub cyfrowych baz danych przechowujących treści z zakresu mapy glebowo-rolniczych,
- dane o ukształtowaniu terenu, uzyskane na podstawie lotniczego skaningu laserowego,
- dane o pokryciu terenu, uzyskane na podstawie lotniczego skaningu laserowego, zdjęć lotniczych i innych dostępnych baz danych,
- dane o lokalizacji powierzchniowych wód płynących i stojących,
- dane o układzie granic własności na analizowanym obszarze pochodzące z zasobów powiatowych ośrodków dokumentacji geodezyjno-kartograficznej pozyskane bezpośrednio z odpowiedniego PODGiK lub za pośrednictwem baz danych udostępniających dane o charakterze katastralnym,
- dane dotyczące parametrów klimatycznych i środowiskowych, takich jak zmienność temperatur oraz opadów w ciągu roku,
- opcjonalnie dane pozyskane bezpośrednio w terenie, jeśli pozyskane z dostępnych źródeł danych informacje będą wymagały ich uzupełnienia.

W szczególności dane zawarte na cyfrowych mapach glebowo-rolniczych (rysunek 8) będą kluczowe dla prowadzonej analizy, ponieważ zawierają najważniejsze informacje o parametrach gleb bez konieczności dokonywania badań terenowych, ponadto zbiory tych danych są dostępne dla całego obszaru Polski (choć ich informatyzacja przebiegała odmiennie w poszczególnych województwach i formaty danych mogą się od siebie różnić).



Rysunek 8. Przykład analogowej i cyfrowej treści mapy glebowo-rolniczej wraz z przykładowym rozwarstwieniem części bazodanowej (na przykładzie formatu dostępnego dla województwa małopolskiego)

Źródło: opracowanie własne.

Powyższe zbiory danych mogą być traktowane jako stałe elementy tworzonego modelu (za wyjątkiem danych o układzie granic własności działek, pokryciu terenu oraz kierunku uprawy ziemi (orki), które mogą być przedmiotem analizy potencjalnych zmian wynikających z zastosowania działań o charakterze urządzeniowo-rolnym). Natomiast do elementów mających charakter zmiennych parametrów modelu, należy zaliczyć:

- poziom nawożenia nawozami zawierającymi związki azotu i fosforu,
- poziom wapnowania gleb.

Przy budowie założeń do modelowania wpływu zmian wapnowania gleb na zagrożenie eutrofizacją wód powierzchniowych na danym obszarze, powinniśmy uwzględnić zarówno samą specyfikę procesów związanych z utratą przez glebę związków sprzyjających eutrofizacji, cel projektu jakim jest badanie wpływu zmian poziomu wapnowania oraz dane źródłowe, które zdecydowano wykorzystać w procesie tworzenia modelu. W przypadku procesów glebowych, analiza koncentruje się na związkach azotu oraz fosforu jako dwóch kluczowych czynnikach istotnych dla wzrostu zagrożenia eutrofizacją wód. Sposób funkcjonowania związków chemicznych związanych z tymi pierwiastkami w sorpcyjnym kompleksie glebowym, sposób dostarczania ich do gleby oraz czynniki wpływające na ich utratę różnią się od siebie znacznie, z tego powodu modelowanie ich przenieszczenia się w glebie musi przebiegać w sposób odmienny. Wiele badań pokazuje, że uniwersalne modelowanie procesu strat azotu i fosforu jest zadaniem niezwykle trudnym. Istniejące badania o charakterze eksperymentalnym dotyczą konkretnych, lokalnych uwarunkowań środowiskowych, zwłaszcza związanych z istniejącym profilem glebowym, strukturą opadów atmosferycznych, zmiennością temperatur oraz sposobem użytkowania ziemi od typowego dla siedlisk naturalnych aż do obszarów o intensywnym użytkowaniu rolniczych, gdzie pojawiają się dodatkowe źródła fosforu dostarczane wraz z procesem nawożenia.

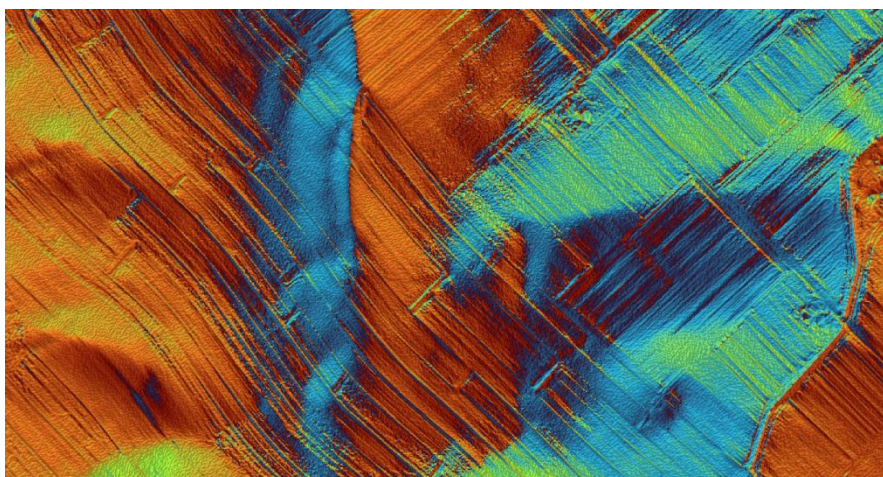
W procesie modelowania powinniśmy wyróżnić stałe elementy modelu, jego parametry wejściowe o charakterze zmiennym oraz funkcje przedstawiające zmienność utraty poszczególnych związków chemicznych w zależności od wybranych czynników. Pewnym wyjątkiem jest tutaj sposób użytkowania ziemi, który przyjęty zostaje na podstawie istniejących źródeł danych jako stała, jednak dla potrzeb modelowania wpływu potencjalnych zabiegów urządzeniowo-rolnych założono możliwość wprowadzania alternatywnych sposobów użytkowania, a nawet alternatywnych układów granic pól uprawnych, jakie mogą być wynikiem realizacji projektu scalenia gruntów lub innych działań o charakterze urządzeniowo-rolnym.

Z uwagi na to, że ostatecznym celem jest oszacowanie zmian zagrożenia eutrofizacją wód powierzchniowych, jednym z uwzględnianych parametrów będzie odległość wybranego fragmentu badanego obszaru do pobliskich wód (po jego dyskretyzacji do postaci siatki GRID o przyjętym rozmiarze), ponieważ natężenie utraty związków chemicznych z profilu glebowego, a następnie ich dotarcie do wód powierzchniowych ma oczywisty, chociaż trudny do liczbowego określania związek z odległością do tych wód. Jednocześnie związek ten daje pewne możliwości wpływania na ograniczenie zagrożenia dostawianiem się związków azotu i fosforu do wód powierzchniowych poprzez odsuwanie najważniejszych źródeł tych związków chemicznych od bezpośredniego kontaktu z wodami poprzez odpowiednie zabiegi urządzeniowo-rolne, odsuwające strefę intensywnego użytkowania rolniczego od wód, a zwłaszcza od najbardziej zagrożonych eutrofizacją wód stojących.

