



Wpływ PS WPR 2023-2027 na gospodarkę nawozową i jakość wód- metodyka



Ministerstwo Rolnictwa
i Rozwoju Wsi

2024

WPŁYW PS WPR NA GOSPODARKE NAWOZOWĄ I JAKOŚĆ WÓD - metodyka



Instytut Uprawy
Nawożenia i Gleboznawstwa
Państwowy Instytut Badawczy

Wykonawca:

INSTYTUT TECHNOLOGICZNO- PRZYRODNICZY – PIB

Bąba Wojciech
Chudziak Justyna
Garbowski Tomasz
Grabowska-Polanowska Beata
Halecki Wiktor
Kalarus Konrad
Kowalczyk Agnieszka

INSTYTUT UPRAWY, NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA – PIB

Jadczyszyn Tamara
Jurga Beata

Informacje i poglądy zawarte w niniejszej publikacji są wyłącznie opiniami autorów i niekoniecznie odzwierciedlają oficjalne stanowisko Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi.

Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi nie gwarantuje dokładności danych zawartych w niniejszej publikacji.

Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi ani żadna osoba działająca w jego imieniu nie ponosi odpowiedzialności za wykorzystanie informacji zawartych w niniejszej publikacji.

SPIS TREŚCI:

TABELE I RYSUNKI:	4
LISTA AKRONIMÓW:	5
1. CEL I PRZEDMIOT OPRACOWANIA	6
2. WPROWADZENIE	6
3. CZYNNIKI PRZYCZYNIAJĄCE SIĘ DO SUKCESU	8
3.1. ZMNIEJSZAJĄ SIĘ EMISJA AMONIAKU Z ROLNICTWA, WYPŁUKIWANIE SKŁADNIKÓW POKARMOWYCH I EROZJA GLEBY	8
3.1.1. <i>Wypłukiwanie składników odżywczych zmniejsza się dzięki wsparciu WPR</i>	8
3.2. POPRAWIA SIĘ BILANS SKŁADNIKÓW POKARMOWYCH NA GRUNTACH ROLNYCH, CO ZMNIEJSZA ICH STRATY	9
3.3. ZMNIEJSZA SIĘ PRESJA NA NATURALNE ZBIORNIKI WODNE	10
3.4. PROPONOWANE DODATKOWE LUB ALTERNATYWNE CZYNNIKI SUKCESU	11
3.4.1. <i>Rozwój obszarów przyrodniczo chronionych</i>	11
4. LOGIKA INTERWENCJI	11
5. OKREŚLENIE I PRZYPISANIE DO CZYNNIKÓW SUKCESU ODPOWIEDNICH WSKAŹNIKÓW REZULTATU I ODDZIAŁYWANIA	16
5.1. OCENA OSIĄGNIĘCIA CZYNNIKÓW SUKCESU PRZY ZASTOSOWANIU WSKAŹNIKÓW REZULTATU I ODDZIAŁYWANIA	17
5.2. PRZYPISANIE DO CZYNNIKÓW SUKCESU WSKAŹNIKÓW ODDZIAŁYWANIA	19
6. OKREŚLENIE METOD BADAWCZYCH	22
6.1. KATALOG METOD BADAWCZYCH UMOŻLIWIAJĄCYCH SKALKULOWANIE WPLYWU PSWPR (W TYM WPLYWU NETTO)	22
6.1.1. <i>Analiza bilansu składników odżywczych dla wskaźników I.15 (Poprawa jakości wody: bilans składników pokarmowych brutto na gruntach rolnych) oraz I.16 (Zmniejszenie wypłukiwania składników pokarmowych)</i>	22
6.1.2. <i>Znaczenie operacyjne analizy bilansu składników odżywczych</i>	25
6.1.3. <i>Ocena wpływu netto PS WPR na wybrane czynniki sukcesu za pomocą sporządzonych wskaźników oddziaływania</i>	32
6.1.4. <i>Metodyka kartowania przestrzennego nawozów azotowych i fosforowych w UE</i>	333
6.1.5. <i>Metodyka do określenia bilansu składników pokarmowych brutto na terenach rolnych oraz poprawy jakości wody powierzchniowej i gruntowej</i>	355
6.1.6. <i>Metodyka ewaluacyjna dotycząca oceny wpływu PS WPR na jakość wód gruntowych (podrozdział opracowany przez IUNG) (dotyczy wskaźnika oddziaływania I.16)</i>	41
6.1.7. <i>Analiza statystyczna danych dotyczących zasobów wodnych oraz gospodarki nawozowej</i>	422
6.1.8. <i>Wyniki przeprowadzonej analizy statystycznej danych dotyczących zasobów wodnych oraz gospodarki nawozowej</i>	455
7. ŹRÓDŁA DANYCH	533
7.1. ŹRÓDŁA DANYCH A REKOMENDOWANE METODY BADAWCZE	577
8. BIBLIOGRAFIA	59

Tabele i Rysunki:

Tabela 1 Wybór interwencji i instrumentów wsparcia PSWPR oraz wskaźników rezultatu (R) i oddziaływania (I).....	13
Tabela 2. Podział na czynniki sukcesu i przypisane interwencje PS WPR wraz z opisem rodzaju, skali i zakresu.....	15
Tabela 3. Przypisanie wskaźników rezultatu i oddziaływania do czynników sukcesu.	17
Tabela 4. Przypisane czynniki sukcesu do wskaźników rezultatu wraz z rekomendacją.....	19
Tabela 5. Przypisane czynniki sukcesu do wskaźników oddziaływania oraz rekomendacje.	20
Tabela 6. Zestawienie parametrów do wyliczenia bilansu budżetu netto dla azotu.	28
Tabela 7. Zestawienie parametrów do wyliczenia bilansu budżetu netto dla fosforu.	31
Tabela 8. Czynniki brane pod uwagę do ustalenia rozmieszczenia przestrzennego nawozów azotowych i fosforowych w UE.	33
Tabela 9. Przykłady modeli opartych na procesach.	35
Tabela 10. Przykłady modeli empirycznych.	36
11. Zmienne wyselekcjonowane do analizy statystycznej w celu opracowania metodyki do określenia bilansu składników pokarmowych na terenach rolnych oraz poprawy jakości wód powierzchniowych i gruntowych.	37
Tabela 12. Zmienne użyte w analizie statystycznej wraz z odpowiadającym im wskaźnikiem oddziaływania.....	42
Tabela 13. Wyniki selekcji modeli dla Gross N.....	47
Tabela 14. Wyniki najlepszego modelu objaśniającego Gross N.....	47
Tabela 15. Wyniki selekcji modeli dla Gross P.....	48
Tabela 16. Wyniki modelu najlepszego dla Gross P.....	48
Tabela 17. Wyniki selekcji modeli dla WEI+.....	49
Tabela 18. Wyniki modelu najlepszego dla WEI+.....	49
Tabela 19. Wyniki selekcji modeli dla zawartości fosforanów w rzekach.....	50
Tabela 20. Wyniki modelu najlepszego dla zawartości fosforanów w rzekach.	51
Tabela 21. Sugerowane metody badawcze w ocenie skuteczności działań PS WPR mających na celu poprawę jakości wód. Metody rekomendowane zaznaczone są na zielone. Metody częściowo rekomendowane zaznaczone są na żółto, metody nierekomendowane zaznaczone są na czerwono. ...	58

Rycina 1 Model przedstawiający logikę interwencji w ramach PSWPR z przypisanymi wskaźnikami rezultatu i oddziaływania. Źródło: prezentacja z dnia 19 marca 2024 pt. Założenia ewaluacji w PS WPR 2023-2027.....	12
Rycina 2. Diagram ordynacyjny analizy RDA dla jakości wód gruntowych i powierzchniowych pod względem zawartości azotanów. HQ – wysoka jakość wody, MQ – średnia jakość wody, PQ – słaba jakość wody. Niebieskie punkty oznaczają wody powierzchniowe, brązowe oznaczają wody gruntowe. Kody krajów: BE – Belgia, CZ – Czechy, DK – Dania, DE – Niemcy, EE – Estonia, IE – Irlandia, EL – Grecja, ES – Hiszpania, FR – Francja, HR – Chorwacja, IT – Włochy, CY – Cypr, LV – Łotwa, LT – Litwa, AT – Austria, PL – Polska, PT – Portugalia, RO – Rumunia, SI – Słowenia, SK – Słowacja, FI – Finlandia, SE – Szwecja.....	46
Rycina 3. Różnice w Gross N dla krajów europejskich. Średnia wraz z błędem standardowym (SE).	47
Rycina 4. Różnice w Gross P dla krajów europejskich. Średnia wraz z błędem standardowym (SE).	49
Rycina 5. Różnice w WEI+ dla krajów europejskich. Średnia wraz z błędem standardowym (SE).	50
Rycina 6. Różnice w zawartości fosforanów w rzekach dla krajów europejskich. Średnia wraz z błędem standardowym (SE).	51
Rycina 7. Różnice w wysokiej jakości wody pod względem zawartości azotanów w wodach gruntowych i powierzchniowych. Średnia wraz z błędem standardowym (SE).	52
Rycina 8. Diagram prezentujący braki w zbiorze danych wykorzystanym do analiz.	56

Lista akronimów:

AICc	Kryterium informacyjne Akaike
ARiMR	Agencja Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa
AUAA	Agricultural Utilized Agricultural Area
BNF	Biological nitrogen fixation
CAPRI	Common Agricultural Policy Regional Impact Analysis
CLRTAP	Convention on Long-range Transboundary Air Pollution
EEA	European Environment Agency
EMEP	European Monitoring and Evaluation Programme
FADN	Farm Accountancy Data Network
FAOSTAT	Food and Agriculture Organization of the United Nations' statistical database
FSS	Farm Structure Survey
FUE	Phosphorus Use Efficiency
GLM	General Linear Model
GNB	Gross Nutrient Balance/General Nutrient Budget
aGNS	Atmospheric gross nitrogen surplus
hGNS	Hydrologic gross nitrogen surplus
GNS	Gross Nitrogen Surplus
Gross N	Saldo zawartości azotu brutto
Gross P	Saldo zawartości fosforu brutto
GUS	Główny Urząd Statystyczny
HSMU	High Spatial Mapping Units
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
MICE Forest	Multiple Imputation by Chained Equations Forest Imputer
NUE	Nitrogen Use Efficiency
NUTS0	Territorial units for statistics (national boundaries)
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
PB	Phosphorus Budget
PS WPR	Plan Strategiczny Wspólnej Polityki Rolnej
RDA	Redundancy Analysis
SE	Błąd standardowy
SO	Specific Objective
TUZ	Trwałe Użytki Zielone
%UAA	Percent of Utilized Agricultural Area
UE	Unia Europejska
UNECE	United Nations Economic Commission for Europe
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
WPR	Wspólna Polityka Rolna
WEI+	Water Exploitation Index plus

1. Cel i przedmiot opracowania

Przygotowanie metodyki szacowania oddziaływania PS WPR na cel:

CS5 - Wspieranie zrównoważonego rozwoju zasobów naturalnych, takich jak woda, gleba i powietrze, i wydajnego gospodarowania nimi, w tym poprzez ograniczanie uzależnienia od środków chemicznych.

Kryterium oceny - Skuteczność

Kluczowe elementy podlegające ocenie - Wydajne gospodarowanie zasobami naturalnymi

(Na podstawie zachowania lub zwiększenia jakości i ilości zasobów naturalnych dzięki zmniejszeniu zanieczyszczeń i eksploatacji).

Pytania ewaluacyjne:

W jakim stopniu PS WPR przyczynia się do realizacji celu polegającego na zapewnieniu wydajnego gospodarowania zasobami naturalnymi (jakość wód, gospodarka nawozowa)?

2. Wprowadzenie

Wspólna Polityka Rolna (WPR) jako chronologicznie pierwsza społeczno-ekonomiczna polityka UE (Unii Europejskiej), na przestrzeni lat podlegała różnicowanym zmianom. Celem WPR w obecnym brzmieniu jest zagwarantowanie bezpieczeństwa żywnościowego krajom UE, godziwych dochodów rolnikom, a także gwarancja zrównoważonego rozwoju rolnictwa i obszarów wiejskich, wzrost konkurencyjności gospodarstw rolnych z uwzględnieniem aspektów ochrony środowiska i walorów krajobrazowych (Karwat-Woźniak, 2019).

Opracowanie obejmuje przygotowanie metodyki szacowania oddziaływania PS WPR na cel jakim jest: Wspieranie zrównoważonego rozwoju zasobów naturalnych, takich jak woda, gleba i powietrze, i wydajnego gospodarowania nimi, w tym poprzez ograniczanie uzależnienia od środków chemicznych (CS5). Przygotowane opracowanie opiera się na podstawowym pytaniu badawczym: W jakim stopniu PS WPR przyczynia się do realizacji celu polegającego na zapewnieniu wydajnego gospodarowania zasobami naturalnymi (jakość wód, gospodarka nawozowa)? Pytanie zostało sformułowane na podstawie załącznika I (KLUCZOWE ELEMENTY EWALUACJI ORAZ ZALECANE CZYNNIKI PRZYZYCYNIAJĄCE SIĘ DO SUKCESU) do rozporządzenia wykonawczego Komisji (UE) 2022/1475 z dnia 6 września 2022 r. ustanawiającego szczegółowe zasady wdrażania rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2021/2115 w odniesieniu do ewaluacji planów strategicznych WPR oraz dostarczania informacji na potrzeby monitorowania i ewaluacji (Dz.U. L 232 z 7.9.2022, s. 8).

Ewaluacja jest narzędziem pomiaru skuteczności, efektywności, rezultatów i oddziaływania, znaczenia, spójności i europejskiej wartości dodanej polityki, mającym na celu zapewnienie jej rozliczalności i przejrzystości, oraz docelowo poprawę jej kształtu.

Ramy prawne UE nakładają na państwa członkowskie obowiązek ewaluacji swoich planów strategicznych WPR. Zgodnie z art. 2. rozporządzenia wykonawczego Komisji (UE) 2022/1475 państwa członkowskie przeprowadzają ewaluacje swoich planów strategicznych WPR w okresie wdrażania. Ponadto zgodnie z art. 140. ust. 1. rozporządzenia (UE) 2021/2115 państwa członkowskie oceniają skuteczność, wydajność, znaczenie, spójność, unijną wartość dodaną i oddziaływanie swoich planów strategicznych WPR w odniesieniu do ich wkładu w realizację celów ogólnych oraz celów szczegółowych WPR, które objęte są danym planem strategicznym WPR.

Niniejsze opracowanie ma na celu określenie narzędzi ewaluacyjnych służących przedstawieniu praktycznego podejścia do szacowania skuteczności wdrażanych planów strategicznych WPR, ocenie postępu w realizacji celów ogólnych i szczegółowych WPR na szczeblu UE; oraz pomoc w odpowiedzi postawione pytania ewaluacyjne, a także złożeniu do Komisji Europejskiej sprawozdań dotyczących ustaleń z ewaluacji w rocznych sprawozdaniach.

3. Czynniki przyczyniające się do sukcesu

Zgodnie z art. 1. rozporządzenia wykonawczego Komisji (UE) 2022/1475 przeprowadzając ewaluację swoich planów strategicznych WPR, państwa członkowskie określają czynniki przyczyniające się do sukcesu w celu oceny kryteriów ewaluacji dotyczących skuteczności, efektywności, znaczenia, spójności i unijnej wartości dodanej, o których mowa w art. 140 ust. 1 rozporządzenia (UE) 2021/2115. Przedstawione poniżej czynniki sukcesu zostały zaczerpnięte z załącznika I do rozporządzenia KE 2022/1475.