Jako zależności o charakterze funkcyjnym przewidziano wykorzystanie szeregu wyszczególnionych w dalszej części opracowania parametrów, określających: charakterystykę gleby w zakresie uwalniania i przemieszczania związków azotu i fosforu związaną zarówno z przemieszczaniem ich w głębsze warstwy profilu glebowego, jak i ze spływem powierzchniowym

oraz podpowierzchniowym, związek szybkości utraty wymienionych związków chemicznych z temperaturą, wielkością opadów, odczynem gleby, spadkiem terenu, rodzajem pokrycia terenu, kierunkiem orki oraz odległością od wód powierzchniowych. Założono, że w modelu uwzględniony zostanie również szereg opcjonalnych zabiegów o charakterze urządzeniowo-rolnym, wpływających w rezultacie (poprzez zmiany kierunku uprawy ziemi oraz sposób jej użytkowania) na zmiany w zakresie dostarczania niekorzystnych związków chemicznych do pobliskich wód powierzchniowych.

Założono również, że model zostanie zbudowany i przetestowany na obszarze przykładowej wsi z jednego z powiatów, na obszarze których przeprowadzone zostaną badania ankietowe. Wpływ kierunku uprawy ziemi zostanie określony za pomocą parametru, który wpłynie na szybkość przemieszczania się składników do wód (poprzez zwiększenie odległości przeliczeniowej) oraz zmieni proporcje pomiędzy wymywaniem w głąb profilu glebowego a spływem powierzchniowym). Określenie wartości parametru nastąpi na podstawie analizy sposobu użytkowania działek, ich wydłużenia, oraz w przypadku gruntów ornych na działkach o niewielkim wydłużeniu na podstawie analizy szczegółowych danych numerycznego modelu terenu (rysunek 9).



Rysunek 9. Fragment pochodnej numerycznego modelu terenu (powstałego z przetworzenia danych lotniczego skaningu laserowego) w postaci mapy kierunków ekspozycji, której analiza umożliwi określenie aktualnego kierunku uprawy ziemi

Źródło: opracowanie własne.

6.3. Charakterystyka danych wejściowych

W procesie modelowania bardzo ważnym etapem są właściwy dobór i weryfikacja źródeł danych. Poniżej przedstawiono krótką charakterystykę kluczowych elementów modelu oraz danych wejściowych. Pierwszym ze źródeł danych o analizowanym obszarze jest ortofotomapa (mapa 11). Jej zawartość nie jest wykorzystywana bezpośrednio w procesie modelowania, jednak pełni ważną funkcję w wielu etapach weryfikacji poprawności pozostałych zbiorów danych wejściowych, ich ewentualnych korekt oraz wyników przyszłych etapów procesu obliczeniowego. Dane te są widoczne na rysunków poniżej wraz z fragmentem umożliwiającym zaobserwowanie rozdzielczości przestrzennej danych.

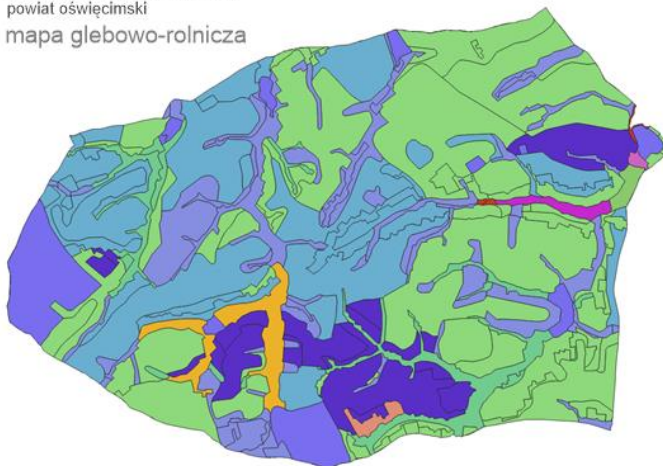


Mapa 11. Fragment ortofotomapy analizowanego obszaru przedstawiającego jeden ze zbiorników wód powierzchniowych (Staw Majcherowiec, wieś Polanka Wielka)

Źródło: opracowanie własne.

Drugim ze źródeł danych jest cyfrowa mapa glebowo-rolnicza, zawierająca dane zarówno o geometrii elementów powierzchniowych tworzących mapę, jak również bazę danych atrybutów gleb oraz jej składu mechanicznego na poszczególnych poziomach głębokości (mapa 12). Kolejnym źródłem danych jest warstwa przedstawiająca stan użytkowania terenu (mapa 13).

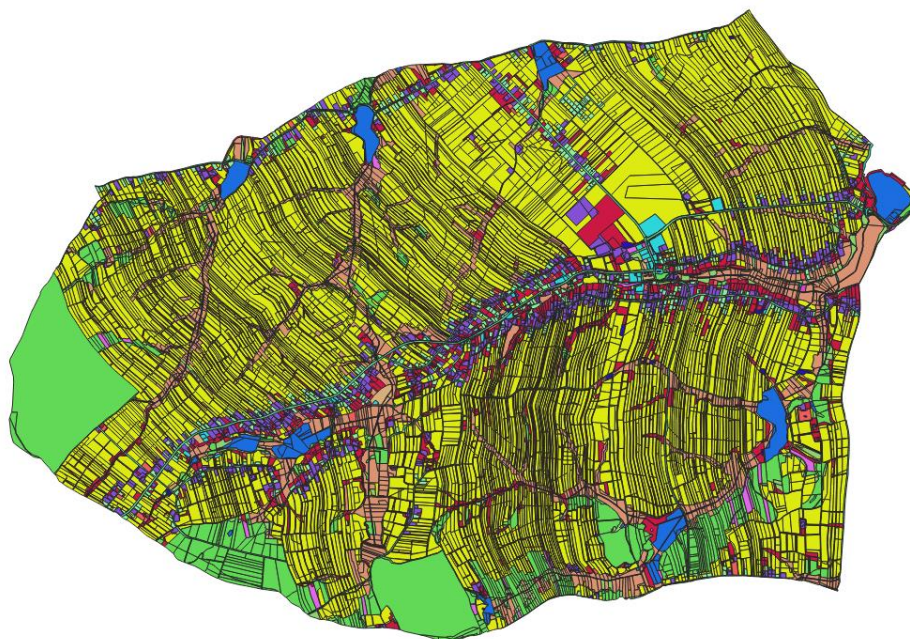
POLANKA WIELKA
 powiat oświęcimski
 mapa glebowo-rolnicza



KM_G_R	POCH_MNER	POCH_ORGAN	RODZAJ	GATUNK	SM	SM_25	SM_75	SM_90_100	SM_100_150	L_ZLEWOWIE
G4	PSL1	z	h/h	h	h	h	h	h	h	0
A	PSL1	h	h/h	h	h	h	h	h	h	0
Bw	PSL1	h	h/h	h	h	h	h	h	h	0
A	PSL1	ph	ph/h	ph	ph	ph	ph	ph	ph	0
F	PSL1	ph	ph/h	ph	ph	ph	ph	ph	ph	0
Bw	PSL1	h	h/h	h	h	h	h	h	h	0
Bz	PSL1	z	h	h	h	h	h	h	h	0
PS	PSL1	ph	ph/h	ph	ph	ph	ph	ph	ph	0
Bz	PSL1	z	h	h	h	h	h	h	h	0
Bz	PSL1	z	h	h	h	h	h	h	h	0
F	PSL1	ph	ph/h	ph	ph	ph	ph	ph	ph	0
G4	PSL1	z	h/h	h	h	h	h	h	h	0
Bz	PSL1	z	h	h	h	h	h	h	h	0
A	PSL1	h	h/h	h	h	h	h	h	h	0
PS	PSL1	ph	ph/h	ph	ph	ph	ph	ph	ph	0
Bz	PSL1	z	h	h	h	h	h	h	h	0
A	PSL1	h	h/h	h	h	h	h	h	h	0
Bz	PSL1	z	h	h	h	h	h	h	h	0
Bz	PSL1	z	h	h	h	h	h	h	h	0
A	PSL1	h	h/h	h	h	h	h	h	h	0

Mapa 12. Zarys mapy glebowo-rolniczej badanego obszaru wraz z fragmentem tabeli z atrybutami poszczególnych elementów mapy

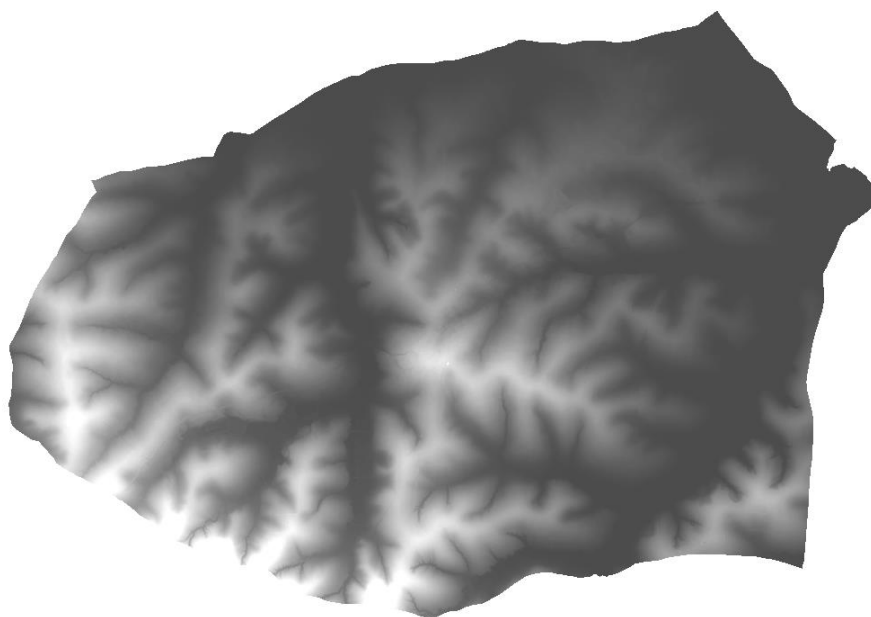
Źródło: opracowanie własne.



Mapa 13. Mapa użytkowania ziemi dla obszaru opracowania, gminy Polanka Wielka

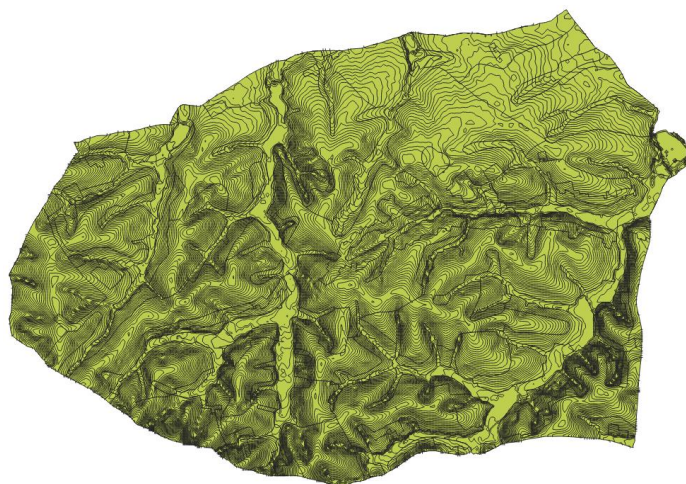
Źródło: opracowanie własne.

Kluczowym dla modelowania zbiorem danych jest cyfrowy model ukształtowania terenu, uzyskany z przetworzenia danych pomiarowych pozyskanych techniką skaningu lotniczego [Bożek i Janus 2017]. Wyjściowa postać danych, przedstawiona na mapie 14 w skali szarości, może zostać przetworzona do szeregu innych form, na przykład mapy warstwicznej (mapa 15), jednak z punktu widzenia założonego procesu obliczeniowego wykorzystana zostanie opracowana w tym celu mapa spadków w postaci struktury typu GRID, która zostanie wykorzystana w celu określenia szeregu parametrów o charakterze funkcyjnym (mapa 16) .



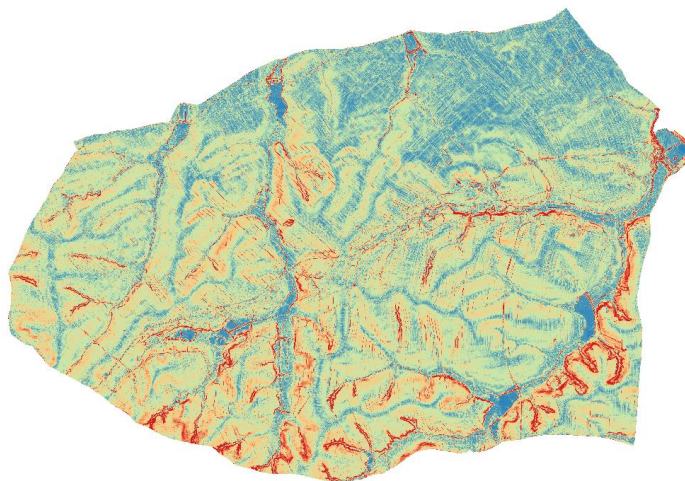
Mapa 14. Numeryczny model terenu obszaru opracowania przedstawiony w skali szarości

Źródło: opracowanie własne.



Mapa 15. Ukształtowania terenu przedstawione w postaci mapy warstwicznej

Źródło: opracowanie własne.



Mapa 16. Mapa przedstawiająca natężenie prametri określającego nachylenie terenu na analizowanym obszarze

Źródło: opracowanie własne.

Ostatnim ze zbiorów danych przestrzennych są granice działek ewidencyjnych, które zostały zaprezentowane na mapie 17.

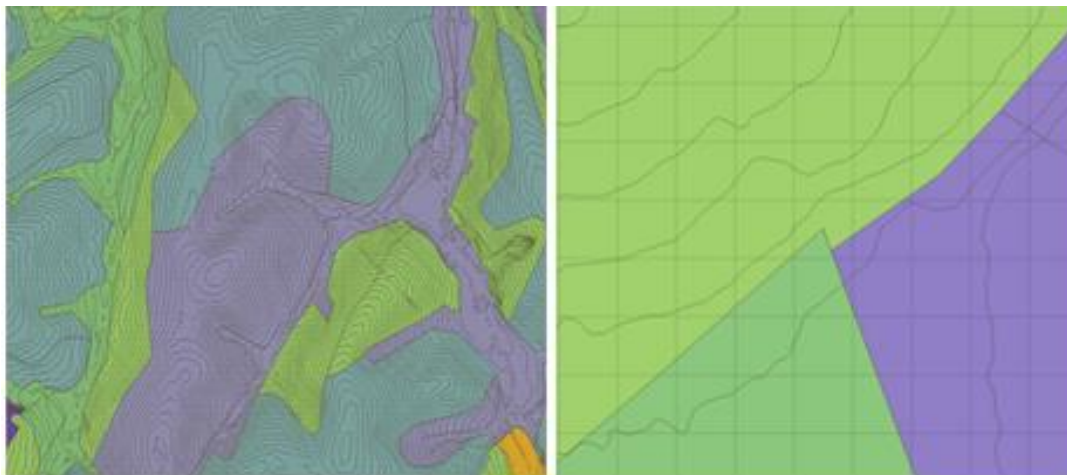


Mapa 17. Mapa przedstawiająca podział obszaru gminy Polanka Wielka na działki ewidencyjne

Źródło: opracowanie własne.