3.1. Zmniejszają się emisja amoniaku z rolnictwa, wyplukiwanie składników pokarmowych i erozja gleby

3.1.1. Wyplukiwanie składników odżywczych zmniejsza się dzięki wsparciu WPR

Uzasadnieniem zastosowania tego czynnika sukcesu są dwie główne polityki UE regulujące jakość wody i związane z zanieczyszczeniem rolniczym substancjami biogennymi i chemicznymi środkami ochrony roślin. Są to: (1) Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej (często określana jako ramowa dyrektywa wodna (RDW)); oraz (2) Dyrektywa Rady 91/676/EWG z dnia 12 grudnia 1991 r. dotycząca ochrony wód przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez azotany pochodzenia rolniczego (często nazywana Dyrektywą Azotanową). Oba dokumenty mają zasadnicze znaczenie dla oceny polityki, ponieważ ustanawiają narzędzia zarządzania (plany zarządzania w przypadku RDW i plany działania dla stref zagrożonych zanieczyszczeniem azotanami (NVZ)), które mogą obejmować środki i zakazy lub ograniczenia.

Uzasadnieniem dla wyboru tego czynnika sukcesu jest również fakt, że rolnictwo w dużym stopniu wpływa na jakość wód powierzchniowych i podziemnych poprzez akumulację składników biogennych w glebie dostających się do niej w wyniku nawożenia. Nadmiar tych składników może być wymywany z pól i przenosić się wraz z odciekami glebowymi do cieków wodnych i warstw wodonośnych.

Głównym wskaźnikiem wpływu, który może być wykorzystany do oceny tego czynnika sukcesu jest wskaźnik I.16: Ograniczenie wycieku substancji odżywczych: Azotany w wodach podziemnych - odsetek stacji wód podziemnych o stężeniu azotanów powyżej 50 mg/l zgodnie z dyrektywą 91/676/EWG.

Wskaźnik I.16 składa się z trzech wskaźników szczegółowych: (1) Bilans składników odżywczych brutto – azot (2) bilans składników odżywczych brutto – fosfor oraz (3) azotany w wodach gruntowych. Wskaźnik oddziaływania I.16 jest powiązany ze wskaźnikiem oddziaływania I.15 (Poprawa jakości wody: bilans składników pokarmowych brutto na

gruntach rolnych), ponieważ nadwyżka bilansu jest warunkiem wstępnym wpływu składników odżywczych. Zgodnie z definicją czynnika sukcesu, skuteczność jest osiągnięta, jeśli wpływ substancji biogennych zmniejsza się dzięki wsparciu PSWPR, zgodnie ze wskaźnikiem I.16.

3.2. Poprawia się bilans składników pokarmowych na gruntach rolnych, co zmniejsza ich straty

Gleba i woda to dwa niezbędne zasoby dla rolnictwa. Rolnictwo wpływa na zasoby wodne, głównie ze względu na składniki stosowane na polach poprzez nawożenie i substancje chemiczne stosowane do ochrony roślin. Nadmiar składników może przedostać się do cieków wodnych i warstw wodonośnych, powodując eutrofizację i wpływając na różnorodność biologiczną wód.

Główne akty prawne regulujące jakość wody i związane z zanieczyszczeniem rolniczymi substancjami odżywczymi to:

Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej (często zwana Ramową Dyrektywą Wodną);

Dyrektywa Rady 91/676/EWG z dnia 12 grudnia 1991 r. dotycząca ochrony wód przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez azotany pochodzenia rolniczego (często nazywana Dyrektywą Azotanową).

Oba dokumenty ustanawiają narzędzia zarządzania (plany zarządzania w przypadku Ramowej Dyrektywy Wodnej i plany działania dla stref zagrożonych zanieczyszczeniem azotanami), które mogą obejmować środki i zakazy lub ograniczenia.

Ten czynnik sukcesu dotyczy zanieczyszczenia substancjami odżywczymi w wyniku ich nadmiaru w glebach uprawnych. Razem z opisywanym wcześniej czynnikiem sukcesu „Wypłukiwanie składników odżywczych zmniejsza się dzięki wsparciu WPR”, który dotyczy głównie azotu zapewniają zintegrowaną ocenę depozycji składników odżywczych na lądzie i w wodzie przez rolnictwo. Powyższe rozważania stanowią uzasadnienie wyboru tego czynnika sukcesu.

Głównym wskaźnikiem wpływu, który można wykorzystać do oceny tego czynnika sukcesu jest wskaźnik I.15: Poprawa jakości wody: Bilans składników odżywczych brutto na gruntach rolnych. Wskaźnik ten składa się z dwóch wskaźników szczegółowych: (1) bilans składników odżywczych brutto - azot i (2) bilans składników odżywczych brutto - fosfor. Zgodnie z definicją czynnika sukcesu, skuteczność jest osiągnięta, jeśli bilans składników odżywczych na gruntach rolnych poprawia się dzięki wsparciu WPR, zgodnie ze wskaźnikiem I.15.

3.3. Zmniejsza się presja na naturalne zbiorniki wodne

Uzasadnieniem dla tego czynnika jest fakt, że rolnictwo należy do największych konsumentów wody na większości obszarów i jest odpowiedzialne za wywieranie presji na zasoby wodne. Zwłaszcza w regionach suchych i półsuchych nawadnianie konkuruje z innymi sposobami wykorzystania wody, takimi jak urbanistyka i turystyka, i stanowi najsilniejsze ograniczenie dla rozwoju rolnictwa. Z drugiej strony, niektóre tradycyjne systemy nawadniania tworzą i utrzymują zróżnicowane krajobrazy i niezbędne siedliska.

Podstawową polityką regulującą pobór i wykorzystanie wody jest Ramowa Dyrektywa Wodna (Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej oraz jej transpozycja do prawa krajowego).

Zarządzanie poborem wody i regulowanie presji na naturalne zbiorniki wodne jest również skuteczną strategią adaptacji do zmian klimatu. Rolnictwo powinno podjąć działania i dostosować się do bardziej inteligentnego wykorzystania zasobów bez zwiększania presji na wody powierzchniowe i warstwy wodonośne na obszarach o przewidywanym poważnym wpływie zmian klimatu na dostępność zasobów wodnych.

Ten czynnik sukcesu dotyczy presji wywieranej przez wszystkie działania związane z rolnictwem, w tym całkowity pobór wody do nawadniania, przechowywanie, transport i sieć zużycia wody w gospodarstwie, a także zużycie do wszelkich innych zastosowań rolniczych, takich jak hodowla zwierząt, czyszczenie, działania związane z tworzeniem wartości dodanej w gospodarstwie oraz woda zużywana przez przemysł spożywczy i drzewny. Oczywiście wsparcie w ramach WPR jest również kierowane do działań pozarolniczych, które mogą zużywać wodę, na przykład różnych rodzajów agroturystyki, małych elektrowni itp. Zużycie wody w projektach poza rolnictwem jest jednak niewielkie w porównaniu ze zużyciem w działalności rolniczej.

Głównym wskaźnikiem wpływu, który można wykorzystać do oceny tego czynnika sukcesu jest wskaźnik I.17: Zmniejszenie presji na zasoby wodne: Water Exploitation Index Plus (WEI+). WEI+ zapewnia szacunkową miarę całkowitego zużycia wody jako procent odnawialnych zasobów słodkiej wody (wód podziemnych i powierzchniowych) dla danego terytorium i okresu. Zgodnie z definicją czynnika sukcesu, skuteczność jest osiągana, jeśli presja wywierana na naturalne zbiorniki wodne zmniejsza się dzięki wsparciu WPR, co jest mierzone wskaźnikiem I.17.

3.4. Proponowane dodatkowe lub alternatywne czynniki sukcesu

3.4.1. Rozwój obszarów przyrodniczo chronionych

Uzasadnienie: Rozwój obszarów przyrodniczo chronionych odgrywa kluczową rolę w ochronie bioróżnorodności, przeciwdziałaniu zmianom klimatycznym oraz w zachowaniu unikalnych walorów środowiskowych. Ochrona takich obszarów sprzyja także rozwojowi zrównoważonej gospodarki nawozowej oraz wspiera lokalne społeczności poprzez tworzenie nowych obszarów, które ograniczają działalność rolniczą.

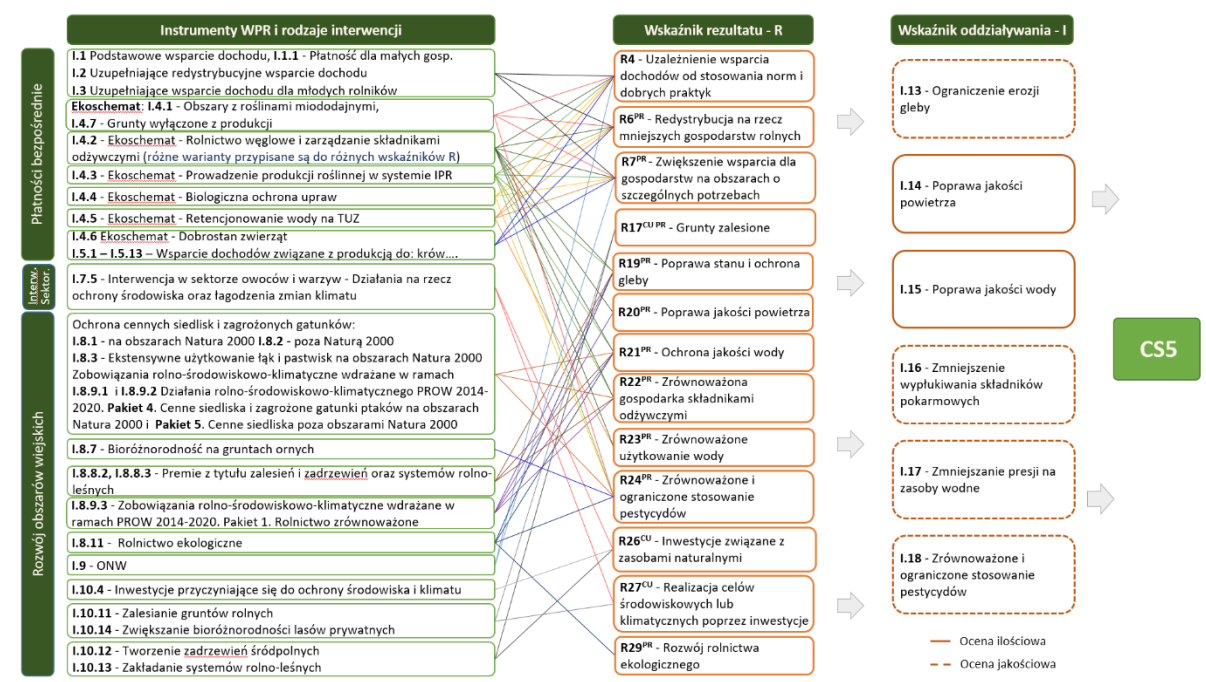
Przypisane do tego czynnika instrumenty wsparcia znajdują się w Tabeli 2 i są to: I.8.11 - Rolnictwo ekologiczne; I.10.12 - Tworzenie zadrzewień śródpolnych; I.8.3 - Ekstensywne użytkowanie łąk i pastwisk na obszarach Natura 2000. Z kolei proponowane wskaźniki oddziaływania i rezultatu dla tego czynnika sukcesu to odpowiednio (I.15: Poprawa jakości wody: bilans składników pokarmowych brutto na gruntach rolnych; I.16: Zmniejszenie wypłukiwania składników pokarmowych; I.17: Zmniejszanie presji na zasoby wodne: wskaźnik zużycia wody plus (WEI+)) oraz (R.19: Poprawa stanu i ochrona gleby; R.21: Ochrona jakości wód; R.22: Zrównoważona gospodarka składnikami odżywczymi ; R.23: Zrównoważone użytkowanie wody). Oba wskaźniki znajdują się w Tabeli 3.

Proponowany czynnik sukcesu jest kompleksowym czynnikiem obejmującym różnorodne instrumenty wsparcia oraz wskaźniki oddziaływania i rezultatu. Pozwoli to na uzyskanie szerszego obrazu wpływu PSWPR na obszary omawiane w tym opracowaniu. Zgodnie z definicją czynnika sukcesu, skuteczność jest osiągnięta, jeśli bilans składników odżywczych na gruntach rolnych poprawia się dzięki wsparciu PSWPR, zgodnie ze wskaźnikiem I.15, wpływ substancji biogennych zmniejsza się dzięki wsparciu PSWPR, zgodnie ze wskaźnikiem I.16 oraz presja wywierana na naturalne zbiorniki wodne zmniejsza się dzięki wsparciu PSWPR, co jest mierzone wskaźnikiem I.17.

4. Logika interwencji

W tym rozdziale przedstawiona została logika interwencji w ramach PSWPR, a także działania oraz ich cele w kontekście zarządzania zasobami naturalnymi, w tym wodami powierzchniowymi i składnikami odżywczymi na gruntach rolnych. Logika interwencji w ramach PSWPR opiera się na zależnościach między stosowanymi instrumentami wsparcia, wskaźnikami rezultatu oraz wskaźnikami oddziaływania poszczególnych instrumentów Wspólnej Polityki Rolnej. Posługując się poniższym schematem (Ryc. 1) można w uzasadniony sposób przypisać odpowiednie wskaźniki oddziaływania i rezultatu do wybranych instrumentów wsparcia. Spośród bogatego zestawu interwencji zostały wybrane te które najlepiej wpisują się w omawiane czynniki sukcesu. Ich podział względem wybranych

czynników sukcesu oraz przypisane wskaźniki zostały zestawione w Tabeli 1, która stanowi podsumowanie tego rozdziału.



Rycina 1 Model przedstawiający logikę interwencji w ramach PSWPR z przypisanymi wskaźnikami rezultatu i oddziaływania. Źródło: prezentacja z dnia 19 marca 2024 pt. Założenia ewaluacji w PS WPR 2023-2027

Na podstawie wszystkich wskaźników oddziaływania przypisanych do Celu Strategicznego 5 wybrano i przeanalizowano trzy: I.15 – poprawa jakości wody, I.16 – zmniejszenie wypłukiwania składników pokarmowych oraz I.17 – zmniejszenie presji na zasoby wodne. Te wskaźniki przypisane są do różnych czynników sukcesu. W Tabeli 1 zaprezentowano zestawienie wybranych interwencji oraz instrumentów wsparcia wraz z wskaźnikami rezultatu i wskaźnikami oddziaływania, które zostały poruszone i szeroko omówione w prezentowanym opracowaniu.

Tabela 1 Wybór interwencji i instrumentów wsparcia PSWPR oraz wskaźników rezultatu (R) i oddziaływania (I).