6.4. Kluczowe etapy budowy modelu

Przyjęto, że proces obliczeniowy zostanie przeprowadzony z wykorzystaniem rastrowego modelu GRID o zróżnicowanym rozmiarze siatki z przedziału od 1x1 m aż do 10x10 m. Dane wejściowe w formatach wektorowych oraz rasowych zostaną przekonwertowane do postaci modelu GRID. Zasadniczy rozmiar ostatniego etapu analizy zostanie wykonany z wykorzystaniem siatki 10x10 m, co w przypadku testowej wsi o powierzchni 24 km² oznacza około 240.000 pól obliczeniowych. Fragment siatki przygotowanej dla badanego obszaru jest widoczny na rysunku 10.



Rysunek 10. Fragment analizowanego obszaru z widocznym podziałem na siatkę GRID o rozmiarze 10x10 m z widocznymi zarysami konturów mapy glebowo-rolniczej

Źródło: opracowanie własne.

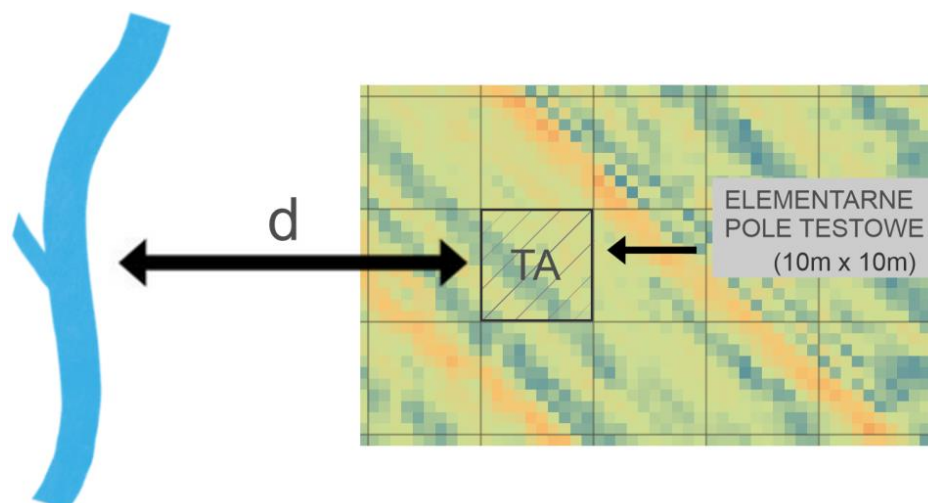
Kluczowe etapy proponowanej metodyki zostały wymienione poniżej i obejmują:

- pozyskanie wszystkich niezbędnych zbiorów danych wejściowych przestrzennych: ortofotomapy, cyfrowej mapy glebowo-rolniczej, danych numerycznego modelu terenu, danych z zakresu użytkowania ziemi,
- konwersja wszystkich pozyskanych zbiorów danych do postaci siatek typu GRID,
- ograniczenie zakresu powierzchniowego przygotowanych warstw do obszaru opracowania,
- przygotowanie warstwy obliczeniowej w postaci siatki typu grid o rozmiarze 10x10 m;
- wyodrębnienia warstwy wód powierzchniowych (płynących i stojących),
- określenie kierunku uprawy ziemi (kierunek orki), co w połączeniu z typem użytkowania ziemi pozwoli na przyjęcie uproszonego wskaźnika szorstkości wpływającego na szybkość spływu powierzchniowego; w tym celu utworzona zostanie, na podstawie danych numerycznego modelu terenu pochodzącego z przetworzenia danych skaningu laserowego, mapa kierunków orki na terenach wykorzystywanych jako grunty orne,
- wykonana zostanie analiza kierunków spływu wód, co umożliwi wyznaczenie dla każdego ze zidentyfikowanych elementów (liniowych i powierzchniowych) obszaru zlewni, z której pochodzą składniki odpowiedzialne za eutrofizację,
- analiza danych z poprzedniego etapu pozwoli na określenie zasięgu powierzchniowego obszaru zlewni przypisanych do poszczególnych wyodrębnionych odcinków i elementów wód powierzchniowych,
- określenie szeregu parametrów modelu, a w szczególności:
 - przyjęcie zmiennego parametru FL_N określającego poziom nawożenia nawozami azotowymi,
 - przyjęcie zmiennego parametru FL_F określającego poziom nawożenia nawozami fosforowymi,

- przyjęcie zmiennego parametru FL_{Ca} określającego poziom wapnowania,
 - przyjęcie parametru T_I reprezentującego zmienność średnich temperatur w ciągu roku (w postaci szeregu wartości, parametr stabilizowany),
 - przyjęcie parametru T_H reprezentującego zmienność opadów atmosferycznych w ciągu roku (w postaci szeregu wartości, parametr stabilizowany),
 - przyjęcie parametru T_{td} , umożliwiającego obliczenie odległości przeliczeniowej od wód z uwzględnieniem kierunku uprawy ziemi (kierunku orki).
- określonych zostanie szereg zależności o charakterze funkcyjnym (ciągłym lub dyskretnym, w zależności od wykorzystanych danych), określających³:
- udział (w całości opadów atmosferycznych w danej jednostce czasu) pochłoniętych przez roślinność oraz utraconej w procesie parowania jako funkcja temperatury oraz sposobu użytkowania ziemi ($F_1 = f(temp, land_use)$),
 - proporcje pomiędzy spływem powierzchniowym oraz przemieszczaniem się wód w głąb profilu glebowego, jako funkcja wielkości opadu, spadku terenu oraz typu gleby i charakterystyki profilu glebowego ($F_2 = f(rainfall, temp, slope)$),
 - wpływ odległości na ostateczny przepływ związków azotu i fosforu do wód (zakłada się, że wielkość ta maleje wraz z odległością ($F_3 = f(distance)$), przy czym odległość będzie obliczana z uwzględnieniem opisanego wyżej parametru T_{td}),
 - procentowy udział składników wymywanych w głąb który w ostateczności dociera ostatecznie do otaczających wód powierzchniowych ($F_4 = f(soil_parameters)$),
 - prędkość utraty azotu i fosforu (w ujęciu procentowym w odniesieniu do wyjściowej zawartości tych składników) jako funkcja rodzaju gleby i odczynu, wielkości opadów i temperatury ($F_5 = f(soil_parameters, pH, rainfall, temp)$).
- kolejnym etapem będzie określenie, dla każdego pola obliczeniowego (TA) o wymiarach 10 m na 10 m (o powierzchni 100 m²), następujących parametrów (rysunek 11):
- identyfikatora najbliższego elementu warstwy wód powierzchniowych,
 - odległości od najbliższego elementu warstwy wód powierzchniowych,
 - typu gleby oraz charakterystyki profilu glebowego,
 - spadku terenu,
 - rodzaju użytkowania (pokrycia terenu),
 - kierunku uprawy ziemi.