Czynnik sukcesu	Interwencje i instrumenty wsparcia PSWPR	Współczynnik rezultatu (R)	Współczynnik oddziaływania (I)
Zmniejszają się emisja amoniaku z rolnictwa, wyplukiwanie składników pokarmowych i erozja gleby	I.4.2 - Ekoschemat - Rolnictwo węglowe i zarządzanie składnikami odżywczymi	R.19 - Poprawa stanu i ochrona gleby: odsetek wykorzystywanej powierzchni użytków rolnych objętej otrzymującymi wsparcie zobowiązaniami korzystnymi dla gospodarowania glebami w celu poprawy ich jakości oraz stanu fauny i flory w glebie R.21 - Ochrona jakości wody: odsetek wykorzystywanej powierzchni użytków rolnych objętej otrzymującymi wsparcie zobowiązaniami na rzecz jakości jednolitych części wód R.22 - Zrównoważona gospodarka składnikami odżywczymi: odsetek wykorzystywanej powierzchni użytków rolnych objętej otrzymującymi wsparcie zobowiązaniami do poprawy gospodarki składnikami odżywczymi R.23 - Zrównoważone użytkowanie wody: odsetek wykorzystywanej powierzchni użytków rolnych objętej otrzymującymi wsparcie zobowiązaniami na rzecz poprawy bilansu wodnego	I.15 - Poprawa jakości wody: bilans składników pokarmowych brutto na gruntach rolnych I.16 - Zmniejszenie wyplukiwania składników pokarmowych: azotany w wodach gruntowych – odsetek punktów pomiarowych w ramach monitoringu wód gruntowych wykazujących stężenie azotanów powyżej 50 mg/l na mocy dyrektywy 91/676/EWG
Poprawia się bilans składników pokarmowych na gruntach rolnych, co zmniejsza ich straty	I.4.2 – Ekoschemat - Rolnictwo węglowe i zarządzanie składnikami odżywczymi	R.19 - Poprawa stanu i ochrona gleby: odsetek wykorzystywanej powierzchni użytków rolnych objętej otrzymującymi wsparcie zobowiązaniami korzystnymi dla gospodarowania glebami w celu poprawy ich jakości oraz stanu fauny i flory w glebie R.21 - Ochrona jakości wody: odsetek wykorzystywanej powierzchni użytków rolnych objętej otrzymującymi wsparcie zobowiązaniami na rzecz jakości jednolitych części wód R.22 - Zrównoważona gospodarka składnikami odżywczymi: odsetek wykorzystywanej powierzchni użytków rolnych objętej otrzymującymi wsparcie zobowiązaniami do poprawy gospodarki składnikami odżywczymi R.23 - Zrównoważone użytkowanie wody: odsetek wykorzystywanej powierzchni użytków rolnych objętej otrzymującymi wsparcie zobowiązaniami na rzecz poprawy bilansu wodnego	I.15 - Poprawa jakości wody: bilans składników pokarmowych brutto na gruntach rolnych I.16 - Zmniejszenie wyplukiwania składników pokarmowych: azotany w wodach gruntowych – odsetek punktów pomiarowych w ramach monitoringu wód gruntowych wykazujących stężenie azotanów powyżej 50 mg/l na mocy dyrektywy 91/676/EWG
Zmniejsza się presja na naturalne zbiorniki wodne	I.4.5 - Retencjonowanie wody na TUZ	R.23 - Zrównoważone użytkowanie wody: odsetek wykorzystywanej powierzchni użytków rolnych objętej otrzymującymi wsparcie zobowiązaniami na rzecz poprawy bilansu wodnego	I.17 - Zmniejszanie presji na zasoby wodne: wskaźnik zużycia wody plus (WEI+)
Rozwój obszarów przyrodniczo chronionych	I.4.2 – Ekoschemat: Rolnictwo węglowe i zarządzanie składnikami odżywczymi I.8.3 - Ekstensywne użytkowanie łąk i pastwisk na obszarach Natura 2000 I.8.11 – Rolnictwo ekologiczne	R.19 - Poprawa stanu i ochrona gleby: odsetek wykorzystywanej powierzchni użytków rolnych objętej otrzymującymi wsparcie zobowiązaniami korzystnymi dla gospodarowania glebami w celu poprawy ich jakości oraz stanu fauny i flory w glebie R.21 - Ochrona jakości wody: odsetek wykorzystywanej powierzchni użytków rolnych objętej otrzymującymi wsparcie zobowiązaniami na rzecz jakości jednolitych części wód R.22 - Zrównoważona gospodarka składnikami odżywczymi: odsetek wykorzystywanej powierzchni użytków rolnych objętej otrzymującymi wsparcie zobowiązaniami do poprawy gospodarki składnikami odżywczymi R.23 - Zrównoważone użytkowanie wody: odsetek wykorzystywanej powierzchni użytków rolnych objętej otrzymującymi wsparcie zobowiązaniami na rzecz poprawy bilansu wodnego R.21- Ochrona jakości wody: odsetek wykorzystywanej powierzchni użytków rolnych objętej otrzymującymi wsparcie zobowiązaniami na rzecz jakości jednolitych części wód R.22 - Zrównoważona gospodarka składnikami odżywczymi: odsetek wykorzystywanej powierzchni użytków rolnych objętej otrzymującymi wsparcie zobowiązaniami do poprawy gospodarki składnikami odżywczymi R.19 - Poprawa stanu i ochrona gleby: odsetek wykorzystywanej powierzchni użytków rolnych objętej otrzymującymi wsparcie zobowiązaniami korzystnymi dla gospodarowania glebami w celu poprawy ich jakości oraz stanu fauny i flory w glebie R.21- Ochrona jakości wody: odsetek wykorzystywanej powierzchni użytków rolnych objętej otrzymującymi wsparcie zobowiązaniami na rzecz jakości jednolitych części wód	I.15 - Poprawa jakości wody: bilans składników pokarmowych brutto na gruntach rolnych I.16 - Zmniejszenie wyplukiwania składników pokarmowych: azotany w wodach gruntowych – odsetek punktów pomiarowych w ramach monitoringu wód gruntowych wykazujących stężenie azotanów powyżej 50 mg/l na mocy dyrektywy 91/676/EWG I.17 - Zmniejszanie presji na zasoby wodne: wskaźnik zużycia wody plus (WEI+)

W celu przeprowadzenia logicznej analizy modelu interwencji (Ryc. 1) wykonano następujące kroki: (1) zidentyfikowano konkretne czynniki sukcesu, które mają na celu poprawę stanu środowiska oraz zrównoważone zarządzanie zasobami. Czynniki sukcesu ustanawiają punkt odniesienia dla oceny, czy interwencje WPR są skuteczne, wydajne, odpowiednie lub spójne. (2) Do tych czynników przypisano odpowiednie interwencje, które najlepiej wspierają osiągnięcie wyznaczonych celów. (3) W obrębie danego czynnika sukcesu określono wskaźniki rezultatu, które umożliwiają mierzenie efektów wprowadzonych interwencji PSWPR. (4) Na końcu określono wskaźniki oddziaływania, które wraz ze wskaźnikami rezultatu służą ocenie skuteczności działań wdrożonych w ramach PSWPR. Każda interwencja została przypisana do odpowiedniego obszaru działania, takiego jak rolnictwo węglowe, rolnictwo ekologiczne czy systemy rolno-leśne.

Wskaźniki oddziaływania i rezultaty opracowane w oparciu o obowiązkowe wskaźniki oddziaływania, zamieszczone są w Załączniku I Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2021/2115. Wskaźniki te są zgodne z celami określonymi w dokumentach strategicznych, takich jak SO (Specific Objective) dotyczące bilansu składników odżywczych, presji na zasoby wodne. Dla interwencji lokalnych skoncentrowano się na gospodarstwach rolnych oraz praktykach zrównoważonego zarządzania, natomiast dla interwencji o charakterze regionalnym uwzględniono współpracę z rolnikami i instytucjami w celu wsparcia ekologicznych praktyk. Analiza potrzeb opierała się na zidentyfikowanych potrzebach w Planie Strategicznym Wspólnej Polityki Rolnej (PS WPR), co pozwoliło na dostosowanie interwencji do lokalnych warunków i specyfiki obszarów wiejskich oraz przyrodniczo chronionych. Aby skutecznie realizować cele związane z poprawą bilansu składników odżywczych na gruntach rolnych oraz ograniczeniem ich negatywnego wpływu na wodę, logika interwencji opierać powinna się na kilku kluczowych elementach. Ostatecznie zgromadzone informacje zostały uporządkowane w Tabeli 2, gdzie każda interwencja opisana w kontekście celów, wskaźników sukcesu oraz skali i zakresu działań. Tabela 2 pokazuje, w jaki sposób planowane interwencje wynikają z wyznaczonych czynników sukcesu oraz wskaźników oddziaływania i rezultatu. Analizując te interwencje, możemy zidentyfikować obszary wymagające dodatkowego wsparcia oraz lepiej dostosować strategię ochrony środowiska. Takie podejście umożliwia lepsze zrozumienie i zarządzanie wpływem działalności rolniczej na zasoby wodne. Jest to kluczowe dla ochrony jakości wód i zapewnienia ich dostępności dla przyszłych pokoleń.

Kolejnym przykładem dla uzasadnienia logiki omawianych interwencji są interwencje związane z ekstensywnym użytkowaniem łąk i pastwisk na obszarach Natura 2000, które mogą mieć zarówno bezpośredni wpływ na bioróżnorodność, jak i pośredni wpływ na stabilizację gleby oraz retencję wody, co przyczynia się do zmniejszenia erozji i poprawy jakości wód. Ponadto programy wsparcia dotyczące retencjonowania wody mogą bezpośrednio wpływać na

zmniejszenie presji na zasoby wodne, natomiast ich skutki mogą być widoczne również w dłuższym okresie, w postaci poprawy dostępności wody dla rolnictwa oraz wzrostu efektywności jej wykorzystania. Instrumenty te tworzą system wsparcia, który osiąga bezpośrednie rezultaty i wspiera długofalowy zrównoważony rozwój obszarów wiejskich oraz ochronę środowiska wodnego.

Tabela 2. Podział na czynniki sukcesu i przypisane interwencje PS WPR wraz z opisem rodzaju, skali i zakresu.

Przypisane czynniki sukcesu	Instrumenty PSWPR i rodzaje interwencji	Rodzaj, skala i zakres wdrażanych instrumentów
Zmniejszają się emisja amoniaku z rolnictwa, wyplukiwanie składników pokarmowych i erozja gleby	I.4.2 - Ekoschemat - Rolnictwo węglowe i zarządzanie składnikami odżywczymi	Interwencje na poziomie lokalnym, skoncentrowane na gospodarstwach rolnych, z naciskiem na praktyki zrównoważonego zarządzania nawozami.
Poprawia się bilans składników pokarmowych na gruntach rolnych, co zmniejsza ich straty	I.4.2 - Ekoschemat - Rolnictwo węglowe i zarządzanie składnikami odżywczymi	Interwencje na poziomie lokalnym, skoncentrowane na gospodarstwach rolnych, z naciskiem na praktyki zrównoważonego zarządzania nawozami.
Zmniejsza się presja na naturalne zbiorniki wodne	I.4.5 - Ekoschemat - Retencjonowanie wody na TUZ	Interwencje o zasięgu lokalnym, skoncentrowane na zarządzaniu wodą; wprowadzenie technik retencyjnych w gospodarstwach rolnych.
Rozwój obszarów przyrodniczo chronionych	I.4.2 - Ekoschemat - Rolnictwo węglowe i zarządzanie składnikami odżywczymi	Interwencje na poziomie lokalnym, skoncentrowane na gospodarstwach rolnych, z naciskiem na praktyki zrównoważonego zarządzania nawozami.
	I.8.3 - Ekstensywne użytkowanie łąk i pastwisk na obszarach Natura 2000	Interwencje na obszarach chronionych, wspierające ekstensywne użytkowanie jako sposób na zachowanie bioróżnorodności oraz ochronę wód.
	I.8.11 - Rolnictwo ekologiczne	Skala regionalna, wspierająca rolnictwo ekologiczne jako alternatywę dla konwencjonalnych praktyk; wzmocnienie ochrony bioróżnorodności.

5. Określenie i przypisanie do czynników sukcesu odpowiednich wskaźników rezultatu i oddziaływania

Zrównoważone rolnictwo stanowi fundament dla utrzymania dobrej jakości wód powierzchniowych i podziemnych poprzez zmniejszenie presji na naturalne zbiorniki wodne oraz ograniczając wypłukiwanie składników odżywczych nagromadzonych w glebie w wyniku nieracjonalnej gospodarki nawozowej. Aby efektywnie monitorować i oceniać wpływ PSWPR na te elementy środowiska, niezbędne jest zastosowanie odpowiednich wskaźników oddziaływania i rezultatu.

Tabela 3 przedstawia kluczowe czynniki sukcesu oraz powiązane z nimi wskaźniki rezultatu i oddziaływania w zrównoważonym zarządzaniu zasobami naturalnymi. Poprawa bilansu składników odżywczych na gruntach rolnych (R.19, R.21, R.22, R.23, I.15, I.16) wpływa na lepszą jakość gleby i wód. Zmniejszenie presji na zasoby wodne (R.23, I.17) jest osiąganę poprzez optymalizację zużycia wody. Zmniejszenie wypłukiwania składników odżywczych (R.19, R.21, R.22, R.23, I.15, I.16) i rozwój obszarów przyrodniczo chronionych (R.19, R.21, R.22, R.23, I.15, I.16, I.17) wspierają ochronę środowiska i zwiększenie różnorodności biologicznej. Całościowe zarządzanie zasobami przyczynia się do trwałego rozwoju i stabilności ekosystemów. Przedstawione wskaźniki wybrano na podstawie modelu przedstawiającego logikę interwencji (Ryc. 1) oraz dostępności danych, które były potrzebne do pokazania metodyki opisanej w dalszej części raportu.

Wskaźniki rezultatu

R.19: Poprawa stanu i ochrona gleby

R.21: Ochrona jakości wód

R.22: Zrównoważona gospodarka składnikami odżywczymi

R.23: Zrównoważone użytkowanie wody

Wskaźniki oddziaływania

I.15: Poprawa jakości wody: bilans składników pokarmowych brutto na gruntach rolnych

I.16: Zmniejszenie wypłukiwania składników pokarmowych

I.17: Zmniejszanie presji na zasoby wodne: wskaźnik zużycia wody plus (WEI+)

Tabela 3. Przypisanie wskaźników rezultatu i oddziaływania do czynników sukcesu.

Czynnik sukcesu	Wskaźniki rezultatu	Wskaźniki oddziaływania
Zmniejszają się emisja amoniaku z rolnictwa, wyplukiwanie składników pokarmowych i erozja gleby	R.19, R.21, R.22, R.23	I.15, I.16
Poprawia się bilans składników pokarmowych na gruntach rolnych, co zmniejsza ich straty.	R.19, R.21, R.22, R.23	I.15, I.16
Zmniejsza się presja na naturalne zbiorniki wodne.	R.23	I.17
Rozwój obszarów przyrodniczo chronionych	R.19, R.21, R.22, R.23	I.15, I.16, I.17

5.1. Ocena osiągnięcia czynników sukcesu przy zastosowaniu wskaźników rezultatu i oddziaływania

Wskaźniki rezultatu, takie jak R.19 (Poprawa stanu i ochrona gleby), R.21 (Ochrona jakości wód), R.22 (Zrównoważona gospodarka składnikami odżywczymi), R.23 (Zrównoważone użytkowanie wody), pozwalają na ocenę, czy dany czynnik sukcesu został osiągnięty. Wskaźniki oddziaływania, w tym I.15 (Poprawa jakości wody: bilans składników pokarmowych brutto na gruntach rolnych), I.16 (Zmniejszenie wyplukiwania składników pokarmowych) oraz I.17 (Zmniejszanie presji na zasoby wodne: wskaźnik zużycia wody plus WEI+), mierzą oddziaływanie działań na środowisko wodno-rolnicze (Tabela 3).