Dynamika czasowa przepływu związków azotu i fosforu jako efekt spływu powierzchniowego oraz będąca rezultatem przemieszczania się w głąb profilu glebowego, a następnie do otaczających wód powierzchniowych jest odmienna i związki te docierają do tych wód z różną prędkością. Jednak to przesunięcie w czasie, niezwykle trudne do prawidłowego zamodelowania, może być pominięte z uwagi na dłuższy czas trwania późniejszych procesów biochemicznych w środowisku otaczających wód. Jako rezultat, założono określenie ilości związków azotu i fosforu, obecnych w glebie oraz dostarczanych w procesie nawożenia, jaka może dostawać się do poszczególnych elementów wód powierzchniowych zarówno w ujęciu sumarycznym (w ciągu roku), jak i w poszczególnych przedziałach czasu.

³ Formuły wykorzystanych funkcji będą podlegały korektom i modyfikacjom w trakcie budowy i kalibracji modelu, z tego powodu ich postać nie jest w tej chwili przedstawiana w formie szczegółowej. Istniejące wyniki badań empirycznych dotyczące wymienionych parametrów miały najczęściej charakter lokalny, były przeprowadzane w odniesieniu do specyficznych warunków glebowych i środowiskowych i nie mogą być podstawą uogólnionych reguł dla dużego obszaru. Z uwagi na, w dużej mierze, eksperymentalny charakter próby modelowania wpływu zmian odczynu gleby na poziom dostarczania związków azotu i fosforu do otaczających wód powierzchniowych, autorzy dopuszczają modyfikację użytych funkcji również na etapach rozwiązywania i kalibracji modelu.



Rysunek 11. Schemat ilustrujący podział obszaru na elementarne pola testowe oraz ich powiązanie z odpowiednim elementem otaczającej sieci wód powierzchniowej zlokalizowanej w odległości „d”.

Źródło: opracowanie własne.

Wpływ powierzchni każdego pola testowego na otaczający, najbliższy element sieci wód powierzchniowych (TA_i) w określonej jednostce czasu 't', której odpowiada określona temperatura (T_T) oraz poziom opadów atmosferycznych (T_H), przy założeniu określonego poziomu nawożenia (FL_N , FL_P) oraz wapnowania FL_{Ca} , oraz przy uwzględnieniu szeregu znanych dla pola testowego parametrów, będzie określony za pomocą wzorów, obliczonych niezależnie zarówno dla związków azotu oraz fosforu:

$$TA_{i(t) N,P} = f(I_{N,P}, F_1, F_2, F_3, F_4, F_5)$$

gdzie: $I_{N,P}$ = wyjściowa zawartość składników (odpowiednio azot/fosfor) w danym momencie procesu obliczeniowego, odpowiadająca obszarowi o powierzchni 100 m²; F_1, F_2, F_3, F_4, F_5 – opisane wyżej zależności funkcyjne wpływające na proces przemieszczania się analizowanych składników do wód powierzchniowych.

Rozdzielczość czasowa analizy jest uzależniona głównie od charakterystyki zbiorów danych przedstawiających zmienność opadów w ciągu roku wraz ze zmiennością temperatur – oczywiście z uwzględnieniem faktu, że proces przedostawania się związków chemicznych do występujących na danym obszarze wód ma zupełnie odmienną dynamikę w przypadku spływu powierzchniowego oraz przemieszczania się ich w ramach profilu glebowego. Obliczone wielkości zostaną przeliczone do postaci wartości przypadających na jednostkę długości i powierzchni poszczególnych elementów zbioru zidentyfikowanych na danym obszarze wód powierzchniowych. Ich ostateczny wpływ na ryzyko wystąpienia zjawiska eutrofizacji zależy również od wielu innych czynników (zarówno charakterystyki samych wód, jak i innych źródeł azotu i fosforu), z tego powodu modelowanie zjawisk w środowisku wodnym nie będzie przedmiotem prowadzonej analizy.

PODSUMOWANIE

Przyczyny wysokiej kwasowości gleb w Polsce zostały szeroko opisane w literaturze przedmiotu. Relatywnie dobrze rozpoznane są również mechanizmy oraz wpływ wysokiej kwasowości na wzrost i rozwój roślin oraz procesy eutrofizacji wód. Pomimo tego, iż większość gleb w Polsce wymaga systematycznego wapnowania to wciąż nawozy wapniowe stosowane są w zbyt małym zakresie. W świetle wyników analiz danych wtórnych (bazy GUS i FAND) można zauważyć, że relatywnie niewielki wpływ na tą sytuację wywarło wprowadzenie od 2019 r. programu dopłat do wapnowania gleb. Dlatego głównym celem podjętych badań jest identyfikacja czynników, które wpływają na niedostateczny poziom stosowania przez rolników nawozów wapniowych w uprawach rolnych.

Przedmiotowa ekspertyza miała na celu nakreślenie tła dla zdefiniowanego problemu. Przedstawiono w niej teoretyczne uzasadnienie dla konieczności wapnowania większości gleb w Polsce. Rozważania teoretyczne zostały wzbogacone o analizę przestrzenną i dynamiczną zarówno kwasowości gleb, jak również ich wapnowania na bazie dostępnych danych empirycznych pozyskanych ze statystyki masowej oraz raportów i publikacji naukowych. Pomimo, że stwierdzono wzrost ilości stosowanych nawozów wapniowych zarówno w ujęciu bezwzględnym, jak również w przeliczeniu na 1 ha UR, istnieje bardzo duże zróżnicowanie regionalne Polski pod względem kwasowości gleb i wysokości stosowanych dawek wapna. Zgromadzony materiał empiryczny zostanie w drugim etapie badań wykorzystany do podjęcia próby wyjaśnienia tego zróżnicowania. Obecnie posłużył natomiast do wytypowania obiektów/powiatów, w których prowadzone będą badania terenowe z wykorzystaniem kwestionariuszy ankiet przygotowanych na bazie studiów literatury i doświadczenia autorów ekspertyzy.

Ważnym elementem ekspertyzy było przedstawienie koncepcji modelowania wpływu zmian poziomu wapnowania na zagrożenie występowaniem eutrofizacji wód powierzchniowych. Model ten zostanie opracowany w ramach kolejnego etapu badań, wraz z określeniem wpływu na analizowane zjawisko wybranych zabiegów urzędniowo-rolnych.

Podjęto również wstępną analizę strategii stosowania nawozów wapniowych przez towarowe gospodarstwa rolne prowadzące rachunkowość dla potrzeb FADN. Zgromadzone informacje posłużą w drugim etapie badań do identyfikacji najważniejszych determinant wysokości dochodu rolniczego w badanej próbie gospodarstw indywidualnych oraz odpowiedzi na pytanie czy, i ewentualnie w jakim zakresie dane gromadzone w ramach systemu FADN mogą dostarczać argumentów uzasadniających nawożenie wapniowe gleb.

Ważnym elementem prac na tym etapie realizacji projektu było przygotowanie kwestionariuszy ankiet, które stanowią załączniki do przedmiotowej ekspertyzy. Konstrukcja tych narzędzi badawczych wymagała dużej wiedzy i doświadczenia. Przeprowadzone badania pilotażowe wskazują na przydatność wypracowanych narzędzi do rozwiązania postawionego problemu, a tym samym dają szansę na wskazanie rozwiązań przyczyniających się do ochrony gleb i wód w Polsce, poprawy jakości i ilości plonów uzyskiwanych przez rolników, a tym samym poprawy efektywności prowadzonej produkcji rolnej.