Zmniejszenie wyplukiwania składników odżywczych oceniany wskaźnikami rezultatu (R.19, R.21, R.22, R.23) oraz wskaźnikami oddziaływania (I.15 oraz I.16) przyczynia się do ochrony zasobów wodnych i jest bezpośrednio związany z czynnikiem sukcesu dotyczącym poprawy bilansu składników odżywczych. Poprawa bilansu składników odżywczych na gruntach rolnych to jeden z kluczowych czynników sukcesu, oceniany za pomocą wskaźników rezultatu (R.19, R.21, R.22, R.23) oraz wskaźników oddziaływania (I.15, I.16). Skuteczne zarządzanie składnikami odżywczymi przyczynia się do lepszej jakości gleby i wód, co wspiera zrównoważone praktyki rolnicze. Zmniejszenie presji na zasoby wodne, oceniane za pomocą wskaźników rezultatu (R.23) oraz wskaźnika oddziaływania (I.17), jest kolejnym istotnym celem dla PSWPR. Ostatnim czynnikiem jest Rozwój obszarów przyrodniczo chronionych, dla którego przypisano wskaźniki rezultatu (R.19, R.21, R.22, R.23) oraz wskaźniki oddziaływania (I.15, I.16, I.17) wspólne dla wszystkich poprzednich czynników sukcesu. Pomoże to dokonać kompleksowej oceny wpływu PSWPR na omawiane w opracowaniu elementy tej polityki tj. jakość wód oraz gospodarkę nawozową.

Efekty bezpośrednie i pośrednie w zrównoważonym zarządzaniu zasobami naturalnymi można podzielić na dwie kategorie, które różnią się czasem występowania oraz wpływem na środowisko. Efekty bezpośrednie pojawiają się natychmiastowo w wyniku podjętych działań,

a ich wpływ odczuwany jest w krótkim okresie w takich obszarach jak rolnictwo, gleba, woda i inne zasoby. Do efektów bezpośrednich należy poprawa bilansu składników odżywczych (R.22, I.15), która prowadzi do szybkiej poprawy jakości gleby, ograniczenia wycieków składników odżywczych oraz zmniejszenia ich wypłukiwania do wód gruntowych (I.16). Zrównoważone gospodarowanie wodą (R.23, I.17) przynosić może również oczekiwane wyniki, ponieważ efektywniejsze wykorzystanie wody w systemach irygacyjnych zmniejsza presję na zasoby wodne i poprawia efektywność wodną upraw. Z kolei efekty pośrednie to długofalowe skutki działań, które ujawniają się po pewnym czasie i wpływają szerzej na ekosystemy, społeczeństwo, gospodarkę lub klimat. Przykładem takich efektów jest ochrona jakości wód (R.21, I.16), gdzie długoterminowe ograniczenie wypłukiwania składników odżywczych przyczynia się do poprawy stanu ekosystemów wodnych, zmniejszenia eutrofizacji oraz odbudowy tych ekosystemów. Całościowe zarządzanie zasobami naturalnymi, które uwzględnia zarówno bezpośrednie, jak i długoterminowe korzyści, jest kluczowe dla ochrony i trwałości ekosystemów oraz zasobów.

Poprawa bilansu składników odżywczych na gruntach rolnych (R.19, R.21, R.22) bezpośrednio wpływa na lepszą jakość gleby i wód. Działania te przyczyniają się do ochrony gleby przed erozją oraz zmniejszają wycieki składników odżywczych do wód. Poprzez lepsze zarządzanie nawożeniem i tworzenie stref buforowych (R.21), ogranicza się zanieczyszczenia wód. Wsparcie dla zrównoważonej gospodarki nawozami (R.22) pomaga w zmniejszeniu wycieków do wód, co jest kluczowe dla ochrony jakości wód. Promowanie efektywnego zarządzania zasobami wodnymi i nawadnianiem (R.23) zmniejsza presję na zasoby wodne, a ograniczenie stosowania chemikaliów (R.21) dodatkowo zmniejsza zanieczyszczenie wód. Wszystkie te czynniki razem wspierają ochronę środowiska i różnorodności biologicznej, przyczyniając się do trwałego rozwoju i stabilności ekosystemów rolnych (Tabela 4).

Tabela 4. Przypisane czynniki sukcesu do wskaźników rezultatu wraz z rekomendacją.

Czynnik sukcesu	Wskaźnik rezultatu	Rekomendacja
Zmniejszają się emisja amoniaku z rolnictwa, wyplukiwanie składników pokarmowych i erozja gleby	R.19 (Poprawa stanu i ochrona gleby)	Redukcja erozji gleby, która pomaga zatrzymać składniki odżywcze w glebie.
	R.21 (Ochrona jakości wód)	Ograniczenie przenikania nawozów do wód.
	R.22 (Zrównoważona gospodarka składnikami odżywczymi)	Wspieranie działania na rzecz optymalnego gospodarowania nawozami.
	R.23 (Zrównoważone użytkowanie wody)	Promowanie efektywnego zarządzania zasobami wodnymi i nawadnianiem.
Poprawia się bilans składników pokarmowych na gruntach rolnych, co zmniejsza ich straty	R.19 (Poprawa stanu i ochrona gleby)	Redukcja erozji gleby, która pomaga zatrzymać składniki odżywcze w glebie.
	R.21 (Ochrona jakości wód)	Ograniczenie przenikania nawozów do wód.
	R.22 (Zrównoważona gospodarka składnikami odżywczymi)	Wspieranie działania na rzecz optymalnego gospodarowania nawozami.
	R.23 (Zrównoważone użytkowanie wody)	Promowanie efektywnego zarządzania zasobami wodnymi i nawadnianiem.
Zmniejsza się presja na naturalne zbiorniki wodne	R.23 (Zrównoważone użytkowanie wody)	Promowanie efektywnego zarządzania zasobami wodnymi i nawadnianiem.
Rozwój obszarów przyrodniczo chronionych	R.19 (Poprawa stanu i ochrona gleby)	Redukcja erozji gleby, która pomaga zatrzymać składniki odżywcze w glebie.
	R.21 (Ochrona jakości wód)	Ograniczenie przenikania nawozów do wód.
	R.22 (Zrównoważona gospodarka składnikami odżywczymi)	Wspieranie działania na rzecz optymalnego gospodarowania nawozami.
	R.23 (Zrównoważone użytkowanie wody)	Promowanie efektywnego zarządzania zasobami wodnymi i nawadnianiem.

5.2. Przypisanie do czynników sukcesu wskaźników oddziaływania

Zrównoważone zarządzanie zasobami naturalnymi ma bezpośredni wpływ na wskaźniki oddziaływania, takie jak I.15, I.16 i I.17. Poprawa bilansu składników pokarmowych na gruntach rolnych (I.15) wpływa na lepszą jakość gleby i wód poprzez zarządzanie składnikami odżywczymi, co ogranicza negatywne oddziaływanie na wody. Ograniczenie wypłukiwania

składników pokarmowych (I.16) jest kluczowe dla zachowania równowagi w glebie i ochrony zasobów wodnych poprzez działania ochronne.

Zmniejszenie presji na zasoby wodne (I.17) jest osiągane przez monitorowanie i ograniczanie zużycia wody w rolnictwie, co jest niezbędne w zarządzaniu ryzykiem susz atmosferycznych. Działania te mają na celu zmniejszenie presji na zasoby wodne w obliczu zmian klimatu, co jest kluczowe dla zrównoważonego zarządzania wodą (Tabela 5).

Wymogi dotyczące ilościowego szacowania wpływu netto (Załącznik III do Rozporządzenia Wykonawczego Komisji (UE) 2022/1475) zapewniają, że działania są oceniane kompleksowo. Dzięki temu można dokładnie określić, jakie są rzeczywiste korzyści i skutki działań podejmowanych w ramach zrównoważonego zarządzania zasobami naturalnymi.

Tabela 5. Przypisane czynniki sukcesu do wskaźników oddziaływania oraz rekomendacje.

Czynnik sukcesu	Wskaźniki oddziaływania	Rekomendacja
Zmniejszają się emisja amoniaku z rolnictwa, wyplukiwanie składników pokarmowych i erozja gleby	I.15 (Poprawa jakości wody: bilans składników pokarmowych brutto na gruntach rolnych)	Zarządzanie składnikami odżywczymi, które wpływa na poprawę bilansu pokarmowego w glebie i wodach.
	I.16 (Zmniejszenie wypłukiwania składników pokarmowych)	Ograniczenie wypłukiwania składników odżywczych do wód poprzez działania ochronne.
Poprawia się bilans składników pokarmowych na gruntach rolnych, co zmniejsza ich straty	I.15 (Poprawa jakości wody: bilans składników pokarmowych brutto na gruntach rolnych)	Zarządzanie składnikami odżywczymi, które wpływa na poprawę bilansu pokarmowego w glebie i wodach
	I.16 (Zmniejszenie wypłukiwania składników pokarmowych)	Ograniczenie wypłukiwania składników odżywczych do wód poprzez działania ochronne.
Zmniejsza się presja na naturalne zbiorniki wodne.	I.17 (Zmniejszanie presji na zasoby wodne: wskaźnik zużycia wody)	Monitorowanie i ograniczanie zużycia wody w rolnictwie.
Rozwój obszarów przyrodniczo chronionych	I.15 (Poprawa jakości wody: bilans składników pokarmowych brutto na gruntach rolnych)	Zarządzanie składnikami odżywczymi, które wpływa na poprawę bilansu pokarmowego w glebie i wodach
	I.16 (Zmniejszenie wypłukiwania składników pokarmowych)	Ograniczenie wypłukiwania składników odżywczych do wód poprzez działania ochronne.
	I.17 (Zmniejszanie presji na zasoby wodne: wskaźnik zużycia wody)	Monitorowanie i ograniczanie zużycia wody w rolnictwie.

W niniejszym tekście przedstawiono uzasadnienie wyboru wskaźników I.15, I.16 oraz I.17, które odgrywają kluczową rolę w ocenie wpływu działań rolniczych na środowisko i gospodarkę zasobami naturalnymi. Charakterystyka wskaźników oddziaływania:

I.15 – Poprawa jakości wody jest jednym z najważniejszych aspektów zrównoważonego rolnictwa, ponieważ nadmierne nawożenie może prowadzić do zanieczyszczenia wód powierzchniowych i podziemnych. Bilans składników pokarmowych brutto na gruntach rolnych umożliwia monitorowanie ilości stosowanych nawozów oraz ich potencjalnego wpływu na wodę. Dzięki temu wskaźnikowi można:

- Ocenic efektywność gospodarowania składnikami odżywczymi.
- Identyfikować obszary wymagające interwencji w celu ograniczenia zanieczyszczeń.
- Promować praktyki rolnicze sprzyjające minimalizacji negatywnego wpływu na środowisko wodne.

I.16 – Wypłukiwanie składników pokarmowych, takich jak azot i fosfor, z gruntów rolnych do wód powierzchniowych przyczynia się do eutrofizacji i degradacji ekosystemów wodnych. Wskaźnik pozwala na ocenę skuteczności działań mających na celu redukcję tego zjawiska. Kluczowe korzyści z monitorowania tego wskaźnika obejmują:

- Możliwość wprowadzania i optymalizacji praktyk rolniczych, takich jak buforowanie brzegów, płodozmian czy ograniczenie stosowania nawozów.
- Zmniejszenie ryzyka powstawania martwych stref w zbiornikach wodnych.
- Wsparcie dla polityk mających na celu ochronę jakości wód poprzez regulacje i zachęty dla rolników.

I.17 – Zrównoważone użytkowanie wody jest kluczowe dla długoterminowej produkcji rolnej oraz ochrony zasobów wodnych. Wskaźnik mierzący zużycie wody, pozwala na:

- Monitorowanie efektywności wykorzystania wody w różnych sektorach rolnictwa.
- Identyfikację obszarów o wysokim zużyciu wody, które mogą wymagać wdrożenia bardziej oszczędnych technologii nawadniania.
- Promowanie praktyk, które minimalizują zużycie wody, takich jak nawadnianie precyzyjne czy uprawy o niższym zapotrzebowaniu wodnym.
- Ocena wpływu zmian klimatycznych na dostępność wody i adaptację do tych zmian poprzez optymalizację gospodarowania zasobami wodnymi.

6. Określenie metod badawczych

6.1. Katalog metod badawczych umożliwiających skalkulowanie wpływu PSWPR (w tym wpływu netto)

6.1.1. Analiza bilansu składników odżywczych dla wskaźników I.15 (Poprawa jakości wody: bilans składników pokarmowych brutto na gruntach rolnych) oraz I.16 (Zmniejszenie wypłukiwania składników pokarmowych)

Zarządzanie bilansami składników odżywczych w rolnictwie jest ważne dla zrównoważonego rozwoju rolnictwa. Dlatego istotne jest, aby rolnicy stosowali odpowiednie praktyki nawożenia, które minimalizują straty składników odżywczych i chronią jakość wody. Regularne monitorowanie bilansów azotu i fosforu oraz dostosowywanie strategii nawożenia do warunków lokalnych może znacząco przyczynić się do poprawy jakości środowiska naturalnego.

Stała nadwyżka azotu może prowadzić do zanieczyszczenia wód gruntowych i powierzchniowych azotanami, emisji N_2O (silny gaz cieplarniany) i NH_3 (przyczyniający się do zakwaszenia). Deficyt azotu może wskazywać na spadek żyzności gleby i inne problemy, takie jak erozja. Bilans azotu brutto wskazuje jedynie potencjalne ryzyko, a rzeczywiste ryzyko zależy od wielu czynników, takich jak warunki meteorologiczne, charakterystyka gleby i praktyki rolnicze. Rzeczywiste ryzyko nadwyżki azotu lepiej odzwierciedlają wskaźniki rolno-środowiskowe Komisji Europejskiej, takie jak emisje amoniaku, emisje gazów cieplarnianych i jakość wody (zanieczyszczenie azotanami). Istnieją trzy podstawowe podejścia do szacowania budżetów składników odżywczych: **budżet gospodarstwa**, **budżet gleby** oraz **budżet terenu**.

Produkcja obornika jest szacowana na podstawie liczby zwierząt i współczynników wydalania. Liczba zwierząt powinna odzwierciedlać średnią liczbę zwierząt obecnych w ciągu roku. Dane na temat bydła, świń, kóz i owiec są dostępne w europejskich statystykach, takich jak roczne statystyki zwierząt gospodarskich, FSS (Farm Structure Survey) i rejestry zwierząt. Ankiety dotyczące zwierząt gospodarskich mogą nie odzwierciedlać dobrze średniej liczby zwierząt, ponieważ odnoszą się do konkretnego dnia, co oznacza, że potomstwo może nie być dobrze uwzględnione, jednak można wprowadzić korektę we współczynnikach wydalania, aby uwzględnić potomstwo. W przypadku drobiu i innych zwierząt dane są mniej dostępne. Niektóre rodzaje drobiu i koniowatych są liczone w FSS, kraje mogą mieć inne źródła danych do szacowania liczby drobiu i innych rodzajów zwierząt. Ponieważ obornik jest dużym wkładem w bilans, współczynniki wydalania mają duży wpływ na ostateczny wynik. Współczynniki wydalania różnią się znacznie między krajami, częściowo odzwierciedlając

różnice w praktykach rolniczych, a częściowo różnice wynikają z zastosowanej metodologii i dostępności danych do obliczania współczynników.