Identyfikacja barier wapnowania gleb w Polsce jest niezmiernie ważnym elementem w kontekście konieczności redukcji w najbliższych latach nawożenia mineralnego o blisko 20%, a zużycia pestycydów nawet o 50%. Promowane w ramach tzw. Europejskiego Zielonego Ładu regulacje prawne, które zaczną obowiązywać od 2023 r. będą miały na celu m.in. zmniejszenie strat składników odżywczych przy jednoczesnym zachowaniu żyzności gleby. Trudno to sobie wyobrazić bez pogorszenia wyników ekonomicznych gospodarstw produkujących w sposób intensywny. Dodatkowo sytuację komplikuje obecna sytuacja geopolityczna i dynamicznie

wzrastające ceny nawozów mineralnych oraz energii. Popularyzacja nawożenia wapniowego daje szansę na ograniczenie wpływu tych negatywnych zjawisk na wyniki ekonomiczne gospodarstw rolnych oraz będzie stanowiła ważny element ochrony środowiska. Zwiększenie jakości i ilości plonów w skutek wapnowania wydaje się bardzo ważnym ogniwem zapewnienia bezpieczeństwa żywnościowego kraju.

BIBLIOGRAFIA

- Apanowicz J. 2003. *Metodologia nauk*. Toruń: DO.
- Babbie E. 2013. *Podstawy badań społecznych*. Warszawa: PWN.
- Bartnikowska U., Ćwirynka 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.
- Bednarek R., Dziadowiec H., Pokojka U., Prusinkiewicz Z. 2004. *Badania ekologiczno-gleboznawcze*. Warszawa: PWN.
- Boguszewski W. 1980. *Wapnowanie gleb*. Warszawa: PWRiL.
- Bojanowska I., Bielicka A., Ganczarek P., Świerk K. 2004. *Azot i fosfor - substancje odżywcze czy toksyczne*. Gdańsk: Konferencja Naukowa „Polska Chemia w Unii Europejskiej”.
- Borek Ł., Kowalik T. 2022. Hydromorphological Inventory and Evaluation of the Upland Stream: Case Study of a Small Ungauged Catchment in Western Carpathians. *Poland Land*, 11(1): 1-21.
- Bożek P., Janus J. 2017. The Influence of Elevation Data Generalization on the Accuracy of the RUSLE Model. [W:] *Baltic Geodetic Congress (BGC Geomatics) 2017*. IEEE: 374-377.
- 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.
- Dacko M., Płonka A., Satoła Ł., Dacko A. 2021. Sustainable Development According to the Opinions of Polish Expert. *Energies*, 14(17): 1-18.
- Deja D., Rymarczyk M. 2018. *Analiza gleby i wapnowanie*. Karniowice: MODR.
- Filipek T. 2001. Przyrodnicze i antropogeniczne przyczyny oraz skutki zakwaszenia gleb. *Nawozy i Nawożenie*, 23: 67-83.
- Fotyma M., Zięba S. 1988. *Przyrodnicze i gospodarcze podstawy wapnowania gleb*. Warszawa: PWRiL
- Gorlach E., Mazur T. 2001. *Chemia rolna*. Warszawa: PWN.
- Grzebisz W. 2008. *Nawożenie roślin uprawnych. Podstawy nawożenia*. Warszawa: PWRiL.
- Grzebisz W. 2015. *Nawożenie roślin uprawnych*. Warszawa: PWRiL.
- Grzebisz W., Szczepaniak W., Diatta J.B.. 2012. *ABC wapnowania gleb uprawnych*. Poznań: UP.
- Grześkowiak A. 2016. *Vademecum nawożenia, czyli podstawowe i praktyczne informacje o zrównoważonym nawożeniu*. Police: GAZC.
- Halecki W., Kowalik T., Bogdał A. 2019. Multiannual assessment of the risk of surface water erosion and metal accumulation indices in the flysch stream using the mars model in the polish outer Western Carpathians. *Sustainability*, 11(24): 1-23.
- Hillel D. 2012. *Gleba w środowisku*. 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. Instrukcja upowszechnieniowa*. Puławy: IUNG PIB.
- Hołubowicz-Kliza G. 2017. *Wapnowanie. Materiały szkoleniowe*. Puławy: IUNG PIB.
- Hossain M., Singh V.P. 2000. Fertilizer use in Asian agriculture: implications for sustaining food security and the environment. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 57: 155-169.
- 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.
- Jadczyzyn T. 2021. Nowe zalecenia w zakresie wapnowania gleb. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 65(19): 99-109.

- Jadczyzyn T., Kowalczyk J., Lipiński W. 2008. *Zalecenia nawozowe dla roślin uprawy polowej i trwałych użytków zielonych. Instrukcja upowszechnieniowa*. Puławy: IUNG PIB.
- Jadczyzyn T., Kowalczyk J., Lipiński W. 2010. *Zalecenia nawozowe dla roślin uprawy polowej i trwałych użytków zielonych*. Puławy: IUNG PIB.
- Jadczyzyn T., Ochal P. 2013. Zakwaszenie gleb i potrzeby wapnowania. *Studia i Raporty IUNG PIB*, 34(8): 9-18.
- Jeziarska-Madziar M., Pińskwar P. 2008. Zagrożenia dla gospodarki rybackiej wynikające z postępującej eutrofizacji śródlądowych wód powierzchniowych. *Użytkownik Rybacki - Nowa Rzeczywistość. PZW*: 70-77.
- Józefaciuk A., Józefaciuk Cz. 1999. Ochrona gruntów przed erozją. Poradnik dla władz administracyjnych i samorządowych oraz służb doradczych i użytkowników gruntów. Puławy: IUNG PIB.
- Kaczmarczyk S. 1995. *Badania marketingowe. Metody i techniki*. Warszawa: PWE.
- Kaczmarczyk S. 2014. Klasyfikacja metod zbierania danych ze źródeł pierwotnych w badaniach marketingowych. *Studia Ekonomiczne*, 195: 55-64.
- Kajak Z. 2001. *Hydrobiologia i limnologia: ekosystemy wód śródlądowych*. Warszawa: PWN.
- Kędzior Z., Karcz K. 1999. *Badania marketingowe w praktyce*. Warszawa: PWE.
- Kisiel P. 2000. *Spółeczne aspekty badań marketingowych. Wybrane problemy*. Kraków: AE.
- Kowal J. 1998. *Metody statystyczne w badaniach sondażowych rynku*, Warszawa: PWN.
- Krzysztoforski M. 2019. Wapnowanie podstawą żyzności gleb w gospodarstwie ekologicznym. Brwinów: CDR OwR.
- Kubiak J., Tórz A. 2005. Eutrofizacja. Podstawowe problemy ochrony wód jeziornych na Pomorzu Zachodnim. *Słupskie Prace Biologiczne*, 2: 17-36.
- Kukuła K. 2000. *Metoda unitaryzacji zerowanej*. Warszawa: PWN.
- Łaniec J. D. 1999. *Elementy statystyki dla pedagogów*. Olsztyn: UWM.
- Matejun M. 2016. Metodologia badań ankietowych w naukach o zarządzaniu-ujęcie modelowe. *Współczesne problemy rozwoju metodologii zarządzania*: 341-354.
- Matyka M. 2013. Tendencje w zużyciu nawozów mineralnych w Polsce na tle krajów Unii Europejskiej. *Roczniki SERIA*, 15(3): 237-241.
- Merino P., Yamulki S., Pinto M., Del Prado A., Sapek B., Pietrzak S. 2000. Effect of soil pH and application of nitrogen fertilizers on emission of nitrogen oxides from grassland. The Laszczki experiment. *W: Effect of liming and nitrogen fertilizer application on soil acidity and gaseous nitrogen oxide emissions in grassland systems*. O. Oenema, A. Sapek. Falenty (red.): IMUZ: 45-53.
- Mocek A. (red.) 2015. *Gleboznawstwo*. Warszawa: PWN.
- Molenda A. 2022. *Jakie perspektywy dla światowego rynku nawozów?* <https://agronews.com.pl/artukul/jakie-perspektywy-dla-swiatowego-rynku-nawozow/> (dostęp: 08.09.2022).
- Mruk H. 2003. *Analiza rynku*. Warszawa: PWN.
- Nowocień E. 2015. Zagadnienia erozji gleb. W: F. Woch (red.). *Wademekum klasyfikatora gleb*. Puławy: IUNG PIB.
- Ochal P. 2012. *Regeneracyjne wapnowanie gleb w Polsce. Instrukcja upowszechnieniowa*. Puławy: IUNG PIB.
- Ochal P. 2015. Aktualny stan i zmiany żyzności gleb w Polsce. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 45(19): 9-26.
- Ochal P., Jadczyzyn T., Jurga B., Kopiński J., Matyka M., Madej A., Rućkowska A., Smreczak B., Łysiak M. 2017. *Środowiskowe aspekty zakwaszenia gleb w Polsce*. Puławy: IUNG PIN.
- Ochal P., Smreczek B. 2020. Zakwaszenie gleb i aktualne zagadnienia wapnowania. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 63(17): 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. Szłek (red.). *Renewable Energy Sources: Engineering, Technology, Innovation ICORES 2018*. Cham: Springer.
- Patra A., L E Roux X., Abbadie L., Clays-Josserand A., Poly F., Loiseau P., Louault F. 2007. Effect of microbial activity and nitrogen mineralization on free-living nitrogen fixation in permanent grassland soils. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 193: 153-156.
- Pijanowski J.M. 2020. Rola scaleń gruntów w realizacji celów środowiskowych. *Przegląd Geodezyjny*, 8: 11-15.
- Pijanowski J.M., Bogdał A., Książek L., Wojewodziec T., Kowalik T., Wałęga A., Zarzycki J., Zadrożny P., Nicia P., Strużyński A., Dacko M., Wyrębek M., Goleniowski K., Skorupka M. 2021. Środowiskowe i społeczne efekty scaleń gruntów. Kraków: WUR.
- Piwowar A. 2013. Nawozy mineralne w polskim handlu zagranicznym. *Przemysł Chemiczny*, 92(10): 1887-1890.
- Piwowar A. 2015. Zużycie nawozów wapniowych w Polsce a potrzeby wapnowania gleb. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna*, 1: 24-26.
- Powszechny Spis Rolny 2020. Raport z wyników. 2021. Warszawa: GUS DR.
- Powszechny Spis Rolny. 2022. <https://stat.gov.pl/> (dostęp: 10.09.2022).
- Problemy Rolnictwa Światowego, 15(2): 159-166.
- 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. 2018. Ocena przestrzennego zróżnicowania odczynu gleb w Polsce w latach 2008-2016. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 56(10): 9-20.
- Sapek B. 2006. Wpływ opadu atmosferycznego i temperatury oraz uwilgotnienia gleby łąkowej na uwalnianie i dynamikę mineralnych form azotu. *Woda Środowisko Obszary Wiejskie*, 6(17): 29-38.
- Soszka H. 2009. Problemy metodyczne związane z oceną stopnia eutrofizacji jezior na potrzeby wyznaczania stref wrażliwych na azotany. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 9: 151-159.
- System nawożenia gruntów ornych w Polsce. Synteza badań przeprowadzonych w latach 1981-1985. Seria S(45). 1986. Puławy: IUNG PIB.
- Sztumski J. 1995. Wstęp do metod i badań społecznych. Katowice: Śląsk.
- 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.
- Vademecum wapnowania. <https://nordkalk.pl/> (dostęp 10.09.2022).
- Wojewodziec T. 2017. Procesy dywestyacji i dezagrarnizacji w rolnictwie o rozdrobnionej strukturze agrarnej. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Rolniczego im. H. Kołłątaja w Krakowie*, 535(412). Seria rozprawy.
- Zalecenia nawozowe. Część II. Optymalne dawki nawozów na gruntach ornych. Seria S(32). 1986. Puławy: IUNG PIB.
- Zalewski A. 2015. Sezonowość cen nawozów mineralnych w wybranych krajach Unii Europejskiej. *Problemy Rolnictwa Światowego*, 15(2), 159-166.
- Zalewski A. 2015. Sezonowość cen nawozów mineralnych w wybranych krajach Unii Europejskiej.
- 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.
- Żelazo M. 2013. Kwestionariusz wywiadu jako narzędzie badawcze. *Zeszyty Naukowe Wydziału Zarządzania i Dowodzenia Akad. Obrony Narodowej*, 2(6): 222-238.

- Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej (2000/60/WE).
- Dyrektywa Rady z dnia 12 grudnia 1991 r. dotycząca ochrony wód przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez azotany pochodzenia rolniczego (91/676/EWG).
- Dyrektywa Rady z dnia 21 maja 1991 r. dotycząca oczyszczania ścieków komunalnych (91/271/EWG).
- Rozporządzeniu (WE) nr 2003/2003 Parlamentu Europejskiego i Rady z 13 października 2003 r. w sprawie nawozów.
- Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 26 lipca 2004 r. w sprawie integrowanej produkcji (Dz.U. 2004 nr 178 poz. 1834).
- Ustawa z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu (Dz. U. Nr 147, poz. 1033).
- Ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. Prawo wodne (Dz. U. z 2017 r. poz. 1566 z późn. zm.).
- <https://agrecol.pl/porady/wapnowanie-gleby-koniecznosc-czy-zbedny-wydatek/> (dostęp: 14.09.2022).
- <https://igrit.pl/artukul/6-faktow-o-wapnowaniu-gleb-823> (dostęp: 14.09.2022).
- <https://rolnictwoprecyzyjne.eu/blog/wapnowanie-gleby/> (dostęp: 14.09.2022).
- <https://schr.gov.pl/p.222,ogolnopolnski-program-regeneracji-srodowiskowej-gleb-poprzez-ich-wapnowanie> (dostęp 06.09.2022).
- <https://swiatrolnika.info/uprawy/inne-rosliny-uprawne/wapnowanie-gleb.html> (dostęp: 14.09.2022).
- <https://www.agrofakt.pl/czas-wapnowac-pytanie-brzmi-czym/> (dostęp: 14.09.2022).
- <https://www.agrofakt.pl/wapno-dlaczego-wazne-wplywa-ph/> (dostęp: 14.09.2022).
- <https://www.chemiaibiznes.com.pl/artykuly/przemysl-nawozowy-kluczowy-dla-rozwoju-rolnictwa> (dostęp: 11.09.2022).
- <https://www.farmer.pl/produkcja-roslinna/wapnowanie-ile-kosztuje-i-kiedy-warto-je-wykonac,120701.html> (dostęp: 14.09.2022).
- <https://www.gov.pl/web/nfosigw/informacja-nt-ogolnopolnskiego-programu-regeneracji-srodowiskowej-gleb-poprzez-ich-wapnowanie> (dostęp 08.09.2022).
- <https://www.martus.com.pl/potrzeby-wapnowania-w-rolnictwie> (dostęp: 11.09.2022).
- <https://biznes.interia.pl/gospodarka/news-kryzys-nawozowy-i-jego-skutki,nld,6324063> (dostęp: 11.09.2022).
- <https://www.agrofakt.pl/wapno-dobrej-cenie-reki/> (dostęp: 14.09.2022).
- <https://www.agrofakt.pl/wapnowanie-gleby-bledy/> (dostęp: 14.09.2022).
- <https://ec.europa.eu/eurostat> (dostęp 03.09.2022).
- <https://www.gus.pl> (dostęp 04.09.2022).