Większość krajów nie ma danych lub ma tylko ograniczone dane na temat wycofania obornika. Dane dotyczące obornika w przypadku Polski można pozyskać z Głównego Urzędu Statystycznego. Jednak ich rozdzielczość jest ograniczona do poziomu województw. W przypadku znaczących wycofań może to prowadzić do pewnego przeszacowania wkładu obornika. Handel obornikiem odbywa się głównie z krajów o dużej nadwyżce do krajów sąsiednich. Dokładne ilości, które trafiają do poszczególnych krajów, nie są znane. Import obornika prawdopodobnie stanowi mniej niż 5% całkowitego wkładu obornika w bilansie azotu. Biologiczne wiązanie azotu przez rośliny strączkowe jest obliczane na podstawie powierzchni upraw roślin strączkowych i współczynników wiązania. Dane na temat powierzchni upraw roślin strączkowych są zazwyczaj dostępne w statystykach użytkowania gruntów. Istnieje duża różnorodność współczynników biologicznego wiązania azotu przez rośliny strączkowe między krajami, częściowo odzwierciedlająca różnice w klimacie, a częściowo wynikająca z zastosowanej metodologii (pomiar, badania naukowe, opinie ekspertów). Atmosferyczna depozycja azotu jest szacowana na podstawie danych o użytkowaniu gruntów i wskaźników depozycji. W przypadku Polski dane na temat roślin wiążących azot można uzyskać z systemu danych ISAMM_GREENINGS, dotyczącego Ecological Focus Area. Jednakże dane te mają ograniczoną przydatność i najczęściej odnoszą się do poziomu całego kraju. Niektóre kraje corocznie aktualizują wskaźniki depozycji. Kraje stosują różne metodologie do szacowania wskaźników depozycji (modele, pomiar, opinie ekspertów, badania naukowe). Dane na temat krajowej depozycji azotu powinny być dostępne dla wszystkich sygnatariuszy Konwencji UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) o dalekosiężnym transgranicznym zanieczyszczeniu powietrza. Modelowane dane są również dostępne z EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme). Dostępne dane pokazują, że udział nasion i materiału siewnego w całkowitym wkładzie azotu wynosi <2%. Jest to również mało istotne dla bilansu fosforu (<5% całkowitego wkładu fosforu). Dane na temat zebranych upraw są dostępne w europejskich statystykach, rocznych statystykach produkcji roślinnej. Współczynniki zawartości składników odżywczych w produkcji roślinnej różnią się między krajami, częściowo odzwierciedlając różnice w praktykach rolniczych i klimacie, a częściowo wynikające z zastosowanej metodologii (pomiar, badania naukowe, opinie ekspertów). Konieczne jest przeglądanie współczynników używanych w odniesieniu do nawozów i obornika oraz klimatu.

Dostępne dane pokazują, że udział resztek roślinnych w całkowitym wydatku azotu i fosforu jest niższy niż 3,5% (średnia 2000-2014). Wpływ brakujących danych na temat resztek roślinnych na bilans składników odżywczych brutto jest więc prawdopodobnie niewielki.

Szacunki dotyczące produkcji i konsumpcji użytków zielonych mają duży wpływ na wynik bilansu. Obecnie podejścia do szacowania produkcji i konsumpcji użytków zielonych znacznie różnią się między krajami, a niepewność w szacunkach jest znaczna. Produkcja użytków zielonych obejmuje świeżą masę, kiszonkę z trawy, siano i trawę wypasaną przez przeżuwacze. Plon i zawartość składników odżywczych w użytkach zielonych można oszacować na podstawie pomiarów, badań naukowych i opinii ekspertów. Konsumpcję użytków zielonych można również oszacować na podstawie bilansu paszowego, opartego na wymaganiach żywieniowych i statystykach dotyczących innych pasz. Szacowanie trawy wypasanej jest szczególnie trudne. Dane są w wielu krajach tylko częściowo dostępne (w odniesieniu do obszarów użytków zielonych i uwzględnionych produktów). Istnieje potrzeba poprawy szacunków dotyczących produkcji i konsumpcji użytków zielonych. Dane na temat użytkowanej powierzchni rolniczej są dostępne w statystykach upraw Eurostat. Metoda oceny zawartości biogenów brutto obejmuje:

Parametry wejścia (wniesienie składników odżywczych):

- **Nawozy** (mineralne, zawierające lub uwalniające składniki odżywcze w postaci mineralnej, inne niż nawozy organiczne lub organiczno-mineralne) i organiczne (zawierające węgiel organiczny i składniki odżywcze wyłącznie pochodzenia biologicznego, w tym nawozy organiczno-mineralne).
- **Obornik** (odchody zwierząt gospodarskich lub mieszanina ściółki, moczu i odchodów, przed przetwarzaniem, bierze się pod uwagę produkcję, import, zmiany w zapasach).
- **Materiał siewny i sadzeniowy.**
- **Biologiczne wiązanie azotu** (tylko dla obliczenia bilansu azotowego przez rośliny strączkowe; procesy przekształcania azotu cząsteczkowego w powietrzu w amoniak (NH_3) lub podobne związki azotu w glebie) oraz organizmy wolno żyjące.
- **Depozycja atmosferyczna** (procesy, w których cząsteczki azotu przenoszone drogą powietrzną i azot gazowy zostają zdeponowane w glebie, roślinności, wodach i na innych powierzchniach w wyniku opadów (mokra depozycja azotu) lub złożonych procesów atmosferycznych (sucha depozycja azotu).

Parametry wyjścia (wyniesienie składników odżywczych):

- **Całkowite straty azotu wraz ze zbiorem upraw** (zboża, suche rośliny strączkowe, rośliny okopowe, rośliny przemysłowe, warzywa, owoce, rośliny ozdobne, inne zebrane uprawy);
- **Całkowite straty azotu** wraz ze zbiorem upraw oraz zastosowaniem paszy (trwałe użytki zielone i pasza z gruntów ornych, w tym użytki zielone czasowe);

- **Obecność resztek roślinnych** (części roślin, których nie zbiera się jako głównych produktów roślinnych, mogą być pozostawione na polu lub zebrane).

6.1.2. Znaczenie operacyjne analizy bilansu składników odżywczych

Bilans brutto ocenia całkowity potencjał składników odżywczych w glebie, co jest ważne dla planowania nawożenia. Kluczowa jest jednak ocena netto, która uwzględnia straty składników odżywczych, pozwalając na precyzyjne i efektywne stosowanie nawozów, minimalizując negatywny wpływ na środowisko.

Bilans azotu brutto obejmuje wkłady i wydatki azotu w glebie. Głównym wskaźnikiem jest nadwyżka azotu brutto (ang. gross nitrogen surplus; GNS), obliczana jako różnica między całkowitymi wkładami, a wydatkami azotu. GNS można wyrazić w kg N na ha na rok. Bilans ten informuje o związkach między rolniczym wykorzystaniem azotu, a jego stratami do środowiska. Nadwyżka wskazuje na potencjalne problemy środowiskowe, takie jak emisje amoniaku, wymywanie azotanów czy emisje podtlenku azotu. Deficyt wskazuje na ryzyko spadku żyzności gleby. GNS składa się z emisji azotu do powietrza oraz wymywania do wody. Może być podzielony na atmosferyczny nadmiar azotu (ang. atmospheric gross nitrogen surplus; aGNS) i hydrologiczny/hydrosferyczny nadmiar azotu (ang. hydrologic gross nitrogen surplus; hGNS). Wskaźnik hGNS jest różnicą między GNS, a aGNS i może być użyty do oceny potencjalnego ryzyka zanieczyszczenia wód azotanami.

Czynniki brane pod uwagę w obliczeniach bilansu powinny pokazywać, ile składników odżywczych zostało pobranych przez uprawy, pasze oraz resztki roślinne usunięte z pola. Natomiast sekcja, gdzie podaje się czynniki dostarczania bilansu, uwzględniać musi cały azot, który został dostarczony do gleby. Aby utrzymać żyzność gleby, usunięcie składników odżywczych powinno być kompensowane przez dostarczenie takiej samej ilości składników odżywczych. Nie cały azot z nawozów i obornika dociera do roślin, część jest tracona. Plony zależą od wielu czynników, w tym pogody. Ryzyko wymywania i spływu azotu zależy od rodzaju gleby, opadów, nasycenia gleby, temperatury itp. Wskaźnik bilansu azotu brutto przedstawia związek między działalnością rolniczą a wpływem na środowisko oraz identyfikuje czynniki determinujące nadwyżkę azotu.

Równanie 1 pokazuje zależność między GNS, aGNS i hGNS. aGNS można bezpośrednio oszacować na podstawie danych o emisjach. Wskaźnik hGNS nie można oszacować bezpośrednio, więc jest obliczany jako różnica między GNS, a aGNS. Wskaźnik hGNS to część GNS, która może stanowić zagrożenie dla środowiska wodnego z powodu wymywania i spływu. Obejmuje to zmiany w zasobach azotu w glebie oraz emisje azotu do powietrza po wymyciu i spływie, a także bezpośrednie emisje N₂. Oto równania, które są używane do liczenia i szacowania budżetu substancji odżywczych:

Równanie 1: $GNS = aGNS + hGNS$; **Równanie 2:** $hGNS = GNS - aGNS$

Analiza bilansu składników odżywczych polega na obliczaniu bilansu netto dla składników takich jak azot i fosfor. Bilans składników odżywczych obejmuje ocenę wprowadzenia składników do gleby (poprzez nawozy, osady ściekowe, kompost) oraz ich utrat (poprzez wypłukiwanie, erozję, emisję gazów). Zawartość netto to ilość składników odżywczych dostępnych dla roślin po uwzględnieniu strat, takich jak ulatnianie się azotu czy wymywanie fosforu. Bilans netto azotu oblicza się, odejmując emisję azotu od bilansu azotu brutto (GNB). Bilans na hektar użytkowanej powierzchni rolniczej również jest przedstawiany. Całkowite wkłady i wydatki składników odżywczych do bilansu (z wyjątkiem nawozów mineralnych) są obliczane przez pomnożenie współczynnika przez współczynnik, który reprezentuje wpływ w kategoriach składników odżywczych (np. zawartość składników odżywczych w kg N lub P na tonę, współczynnik wydalania w kg N lub P na głowę). Współczynniki obejmują zużycie nawozów nieorganicznych i innych nawozów organicznych (z wyłączeniem obornika) (tony), populację zwierząt gospodarskich (1000 głów), import, eksport i wycofanie obornika (tony), produkcję upraw i pasz (tony), resztki roślinne usunięte z pola (tony) oraz użytkowaną powierzchnię rolniczą. Tam, gdzie to możliwe, współczynniki te są bezpośrednio pobierane ze statystyk dotyczących produkcji roślinnej (kategorie roślin uprawnych zdefiniowane w rozporządzeniu wykonawczym Komisji (UE) 2023/1538 z dnia 25 lipca 2023 r.) i zwierzęcej (kategorie zwierząt gospodarskich (zdefiniowane w rozporządzeniu wykonawczym Komisji (UE) 2023/2745 z dnia 8 grudnia 2023 r.). Współczynniki są szacowane przez kraje na podstawie różnych metod, w tym pomiarów, badań naukowych, modelowania, opinii ekspertów i wartości domyślnych. Dane na temat nawozów organicznych i organicznych w przypadku Polski można uzyskać z Głównego Urzędu Statystycznego, natomiast dane o zwierzętach gospodarskich posiada Agencja Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa. W idealnej definicji dla obliczenia aGNS uwzględnione są wszystkie bezpośrednie i natychmiastowe emisje NH_3 , NO, N_2O z następujących źródeł emisji:

- budynków inwentarskich
- używanego obornika
- magazynowania obornika
- aplikacji obornika
- obornika pozostawionego na pastwiskach
- aplikacji nawozów mineralnych
- aplikacji innych nawozów organicznych
- resztek roślinnych

- spalania odpadów rolniczych na polach

Wkład i wydatek azotu szacuje się dla każdego elementu bilansu na podstawie danych podstawowych, mnożąc je przez współczynniki przeliczające na zawartość azotu. Dane podstawowe (zużycie nawozów, liczba zwierząt gospodarskich, produkcja roślinna, powierzchnia rolnicza) pochodzą głównie ze statystyk rolniczych. Współczynniki są szacowane przez instytuty badawcze i mogą być oparte na modelach, danych statystycznych, pomiarach oraz opiniach ekspertów.

Warunki klimatyczne wpływają na bilans poprzez wpływ na plony, a tym samym na wydatek azotu. Klimat i pogoda są poza kontrolą rolnika. Zarządzanie bilansami składników odżywczych w rolnictwie jest ważne dla zrównoważonego rozwoju. Dlatego rolnicy powinni stosować odpowiednie praktyki nawożenia, które minimalizują straty składników odżywczych i chronią jakość wody. Regularne monitorowanie bilansów azotu i fosforu oraz dostosowywanie strategii nawożenia do warunków lokalnych może znacząco poprawić jakość środowiska. Ponieważ hGNS jest szacowany jako różnica między GNS, a aGNS, nie może on dokładnie wskazać zanieczyszczenia wód azotanami. Obecnie zmiany w zasobach nie mogą być oszacowane, więc nie są uwzględniane po stronie wyjściowej budżetu i są włączone do GNS. Wskaźnik hGNS obejmuje zmiany zasobów w glebie, emisje azotu do atmosfery, pośrednie emisje po wymyciu i spływie oraz bezpośrednie emisje N_2 . Wskaźnik hGNS może być używany jedynie, jako wskaźnik potencjalnego ryzyka zanieczyszczenia wód azotem.

Budżet fosforu (PB) szacuje nadmiar fosforu (ang. phosphorus surplus, nadwyżka w saldzie). Nadwyżka stanowi wskaźnik całkowitego potencjalnego ryzyka, jakie rolnictwo związane z fosforem stwarza dla środowiska (wymywanie fosforu i spływ do wód) oraz wyczerpywania/akumulacji fosforu w glebie. Utrzymujący się nadmiar fosforu wskazuje na potencjalne ryzyko wymywania fosforu i spływu do wód oraz zwiększania zasobów fosforu w glebie. Może to prowadzić do problemów środowiskowych, takich jak zanieczyszczenie wód gruntowych i powierzchniowych fosforanami. Utrzymujący się deficyt fosforu wskazuje na potencjalne ryzyko spadku żyzności gleby, co może również prowadzić do innych problemów związanych z glebą, takich jak erozja wodna. Ważne jest, aby zauważyć, że budżet fosforu może jedynie wskazywać potencjalne ryzyko dla środowiska. Rzeczywiste ryzyko wymywania fosforu, spływu lub zmian w zasobach fosforu w glebie zależy od wielu czynników, takich jak warunki meteorologiczne, charakterystyka gleby, praktyki zarządzania rolników itp. Nie wszystkie te czynniki są uwzględniane w szacowaniu budżetu fosforu. Obecnie nie są dostępne dane dotyczące stanu i akumulacji lub wyczerpywania zasobów fosforu w glebie. Należy również zauważyć, że akumulacja fosforu w czasie stanowi większe rzeczywiste ryzyko dla środowiska niż ilość fosforu stosowana rocznie lub nadmiar w dzisiejszym bilansie. Jest to w przeciwieństwie do azotu, dla którego kumulatywny nadmiar azotu z przeszłości jest znacznie

mniej istotny, ponieważ azot prawie nie gromadzi się w glebach. Jednak przyszłe ryzyko związane z fosforem dla środowiska jest silnie związane z dzisiejszym i najbliższym nadmiarem fosforu, w połączeniu ze zdolnością gleby do wiązania fosforu. Dlatego budżet fosforu sam w sobie nie jest wystarczający do wskazania obszarów zagrożonych zanieczyszczeniem fosforem. W związku z tym, aby ocenić ryzyko zanieczyszczenia fosforem, Komisja Europejska opracowuje dodatkowy wskaźnik wspierający ocenę fosforu „Wrażliwość na wymywanie/spływ fosforu”.

Tabela 6. Zestawienie parametrów do wyliczenia bilansu budżetu netto dla azotu.