SPIS TABEL, WYKRESÓW, RYSUNKÓW, MAP

TABELE

Tabela 1. Przedziały potrzeb wapnowania w zależności od kategorii agronomicznej gleby	31
Tabela 2. Dawki wapna na gruntach ornych w zależności od kategorii agronomicznej gleby [ton CaO/ha]	32
Tabela 3. Podział roślin uprawnych ze względu na stopień reakcji na wapnowanie	33
Tabela 4. Potrzeby wapnowania gleb w latach 2017-2020 [%]	36
Tabela 5. Kryteria podziału powiatów ziemskich w Polsce na grupy o zróżnicowanym poziomie zużycia nawozów wapniowych (CaO t/ha UR)	45
Tabela 6. Gospodarstwa rolne ponoszące wydatki na wapnowanie w latach 2010-2020*	50
Tabela 7. Strategie gospodarstw rolnych odnośnie częstotliwości zakupu nawozów wapniowych.....	51

WYKRESY

Wykres 1. Udział w rynku głównych producentów nawozów mineralnych (NPK) na świecie w 2020 r. [%]	15
Wykres 2. Zużycie nawozów mineralnych (NPK) na świecie w latach 2017-2019 r. [%].....	24
Wykres 3. Zużycie nawozów azotowych (N) w krajach Unii Europejskiej 2010 i 2020 r. [tys. ton]	25
Wykres 4. Zużycie nawozów fosforowych (P) w krajach Unii Europejskiej 2010 i 2020 r. [tys. ton].....	25
Wykres 5. Zużycie nawozów mineralnych (NPK) w Polsce w latach 2010-2020 (w przeliczeniu na czysty składnik) [tys. ton]	26
Wykres 6. Zużycie nawozów mineralnych (NPK) w Polsce w latach 2010-2020 (w przeliczeniu na czysty składnik) [kg/ha UR]	26
Wykres 7. Zużycie nawozów mineralnych (NPK) w województwach Polski w 2020 r. (w przeliczeniu na czysty składnik) w indywidualnych gospodarstwach rolnych [tys. ton]	28
Wykres 8. Zużycie nawozów mineralnych (NPK) w gospodarstwach indywidualnych według województw w 2020 r. (w przeliczeniu na czysty składnik) [kg/ha UR]	29
Wykres 9. Zużycie nawozów wapniowych i wapniowo-magnezowych w Polsce w latach 2010 -2020 (w przeliczeniu na czysty składnik) na tle nawozów (NPK) [tys. ton]	38
Wykres 10. Zużycie nawozów wapniowych i wapniowo-magnezowych w Polsce w latach 2010-2020 (w przeliczeniu na czysty składnik) na tle nawozów (NPK) [kg/ha UR]	39
Wykres 11. Zużycie nawozów wapniowych w indywidualnych gospodarstwach rolnych [kg CaO/ha UR]	40
Wykres 12. Zużycie nawozów magnezowo-wapniowych w indywidualnych gospodarstwach rolnych (w przeliczeniu na czysty składnik) [kg/ha UR]	41

RYSUNKI

Rysunek 1. Klasyfikacja nawozów według przepisów ustawowych w Polsce.....	18
Rysunek 2. Podział nawozów mineralnych oferowanych na polskim rynku.....	18
Rysunek 3. Podział nawozów mineralnych jednoskładnikowych	19

Rysunek 4. Podział nawozów mineralnych wieloskładnikowych oferowanych na polskim rynku	20
Rysunek 5. Podział nawozów odkwaszających glebę oferowanych na polskim rynku	21
Rysunek 6. Etapy procesu badawczego	44
Rysunek 7. Sposób obliczania dochodu gospodarstwa rolnego według FADN	49
Rysunek 8. Przykład analogowej i cyfrowej treści mapy glebowo-rolniczej wraz z przykładowym rozwarstwieniem części bazodanowej (na przykładzie formatu dostępnego dla województwa małopolskiego)	58
Rysunek 9. Fragment pochodnej numerycznego modelu terenu (powstałego z przetworzenia danych lotniczego skaningu laserowego) w postaci mapy kierunków ekspozycji, której analiza umożliwi określenie aktualnego kierunku uprawy ziemi	60
Rysunek 10. Fragment analizowanego obszaru z widocznym podziałem na siatkę GRID o rozmiarze 10x10 m z widocznymi zarysami konturów mapy glebowo-rolniczej.....	64
Rysunek 11. Schemat ilustrujący podział obszaru na elementarne pola testowe oraz ich powiązanie z odpowiednim elementem otaczającej sieci wód powierzchniowej zlokalizowanej w odległości „d”	66

MAPY

Mapa 1. Mapa potencjalnej erozji wodnej w Polsce	12
Mapa 2. Rozmieszczenie przestrzenne zakładów produkujących nawozy mineralne w Polsce	17
Mapa 3. Zużycie nawozów mineralnych (NPK) w województwach Polski w 2020 r. (w przeliczeniu na czysty składnik) w indywidualnych gospodarstwach rolnych [tys. ton]	27
Mapa 4. Zużycie nawozów mineralnych (NPK) w województwach Polski w 2020 r. (w przeliczeniu na czysty składnik) w indywidualnych gospodarstwach rolnych [kg/ha UR]	28
Mapa 5. Udział gleb kwaśnych i bardzo kwaśnych w latach 2017-2020 r. [%]	35
Mapa 6. Zużycie nawozów wapniowych w indywidualnych gospodarstwach rolnych w 2020 r. (w przeliczeniu na czysty składnik) [tys. t]	39
Mapa 7. Zużycie nawozów magnezowo-wapniowych indywidualnych gospodarstwach rolnych w 2020 r. (w przeliczeniu na czysty składnik) [tys. ton]	41
Mapa 8. Lokalizacja powiatów wytypowanych do przeprowadzenia badań ankietowych zlokalizowanych na obszarze czterech województwach Polski	46
Mapa 9. Lokalizacja obiektu badań na tle mapy Polski oraz mapa topograficzna z lokalizacją cieków i zbiorników wodnych	47
Mapa 10. Lokalizacja obiektu badań na tle ortofotomapy	47
Mapa 11. Fragment ortofotomapy analizowanego obszaru przedstawiającego jeden ze zbiorników wód powierzchniowych (Staw Majcherowiec, wieś Polanka Wielka)	61
Mapa 12. Zarys mapy glebowo-rolniczej badanego obszaru wraz z fragmentem tabeli z atrybutami poszczególnych elementów mapy	61
Mapa 13. Mapa użytkowania ziemi dla obszaru opracowania, gminy Polanka Wielka	62
Mapa 14. Numeryczny model terenu obszaru opracowania przedstawiony w skali szarości	62
Mapa 15. Ukształtowania terenu przedstawione w postaci mapy warstwicznej	63
Mapa 16. Mapa przedstawiająca natężenie prądu określającego nachylenie terenu na analizowanym obszarze	63
Mapa 17. Mapa przedstawiająca podział obszaru gminy Polanka Wielka na działki ewidencyjne	63