Budżet azotu	Aktualny GNB	Idealny GNB	Praktyczny GNB
PARAMETRY WEJŚCIA			
N1) Nawozy mineralne	N1) Nawozy mineralne	N1) Nawozy mineralne	N1) Nawozy mineralne
N2) Produkcja obornika	N2) Produkcja obornika	N2) Produkcja obornika	N2) Produkcja obornika
N3) Netto import/eksport obornika, wycofania, zapasy	N3) Netto import/eksport obornika, wycofania, zapasy	N3) Netto import/eksport obornika, wycofania, zapasy	N3) Netto import/eksport obornika, wycofania
N4) Inne nawozy organiczne	N4) Inne nawozy organiczne	N4) Inne nawozy organiczne	N4) Inne nawozy organiczne
N5) Biologiczne wiązanie azotu	N5) Biologiczne wiązanie azotu	N5) Biologiczne wiązanie azotu	N5) Biologiczne wiązanie azotu
N6) Depozycja atmosferyczna azotu	N6) Depozycja atmosferyczna azotu	N6) Depozycja atmosferyczna azotu	N6) Depozycja atmosferyczna azotu
N7) Nasiona i materiał siewny	N7) Nasiona i materiał siewny	N7) Nasiona i materiał siewny	N7) Nasiona i materiał siewny
N8) Wkłady resztek roślinnych	-----	N8) Wkłady resztek roślinnych	-----
N9) Całkowita wartość wniesienia = suma (N1, N2, N3, N4, N5, N6, N7)	N10) Całkowita wartość wniesienia = suma (N1, N2, N3, N4, N5, N6, N7, N8)	N11) Całkowite wartość wniesienia = suma (N1, N2, N3, N4, N5, N6, N7)	-----
PARAMETRY WYJŚCIA			
N12) Produkcja upraw	N12) Produkcja upraw	N12) Produkcja upraw	N12) Produkcja upraw
N13) Produkcja paszy	N13) Produkcja paszy	N13) Produkcja paszy	N13) Produkcja paszy
N14) Wydatki resztek roślinnych	N14) Wydatki resztek roślinnych	N16) Usunięcie resztek roślinnych	-----
N15) Zmiany zapasów azotu w glebie	-----	N15) Zmiany zapasów azotu w glebie	-----
N17) Całkowite wartość wyniesienia = suma (N12, N13, N14)	N18) Całkowite wartość wyniesienia = suma (N12, N13, N14, N15)	N19) Całkowite wartość wyniesienia = suma (N12, N13, N16)	-----

NADWYŻKA

N20) GNS = N9 - N17	N21) GNS = N10 - N18	N24) GNS = N11 - N19	-----
N22) aGNS = Emisje gazów azotowych	N22) aGNS = Emisje gazów azotowych	-----	-----
N23) hGNS = N21 - N22	N25) hGNS = N24 - N22	-----	

Źródło: Eurostat (2013). Nutrient Budgets – Methodology and Handbook. Version 1.02. Eurostat and OECD, Luxembourg

Dla idealnej metodologii, zmiany w zasobach azotu w glebie są uwzględniane po stronie wyjściowej budżetu składników odżywczych. Zastosowanie operacyjne dotyczy nawożenia, plonowania, warunków glebowych oraz ocenę danych klimatycznych. Najczęściej ten proces składa się z kilku etapów, gdzie ocena wprowadzenia i utraty składników odżywczych następuje za pomocą odpowiednich wzorów i modeli. Analiza wyników bilansu w kontekście efektywności gospodarowania składnikami odżywczymi i wpływu na środowisko jest przedstawiona w Tabeli 6.

Idealny budżet uwzględnia wszystkie przepływy składników odżywczych do i z gleby, w tym resztki roślinne. Efektywność wykorzystania składników odżywczych jest szacowana jako stosunek wejść do wyjść. W praktycznej implementacji nie uwzględnia się korzystnego wpływu resztek roślinnych pozostawionych na polu. Należy podać definicje używanych terminów, aby zapewnić jasność i spójność w całym dokumencie. W dalszej kolejności należy zdefiniować przepływ składników odżywczych zarówno w idealnym, jak i praktycznym GNB (Gross Nutrient Balancet) oraz PB (Phosphorus Balance) w odniesieniu do badanego obszaru, regionu lub kraju. Podano szczegółowe wytyczne dotyczące praktycznej implementacji, w tym minimalne wymagania dotyczące zebranych danych. Dla niektórych przepływów wytyczne mogą nie być ostateczne, ponieważ oczekuje się ich poprawy w przyszłości. Można sprawdzić różnice w stosunku do podręczników OECD/Eurostat z 2007 roku, aby wskazać zmiany i aktualizacje w podejściu. Należy uwzględnić spójność między podręcznikiem a wytycznymi IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) i EMEP/EEA (European Monitoring and Evaluation Programme/European Environment Agency). Ze względu na różnice w definicji rolnictwa między podręcznikiem a IPCC i EMEP/EEA, dla niektórych przepływów dane raportowane w GNB mogą nieznacznie różnić się od danych raportowanych do UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) i UNECE (United Nations Economic Commission for Europe). Te różnice powinny być omówione. Należy pamiętać, żeby opisać domyślną procedurę szacowania, którą zastosuje Eurostat w przypadku, gdy kraj nie może dostarczyć wymaganych danych. Według Komisji Europejskiej należy oczekiwać, że szacunki GNB i PB zostaną poprawione w nadchodzących latach pod względem jakości danych, dostępności danych, definicji itp.

Szczegółowa metodyka bilansu fosforowego jest podobna do metodyki bilansu azotu (Tabela 7), z tą różnicą, że w bilansie azotu uwzględnia się również rośliny wiążące azot oraz organizmy wolno żyjące (np. sinice na polach ryżowych, heterotroficzne bakterie diazotroficzne i autotroficzne bakterie). Większość krajów korzysta z danych opartych na sprzedaży oraz statystykach produkcji i handlu, choć niektóre używają ankiet rolników. Dane te mogą być obarczone błędem, gdyż uwzględniają nawozy nieużywane w rolnictwie (np. do użytku prywatnego, publicznego, materiały wybuchowe, produkty pośrednie). Wiarygodność ankiet rolników zależy od projektu i wielkości próby. Dane na temat nawozów organicznych (z wyłączeniem obornika) są dostępne tylko w niektórych krajach.

Tabela 7. Zestawienie parametrów do wyliczenia bilansu budżetu netto dla fosforu.

Budżet fosforu	Aktualny PB	Idealny PB	Praktyczny PB
PARAMETRY WEJŚCIA			
P1) Nawozy mineralne	P1) Nawozy mineralne	P1) Nawozy mineralne	P1) Nawozy mineralne
P2) Produkcja obornika	P2) Produkcja obornika	P2) Produkcja obornika	P2) Produkcja obornika
P3) Netto import/eksport obornika, wycofania, zapasy	P3) Netto import/eksport obornika, wycofania, zapasy	P3) Netto import/eksport obornika, wycofania, zapasy	P3) Netto import/eksport obornika, wycofania
P4) Inne nawozy organiczne	P4) Inne nawozy organiczne	P4) Inne nawozy organiczne	P4) Inne nawozy organiczne
P6) Depozycja atmosferyczna fosforu	P6) Depozycja atmosferyczna fosforu	P6) Depozycja atmosferyczna fosforu	-----
P7) Nasiona i materiał siewny	P7) Nasiona i materiał siewny	P7) Nasiona i materiał siewny	P7) Nasiona i materiał siewny
P8) Wkłady resztek roślinnych	-----	P8) Wkłady resztek roślinnych	-----
P9) Całkowita wartość wniesienia = suma (P1, P2, P3, P4, P6, P7)	P10) Całkowite wartość wniesienia = suma (P1, P2, P3, P4, P6, P7, P8)	P11) Całkowite wartość wniesienia = suma (P1, P2, P3, P4, P7)	-----
PARAMETRY WYJŚCIA			
P12) Produkcja upraw	P12) Produkcja upraw	P12) Produkcja upraw	P12) Produkcja upraw
P13) Produkcja paszy	P13) Produkcja paszy	P13) Produkcja paszy	P13) Produkcja paszy
P14) Wydatki resztek roślinnych	P14) Wydatki resztek roślinnych	P16) Usunięcie resztek roślinnych	-----
P15) Zmiany zapasów fosforu w glebie	-----	P15) Zmiany zapasów fosforu w glebie	-----
P17) Całkowite wartość wyniesienia = suma (P12, P13, P14)	P18) Całkowite wartość wyniesienia = suma (P12, P13, P14, P15)	P19) Całkowite wartość wyniesienia = suma (P12, P13, P16)	-----
NADWYŻKA			
P20) PS = P9 - P17	P21) PS = P10 - P18	P22) PS = P11 - P19	-----

Źródło: Eurostat (2013). *Nutrient Budgets – Methodology and Handbook*. Version 1.02. Eurostat and OECD, Luxembourg

6.1.3. Ocena wpływu netto PS WPR na wybrane czynniki sukcesu za pomocą sporządzonych wskaźników oddziaływania

Krok 1: Ustalanie punktu wyjściowego

Zbieranie danych o poziomach wskaźników I.15, I.16, I.17 przed wdrożeniem PS WPR.

Dane referencyjne mogą pochodzić z krajowych raportów środowiskowych, bazy danych Eurostat lub lokalnych analiz hydrologicznych.

Określenie specyficznych obszarów (regionów, dorzeczy, typów gospodarstw) jako punktów odniesienia.

Krok 2: Monitorowanie zmian wskaźników

Regularne pomiary wskaźników oddziaływania po wdrożeniu PS WPR, takich jak:

Ilość stosowanych nawozów (dla I.15).

Stopień wypłukiwania azotu i fosforu do wód powierzchniowych (dla I.16).

Zużycie wody w rolnictwie w różnych regionach (dla I.17).

Analiza danych w perspektywie rocznej w celu wykrycia trendów i efektów krótkoterminowych oraz długoterminowych.

Krok 3: Izolowanie wpływu netto PS WPR

Metoda kontrfaktyczna: Porównanie wyników regionów lub gospodarstw objętych interwencjami PS WPR (np. dopłaty na praktyki zrównoważone) z grupą kontrolną.

Modelowanie przyczynowo-skutkowe:

Analiza różnic w poziomach wskaźników przed i po wdrożeniu interwencji, z uwzględnieniem różnic między grupą interwencyjną a kontrolną.

GIS i modele hydrologiczne: Ocena przestrzennego rozkładu zanieczyszczeń i zmian w zużyciu wody na poziomie regionów lub dorzeczy.

Krok 4: Analiza powiązań z czynnikami sukcesu

I.15: Ocena, w jakim stopniu redukcja stosowania nawozów przekłada się na poprawę jakości wody, szczególnie w obszarach priorytetowych zagrożonych eutrofizacją.

I.16: Weryfikacja skuteczności działań ograniczających spływ zanieczyszczeń, takich jak tworzenie stref buforowych wzdłuż cieków wodnych, wdrażanie płodozmianu czy optymalizacja stosowania nawozów, w celu ochrony ekosystemów wodnych.

I.17: Analiza, czy zastosowanie technologii prowadzi do bardziej efektywnego wykorzystania zasobów wodnych, oszczędności w zużyciu wody oraz zmniejszenia presji na jej dostępność w regionach o wysokim zapotrzebowaniu.

Analiza zmian wskaźników I.15, I.16 i I.17 powinna być powiązana z kluczowymi czynnikami sukcesu w zakresie zrównoważonego zarządzania zasobami naturalnymi, poprawy bilansu składników odżywczych i zmniejszenia presji na zasoby wodne. Zmiany wskaźników I.15, I.16 i I.17 należy analizować w kontekście ich wkładu w realizację czynników sukcesu.

6.1.4. Metodyka kartowania przestrzennego nawozów azotowych i fosforowych w UE

Aby uprościć obliczenia dotyczące składników odżywczych, bierze się pod uwagę główne źródła, takie jak:

- Użycie nawozów (wlicza się zarówno nawozy azotowe, jak i fosforowe).
- Obornik, jako naturalne źródło składników odżywczych.
- Biologiczne wiązanie azotu (proces, w którym niektóre rośliny przekształcają azot z powietrza w formy przyswajalne dla innych roślin).
- Depozycja atmosferyczna (ilość azotu, która dociera na ziemię z atmosfery).

Na tej podstawie oblicza się nadmiar lub niedobór składników odżywczych, bez uwzględniania dalszego wchłaniania przez środowisko, jak np. wymywanie czy emisje. Kluczowe dane wykorzystywane w modelu EEA (Tabela 8):

Tabela 8. Czynniki brane pod uwagę do ustalenia rozmieszczenia przestrzennego nawozów azotowych i fosforowych w UE.

Kluczowe dane wykorzystywane w modelu EEA	Opis
Użytkowanie terenu	Użytki zielone i uprawy na gruntach ornych.
Grupy upraw	Grunty są dzielone na 10 głównych grup roślin (np. zboża, rośliny oleiste, owoce) z danymi z CAPRI (Common Agricultural Policy Regional Impact Analysis) modelu używanego do analizy wpływu wspólnej polityki rolnej na produkcję rolną i środowisko w skali do 1 km x 1 km.
Stosowanie nawozów	Dane z FAOSTAT są dostępne na poziomie krajowym na powierzchni 1 km x 1 km.
Liczba zwierząt hodowlanych	Dane Eurostatu z dysagregacją (rozdzieleniem) do 1 km x 1 km, obejmujące różne gatunki zwierząt.
Wskaźniki wydalania (ekskrecji)	Określają, ile azotu i fosforu wydalają zwierzęta, z danymi z OECD i Eurostatu, dostosowanymi do rozmieszczenia zwierząt (np. krowy, owce, świnie, drób).

Kluczowe dane wykorzystywane w modelu EEA	Opis
Wskaźniki biologicznego wiązania azotu (BNF)	Ustalają, ile azotu jest wiązane w gruntach ornych i łąkach (średnio 4 kg N/ha/rok).
Depozycja azotu	Ilość azotu docierającego z atmosfery, z danymi modelu EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme), czyli programu monitorowania i oceny jakości powietrza w Europie, w skali do 1 km x 1 km.
Depozycja fosforu	(pomijamy, gdy dane są niedostępne)
Plony upraw	Statystyki Eurostatu dotyczące plonów głównych grup roślin, dysagregowane do 1 km x 1 km. Te dane są następnie szczegółowo analizowane i rozdzielane według systemu CAPRI, który dzieli obszary na jednostki HSMU (High Spatial Mapping Units).
Zawartość azotu i fosforu w uprawach	Ilości tych składników w różnych roślinach, zbierane na poziomie krajowym. Dane te mogą być wykorzystane do oceny efektywności nawożenia i zarządzania glebą, a także do planowania upraw w sposób, który minimalizuje negatywny wpływ na środowisko.

Metodyka mapowania azotu do gleb rolniczych opierała się na wieloetapowym procesie integracji i analizy różnorodnych danych związanych z działalnością rolniczą oraz środowiskiem. W pierwszym etapie zbierane są dane z różnych źródeł, takich jak dystrybucja upraw, liczba zwierząt gospodarskich, plony oraz statystyki dotyczące zwierząt. Zbierane informacje obejmują również współczynniki konwersji. Analiza obejmuje konkretny rok oraz zmiany w monitorowanych latach, a dane pozyskiwane są poprzez badania terenowe, obserwacje satelitarne oraz analizy baz danych rolniczych. Zebrane dane są integrowane w spójną bazę danych geo-przestrzennej. Ustalane są parametry analizy, takie jak zakres czasowy (analiza roczna i kilkuletni trend), jednostki pomiaru (kg N/ha/rok) oraz rozdzielczość przestrzenna (1 km x 1 km). W fazie modelowania uwzględniane są różnorodne czynniki wpływające na przyrost azotu, takie jak rodzaj stosowanych nawozów, metody uprawy oraz warunki klimatyczne. Analiza bierze pod uwagę sezonowe zmiany praktyk rolniczych oraz zmiany w technologii nawożenia. Obliczenia dotyczą przyrostu lub zmniejszenia azotu dla komórek o powierzchni 1 km x 1 km (uwzględnienie czynników korekcyjnych), a wyniki są porównywane z danymi z wybranego roku. Ostateczne wyniki są weryfikowane poprzez porównanie z innymi danymi, co pozwala na ocenę ich wiarygodności i dokładności. Na zakończenie procesu tworzone są mapy przedstawiające całkowity przyrost azotu w glebach rolniczych. Mapy te mają na celu wizualizację oraz analizę wyników w skali Unii Europejskiej. Taki schemat pozwala na systematyczne podejście do mapowania azotu w glebach rolniczych, zapewniając kompleksowe zrozumienie tego procesu:

6.1.5. Metodyka do określenia bilansu składników pokarmowych brutto na terenach rolnych oraz poprawy jakości wody powierzchniowej i gruntowej.

Modele oparte na procesach

Symulują interakcje między komponentami systemu, uwzględniając mechanizmy rządzące procesami. Wymagają obszernych danych, ale wykazują wysoką dokładność oraz możliwość przewidywania zachowań systemu. SWAT (Soil and Water Assessment Tool) i Dynamo mogą być użyteczne w ocenie I.15 (Poprawa jakości wody: bilans składników pokarmowych brutto na gruntach rolnych) oraz I.16 (Zmniejszenie wypłukiwania składników pokarmowych). Oba modele potrafią w sposób dokładny analizować przepływy składników pokarmowych w ekosystemach rolniczych. SWAT oferuje ograniczone możliwości obliczeń netto ze względu na specyfikację modelu, która jest skomplikowana. Niektóre parametry wejściowe i elementy stosowane w modelu powinny być pominięte lub zredukowane, co sprawia, że model ten nie jest zalecany do bilansu netto. Zarówno SWAT, jak i Dynamo są odpowiednie do bilansu brutto składników odżywczych. Oferują one solidne narzędzia do analizy i oceny wpływu praktyk rolniczych na środowisko.

Tabela 9. Przykłady modeli opartych na procesach.

Model	Opis	Źródło	Rekomendowane dla wskaźnika oddziaływania
SWAT	Symuluje hydrologię, transport osadów, obieg składników pokarmowych i wzrost roślin.	Neitsch i inni, 2011	I.15, I.16.
DYNAMO	Skupia się na obiegu i transporcie składników pokarmowych.	Ferrier i inni, 1998	I.15, I.16.
EPIC	Symuluje erozję gleby, straty składników pokarmowych i ilość plonów.	Lychuk i inni, 2015	I.15, I.16.

Modele empiryczne

Oparte na statystycznych zależnościach między stratami składników a czynnikami środowiskowymi. Wymagają mniej danych, gdyż są prostsze w użyciu.

Tabela 10. Przykłady modeli empirycznych.

Model	Opis	Źródło	Rekomendowane dla wskaźnika oddziaływania
RUSLE	Szacuje erozję gleby na podstawie opadów, nachylenia terenu itp.	Wischmeier & Smith, 1965	Nie rekomendowany w tym zakresie
GLEAMS	Szacuje straty składników z pól na podstawie praktyk zarządzania i klimatu.	Knisel i Douglas-Mankin, 2012	I.15, I.16
PRZM	Szacuje straty pestycydów z pól w oparciu o właściwości gleby.	Chen i inni, 2017	I.15, I.16

Do analizy statystycznej wybrano parametry (Tabela 11), które mogą wpłynąć na ukierunkowanie polityki PS WPR na polepszenie jakości wody gruntowej i powierzchniowej. Zmienna WEI+ mierzy zużycie wody w stosunku do odnawialnych zasobów słodkowodnych, co jest istotne dla zarządzania irygacją i nawożeniem na terenach rolniczych.

Wysoka intensyfikacja rolnictwa wymaga precyzyjnego zarządzania nawozami, aby unikać zanieczyszczenia wód gruntowych. Rolnictwo ekologiczne ogranicza stosowanie nawozów chemicznych, zmniejszając ryzyko zanieczyszczeń wodnych. Zarządzanie nadmiarem azotu i fosforu ma kluczowe znaczenie dla ochrony jakości wód i gleb. Zalesienie terenów ornych i wprowadzenie międzyplonów pomaga ograniczyć erozję i wypłukiwanie składników odżywczych, poprawiając jakość wód.

Dodatkowo, trwałe użytki zielone mogą zatrzymać składniki odżywcze w glebie i ograniczyć erozję, co pozytywnie wpływa na zarządzanie nawozami. Obszary objęte programem Natura 2000 wymagają szczególnej troski w zakresie zarządzania nawozami, aby chronić różnorodność biologiczną i zasoby wodne. Zalesienie gruntów ornych może redukować odpływ składników odżywczych i poprawiać jakość wód. Międzyplony mogą ograniczać wypłukiwanie składników odżywczych z gleby, co pomaga w ich skuteczniejszym zarządzaniu. Elementy krajobrazu, takie jak żywopłoty i stawy, mogą zatrzymywać składniki odżywcze i wodę, zmniejszając ryzyko ich utraty z gleb.

11. Zmienne wyselekcjonowane do analizy statystycznej w celu opracowania metodyki do określenia bilansu składników pokarmowych na terenach rolnych oraz poprawy jakości wód powierzchniowych i gruntowych.

Zmienna	Jednostka	Definicja	Znaczenie dla zarządzania składnikami odżywczymi na terenach rolniczych	Znaczenie dla gospodarki wodnej
WEI+ (wskaźnik eksploatacji zasobów wodnych)	%	Stosunek zużycia wody słodkiej do odnawialnych zasobów wód słodkich w danym regionie to WEI. Wskaźnik eksploatacji wody plus (WEI+) mierzy zużycie wody, jako odsetek odnawialnych zasobów słodkowodnych dostępnych na poziomie zlewni rzecznych i w każdym z czterech kwartałów roku (3 kolejne miesiące).	Wysoki wskaźnik WEI + oznacza większe zapotrzebowanie na wodę, co może prowadzić do bardziej intensywnego zarządzania irygacją i nawożeniem. Zmniejszenie presji na zasoby wodne poprzez optymalizację zużycia wody i nawozów będzie miało znaczenie w regionach o wysokim wskaźniku WEI+ i narażonych na suszę rolniczą.	WEI+ uwzględnia też różnice między abstrahowaniem wody, a jej powrotem do środowiska, co pozwala na dokładniejsze określenie rzeczywistego zużycia wody. Jest bardziej precyzyjnym wskaźnikiem, zwłaszcza w miejscach o dużych wahaniami dostępności wody w ciągu roku.
Wysoka intensyfikacja rolnictwa	% użytków rolnych (UAA)	Procent użytków rolnych intensywnie wykorzystywanych w rolnictwie.	Intensywne rolnictwo wymaga precyzyjnego zarządzania nawozami, aby uniknąć nadmiernego nawożenia i zanieczyszczenia wód gruntowych.	Optymalne stosowanie nawozów, zmniejszanie wypłukiwania azotu i fosforu do wód gruntowych.
Rolnictwo ekologiczne	% użytków rolnych (UAA)	Procent użytków rolnych objętych produkcją ekologiczną.	Rolnictwo ekologiczne ogranicza stosowanie	Wspieranie praktyk ekologicznych, które zmniejszają

			nawozów chemicznych, zmniejszając ryzyko zanieczyszczenia wód.	zależność od nawozów sztucznych, ograniczając tym samym negatywny wpływ na wodę.
Saldo zawartości azotu brutto (Gross N)	kg N/ha/rok	Ilość azotu używana w rolnictwie na hektar rocznie.	Nadmiar azotu może prowadzić do eutrofizacji wód, dlatego jego zarządzanie ma kluczowe znaczenie dla ochrony jakości wody i gleby.	Zmniejszenie wypłukiwania azotu poprzez stosowanie roślin okrywowych i precyzyjne zarządzanie nawożeniem.
Saldo zawartości fosforu brutto (Gross P)	kg P/ha/rok	Ilość fosforu używana w rolnictwie na hektar rocznie.	Zbyt duża ilość fosforu może prowadzić do zanieczyszczeń wód powierzchniowych. Precyzyjne dawkowanie nawozów fosforowych jest istotne.	Zmniejszenie wypłukiwania fosforu do rzek i wód gruntowych dzięki odpowiedniemu zarządzaniu.
Azotany w wodach powierzchniowych - wysoka jakość	% punktów monitoringu	Odsetek punktów pomiarowych w ramach monitoringu wód powierzchniowych wykazujących stężenie azotanów poniżej 2 mg/l na mocy dyrektywy 91/676/EWG	Wysoka zawartość azotanów może wskazywać na przenikanie nawozów do wód, co wymaga lepszego zarządzania nawożeniem.	Ograniczenie stosowania nawozów azotowych, zmniejszenie ich wpływu na jakość wód powierzchniowych.
Azotany w wodach gruntowych - wysoka jakość	% punktów monitoringu	Odsetek punktów pomiarowych w ramach monitoringu wód gruntowych wykazujących stężenie azotanów poniżej 50 mg/l na mocy dyrektywy 91/676/EWG	Zanieczyszczenie wód gruntowych azotanami może świadczyć o nadmiernym nawożeniu. Istotne jest monitorowanie i ograniczanie takich sytuacji.	Zmniejszenie stosowania nawozów azotowych w regionach o wysokim zanieczyszczeniu wód gruntowych.

Fosforany w rzekach	mg PO ₄ /l	Ilość fosforanów (PO ₄) w rzekach mierzona w mg na litr.	Zbyt duże stężenie fosforanów w rzekach może prowadzić do eutrofizacji, co wymaga optymalizacji gospodarki nawozowej w rolnictwie.	Zmniejszenie zanieczyszczeń fosforanami w wodach powierzchniowych przez precyzyjne stosowanie nawozów.
TUZ (trwałe użytki zielone)	% użytków rolnych (UAA)	Procent trwałych użytków zielonych w stosunku do całkowitej powierzchni użytków rolnych.	Trwałe użytki zielone pomagają zatrzymać składniki odżywcze w glebie i ograniczyć erozję, co pozytywnie wpływa na zarządzanie nawozami.	Zwiększenie trwałych użytków zielonych ogranicza odpływ nawozów i poprawia jakość wód.
Natura 2000	% użytków rolnych (UAA)	Procent użytków rolnych objętych ochroną w ramach programu Natura 2000.	Obszary chronione wymagają szczególnej troski w zakresie zarządzania nawozami, aby chronić różnorodność biologiczną i zasoby wodne.	Ochrona i zachowanie obszarów Natura 2000 poprzez stosowanie praktyk zrównoważonego rolnictwa.
Zalesione tereny	% użytków ornych	Procent powierzchni gruntów ornych pokrytych lasami.	Zalesione tereny mogą redukować odpływ składników odżywczych i poprawiać jakość wód, co jest korzystne dla ochrony środowiska wodnego.	Zalesienie gruntów ornych może ograniczać erozję gleby i odpływ składników odżywczych do wód gruntowych.
Międzyplony lub okrywa zielona	% użytków ornych	Procent powierzchni gruntów ornych obsadzonych	Międzyplony mogą ograniczać wypłukiwanie składników	Zwiększenie liczby międzyplonów wspiera

		międzyplonami lub pokrytych okrywą zieloną.	odżywczych z gleby, co pomaga w ich skuteczniejszym zarządzaniu.	zachowanie składników odżywczych w glebie i ochronę jakości wód.
Ziemia leżąca odłogiem	% użytków ornych	Procent powierzchni gruntów ornych leżących odłogiem, nieobsadzonych.	Ziemia leżąca odłogiem może wpływać na jakość gleby, ale brak roślinności może prowadzić do erozji i wypłukiwania składników odżywczych.	Optymalne zarządzanie odłogami może pomóc w regeneracji gleby i ochronie przed erozją.
Elementy krajobrazu	% użytków ornych	Procent powierzchni gruntów ornych obejmujących elementy krajobrazu, takie jak żywopłoty, miedze, stawy.	Elementy krajobrazu mogą zatrzymywać składniki odżywcze i wodę, zmniejszając ryzyko ich utraty z gleby.	Wprowadzanie elementów krajobrazu ogranicza straty wody i nawozów oraz poprawia bioróżnorodność.
Rośliny wiążące azot	% użytków ornych	Procent powierzchni gruntów ornych obsadzonych roślinami wiążącymi azot, takimi jak groch, łubin, lucerna.	Rośliny wiążące azot redukują zapotrzebowanie na nawozy azotowe, co może zmniejszać ryzyko nadmiernego nawożenia i zanieczyszczenia wód.	Uprawa roślin wiążących azot zmniejsza zapotrzebowanie na sztuczne nawozy azotowe.
Plantacja drzew szybko-rosnących	% użytków ornych	Procent powierzchni gruntów ornych obsadzonych roślinami, takimi jak wierzby energetyczne. Jest to specjalna uprawa, w której sadi się szybko rosnące gatunki drzew, aby w skróconym cyklu produkcyjnym (do	Zarośla energetyczne mogą poprawiać strukturę gleby i retencję wody, ale ich długoterminowe znaczenie dla zarządzania nawozami zależy od konkretnej uprawy.	Optymalizacja gospodarki wodnej i nawozowej dzięki zrównoważonemu wykorzystaniu roślin energetycznych.

		60 lat) uzyskać dużą ilość surowca drzewnego, najczęściej dla przemysłu opartego na fizykochemicznym przerobieniu drewna		
--	--	--	--	--

6.1.6. Metodyka ewaluacyjna dotycząca oceny wpływu PS WPR na jakość wód gruntowych (podrozdział opracowany przez IUNG) (dotyczy wskaźnika oddziaływania I.16)

Ocena wpływu PS WPR na jakość wód gruntowych zostanie opracowana w oparciu o stężenia azotanów ($\text{mg NO}_3^- \text{ dm}^{-3}$) w wodach gruntowych, na podstawie danych Inspekcji Ochrony Środowiska uzyskanych w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska (PMS). Do analizy wykorzystane zostaną dane pochodzące z bazy monitoringu jakości wód podziemnych MONBADA (MONitoringowa BAza DAnyh). Dane będą pochodzić z raportów publikowanych na stronie Inspekcji Ochrony Środowiska, np. <http://mjwp.gios.gov.pl/wyniki-badan/wyniki-badan-2022.html>. W związku z tym, że w ramach PMS występuje duża zmienność liczby obserwacji w poszczególnych latach, na potrzeby tej analizy utworzona zostanie wewnętrzna baza danych zawartości azotanów ($\text{mg NO}_3^- \text{ dm}^{-3}$) eksploatując opublikowane wyniki monitoringu, wykorzystując wyłącznie wyniki punktów przypisanych do bazy MONBADA. W analizie statystycznej wykorzystane będą elementy statystyki opisowej, wnioskowania statystycznego, techniki regresyjne oraz metody geostatystyczne. Wyznaczone zostaną podstawowe charakterystyki opisowe zawartości azotanów w wodach gruntowych w poszczególnych latach. W celu zbadania tendencji zmienności wybranych charakterystyk zawartości azotanów w wodach podziemnych (średnia, mediana, wartość maksymalna, kwartył górny) przeprowadzona zostanie analiza trendu. Do badań wybrany zostanie odpowiedni test statystyczny (np. Manna-Kandalla, polegający na weryfikacji hipotezy o braku monotonicznego trendu na podstawie nieparametrycznego współczynnika korelacji tau Kendalla). Analiza zostanie przeprowadzona na poziomie istotności 0,05. W celu prognozowania udziału stacji monitoringu wód gruntowych o stężeniu azotanów większym niż $50 \text{ mg NO}_3^- \text{ dm}^{-3}$ wykorzystany zostanie model regresyjny.

6.1.7. Analiza statystyczna danych dotyczących zasobów wodnych oraz gospodarki nawozowej

Dokonano zestawienie zmiennych użytych do analizy statystycznej zgodnie z wybranymi wskaźnikami oddziaływania (Tabela 12).

Tabela 12. Zmienne użyte w analizie statystycznej wraz z odpowiadającym im wskaźnikiem oddziaływania.

Zmienna	Wskaźniki oddziaływania
WEI+ (wskaźnik eksploatacji zasobów wodnych)	I.17 (Zmniejszanie presji na zasoby wodne: wskaźnik zużycia wody)
Wysoka intensyfikacja rolnictwa	I.15 (Poprawa jakości wody: bilans składników pokarmowych brutto na gruntach rolnych) oraz I.16 (Zmniejszenie wypłukiwania składników pokarmowych)
Rolnictwo ekologiczne	I.15 (Poprawa jakości wody: bilans składników pokarmowych brutto na gruntach rolnych) oraz I.16 (Zmniejszenie wypłukiwania składników pokarmowych)
Saldo zawartości azotu brutto (Gross N)	I.15 (Poprawa jakości wody: bilans składników pokarmowych brutto na gruntach rolnych) oraz I.16 (Zmniejszenie wypłukiwania składników pokarmowych)
Saldo zawartości fosforu brutto (Gross P)	I.15 (Poprawa jakości wody: bilans składników pokarmowych brutto na gruntach rolnych) oraz I.16 (Zmniejszenie wypłukiwania składników pokarmowych)
Azotany w wodach powierzchniowych - wysoka jakość	I.15 (Poprawa jakości wody: bilans składników pokarmowych brutto na gruntach rolnych) oraz I.16 (Zmniejszenie wypłukiwania składników pokarmowych)
Azotany w wodach gruntowych - wysoka jakość	I.15 (Poprawa jakości wody: bilans składników pokarmowych brutto na gruntach rolnych) oraz I.16 (Zmniejszenie wypłukiwania składników pokarmowych)
Fosforany w rzekach	I.15 (Poprawa jakości wody: bilans składników pokarmowych brutto na gruntach rolnych) oraz I.16 (Zmniejszenie wypłukiwania składników pokarmowych)
TUZ (trwałe użytki zielone)	I.15 (Poprawa jakości wody: bilans składników pokarmowych brutto na gruntach rolnych) oraz I.16 (Zmniejszenie wypłukiwania składników pokarmowych) I.17 (Zmniejszanie presji na zasoby wodne: wskaźnik zużycia wody)
Natura 2000	I.15 (Poprawa jakości wody: bilans składników pokarmowych brutto na gruntach rolnych) oraz I.16 (Zmniejszenie wypłukiwania składników pokarmowych)

	pokarmowych) I.17 (Zmniejszanie presji na zasoby wodne: wskaźnik zużycia wody)
Zalesione tereny	I.15 (Poprawa jakości wody: bilans składników pokarmowych brutto na gruntach rolnych) oraz I.16 (Zmniejszenie wypłukiwania składników pokarmowych) I.17 (Zmniejszanie presji na zasoby wodne: wskaźnik zużycia wody)
Międzyplony lub okrywa zielona	I.15 (Poprawa jakości wody: bilans składników pokarmowych brutto na gruntach rolnych) oraz I.16 (Zmniejszenie wypłukiwania składników pokarmowych)
Ziemia leżąca odłogiem	I.15 (Poprawa jakości wody: bilans składników pokarmowych brutto na gruntach rolnych) oraz I.16 (Zmniejszenie wypłukiwania składników pokarmowych)
Elementy krajobrazu	I.15 (Poprawa jakości wody: bilans składników pokarmowych brutto na gruntach rolnych) oraz I.16 (Zmniejszenie wypłukiwania składników pokarmowych) I.17 (Zmniejszanie presji na zasoby wodne: wskaźnik zużycia wody)
Rośliny wiążące azot	I.15 (Poprawa jakości wody: bilans składników pokarmowych brutto na gruntach rolnych) oraz I.16 (Zmniejszenie wypłukiwania składników pokarmowych)
Plantacja drzew szybko-rosnących	I.15 (Poprawa jakości wody: bilans składników pokarmowych brutto na gruntach rolnych) oraz I.16 (Zmniejszenie wypłukiwania składników pokarmowych)

W celu sprawdzenia czy zawartość azotanów w wodach gruntowych jest inna niż w wodach powierzchniowych i czy saldo zawartości azotu brutto (Gross N) modyfikuje zawartość azotanów w wodach, wykonano wielowymiarową analizę redundancji RDA. Zawartość azotanów w wodach wyrażona jest jako procent punktów monitoringowych dla danego kraju w trzech kategoriach: **wysoka jakość wody** (<2.0 mg/l), **średnia jakość** (>=2.0 oraz <5.6 mg/l), **słaba jakość** (>=50 mg/l). Zawartość azotanów w wodzie uwzględniona w tej analizie to średnia z lat 2019-2021, natomiast saldo zawartości azotu brutto Gross N podane było dla krajów europejskich jako średnia z lat 2016-2019. Wpływ Gross N oraz istnienie różnicy pomiędzy wodami powierzchniowymi i gruntowymi w zawartości azotanów sprawdzono za pomocą testów permutacyjnych wykonując 999 permutacji. W przypadku drugiego z testów, wykorzystano jako miarę niepodobieństwa (różnicy), dystans Mahalanobisa, który radzi sobie z danymi ściśle skorelowanymi, takimi jak procent udziału w kategoriach.

Za pomocą ogólnych modeli liniowych GLM przetestowano czynniki wpływające na wskaźnik eksploatacji zasobów wodnych (WEI+), Saldo zawartości azotu brutto (Gross N), Saldo zawartości fosforu brutto (Gross P), wysoką jakość wód powierzchniowych (zawartość

azotanów <2.0 mg/l), wysoką jakość wód gruntowych (zawartość azotanów <2.0 mg/l) i zawartość fosforanów w rzekach. Wymienione zmienne są zmiennymi zależnymi. Pierwszy wybór czynników (tj. predyktorów), które są zmiennymi niezależnymi był ograniczony jakością dostępnych danych oraz był częściowo arbitralny w celu skupienia się na czynnikach najważniejszych do oceny skuteczności działań PS WPR oraz wyeliminowania zależności pozornych (np. nie używa się wody w rolnictwie na Obszarach Natura 2000). Testowanie wybranych predyktorów w jednej analizie było możliwe, ze względu na fakt, że te zmienne były nie więcej niż umiarkowanie skorelowane (<0.5). Pozwala to na ich łączne testowanie w tym samym modelu.

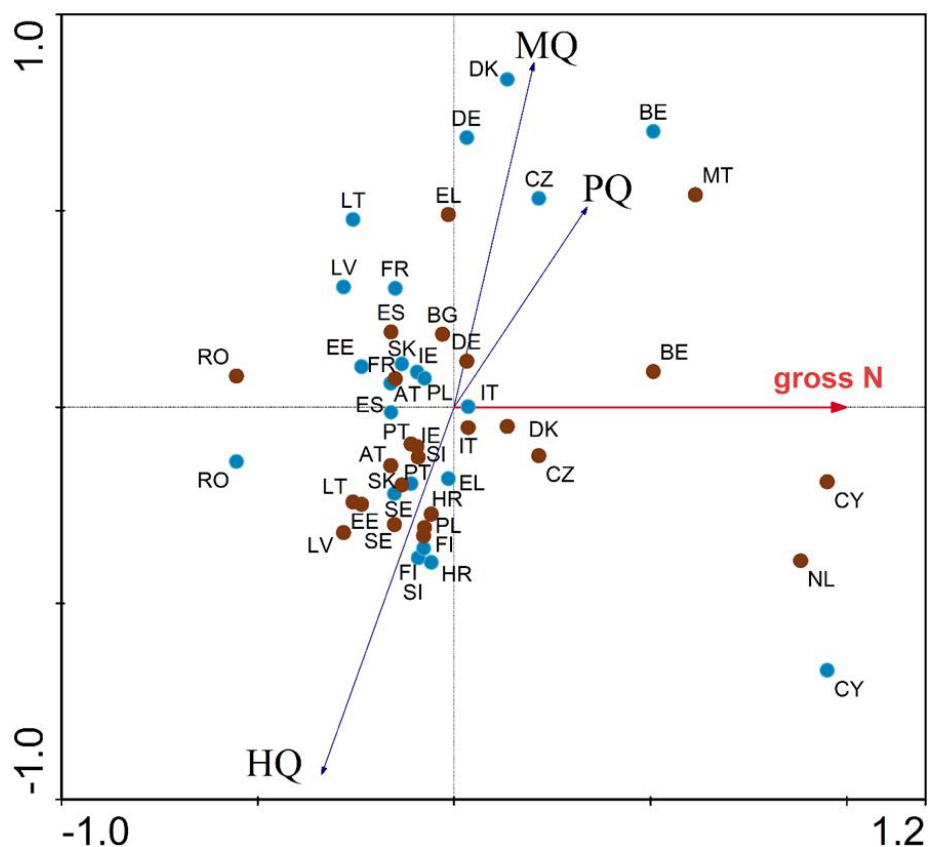
Dla każdej zmiennej zależnej został wyliczony model bazowy zawierający wszystkie uwzględnione predyktory. Następnie przeprowadzono procedurę selekcji modeli według kryterium informacyjnego Akaike, skorygowanego dla małej próby (AICc). Kryterium informacyjne pozwala na wybór modelu, który najlepiej opisuje dane. Dla siedmiu predyktorów możliwych jest skonstruowanie już 128 modeli, a dla 10 predyktorów aż 1024 modeli. Za modele porównywalnie dobre uznaje się modele posiadające deltę AICc < 2 , która opisuje jak kolejne modele różnią się pod względem objaśnienia danych od modelu najlepszego. W wyniku procedury selekcji wybrano model najlepszy, który ostatecznie obliczono i podano jego wyniki.

Model bazowy dla wskaźnika eksploatacji zasobów wodnych WEI+ zawierał następujące czynniki ustalone: wysoka intensyfikacja rolnictwa (%UAA), rolnictwo ekologiczne (%UAA), saldo zawartości azotu brutto (Gross N), rok i kraj europejski. Model bazowy dla salda zawartości azotu brutto (Gross N) i zawartości fosforu brutto (Gross P) zawierał następujące czynniki ustalone: wysoka intensyfikacja rolnictwa (%UAA), rolnictwo ekologiczne (%UAA), trwałe użytki zielone TUZ (%UAA), Natura 2000 (%UAA), uprawy międzyplonowe (% gruntów ornych), grunty odłogowane (% gruntów ornych), elementy krajobrazu (% gruntów ornych), rośliny wiążące azot (% gruntów ornych), plantacja drzew szybko-rosnących (% gruntów ornych), rok i kraj europejski. Model bazowy dla zawartości fosforanów w rzekach uwzględniał te same czynniki, co w dwóch wcześniejszych modelach z dodatkiem zawartości fosforu brutto (Gross P) jako predyktora. Modele dla zawartości azotanów dla wód gruntowych i powierzchniowych uwzględniały także te same predyktory, z tym że, zamiast gross P był testowany gross N. Modele dla tych zmiennych zależnych były wykonane na dostępnym, ograniczonym zbiorze danych (patrz sekcja źródła danych). Zmienne w razie konieczności były transformowane logarytmem naturalnym lub pierwiastkiem kwadratowym w celu zachowania rozkładu zmiennych zależnych zgodnego z krzywą Gaussa. Opisane analizy były oparte na danych z zakresu lat 2010-2019. Dane dla wysokiej jakości wód były dostępne jedynie dla lat 2012, 2017 i 2019.

W analizie PCA braki danych uzupełniano dostępnymi danymi z roku w obrębie badanego zakresu lat lub daną z roku najbliższego dla tego zakresu, najczęściej daną dla roku 2015. W jednym przypadku uwzględniono rok 2012. W analizach selekcji modeli i modelowaniu GLM braki danych uzupełniano przy pomocy złożonej procedury wielowymiarowej wielokrotnej imputacji MICE Forest, bazując na algorytmie Random Forest (patrz sekcja źródła danych).

6.1.8. Wyniki przeprowadzonej analizy statystycznej danych dotyczących zasobów wodnych oraz gospodarki nawozowej

Analiza RDA wykazała istotny wpływ salda zawartości azotu brutto (Gross N) na jakość wody, traktowaną jako zawartość azotanów w wodach ($F = 4.550$, $P = 0.032$). Pierwsza oś ordynacyjna (oś horyzontalna) wyjaśniła 9.2% zmienności w danych o jakości wody, z czego 100% objaśniane zostało przez relację Gross N i jakość wody (Ryc. 2). Pierwsza oś ordynacyjna opisuje gradient Gross N, który tylko w niewielkim stopniu wpływa na jakość wody. Druga oś ordynacyjna (oś wertykalna) wyjaśniła 74% zmienności w danych jakości wody i stanowi gradient jakości wody (Ryc. 2). Analiza RDA ujawniła silną dodatnią korelację słabej jakości wody ze średnią jakością wody tj. im więcej punktów monitoringowych cechuje się słabą jakością wody, to tym więcej pozostałych punktów monitoringowych ma szansę należeć do kategorii średniej jakości wody pod względem zawartości azotanów, a nie do kategorii jakości wysokiej. Na diagramie widać też, że słaba i średnia jakość wody jest związana z wyższym Gross N, natomiast jakość wysoka z niższym Gross N. Test permutacyjny ujawnił słabą różnicę statystyczną ($F = 2.562$, $P = 0.41$) pomiędzy jakością wód gruntowych i powierzchniowych w Europie. Wody gruntowe mają nieznaczenie lepszą jakość od wód powierzchniowych. Różnica ta jest wyraźna w przypadku Polski (Ryc. 2). W pierwszej ćwiartce diagramu ordynacyjnego znajdują się kraje posiadające słabej jakości wody, za co częściowo odpowiada wyższa wartość Gross N. W drugiej ćwiartce diagramu znajdują się kraje posiadające słabą jakość wody, jednak Gross N ma marginalne znaczenie w kształtowaniu tej jakości. W trzeciej ćwiartce znajdują się kraje, które posiadają wysoką jakość wody, za co odpowiadają częściowo niższe wartości Gross N, natomiast w czwartej ćwiartce znajdują się kraje posiadające dobrą jakość wody mimo wysokich wartości Gross N. Polska ma stosunkowo dobrą jakość wody na tle Europy. Najsłabszą jakość wód ma Dania, Belgia, Malta i w przypadku wód powierzchniowych Czechy, Niemcy i Litwa, a wód gruntowych Grecja.



Rycina 2. Diagram ordynacyjny analizy RDA dla jakości wód gruntowych i powierzchniowych pod względem zawartości azotanów. HQ – wysoka jakość wody, MQ – średnia jakość wody, PQ – słaba jakość wody. Niebieskie punkty oznaczają wody powierzchniowe, brązowe oznaczają wody gruntowe. Kody krajów: BE – Belgia, CZ – Czechy, DK – Dania, DE – Niemcy, EE – Estonia, IE – Irlandia, EL – Grecja, ES – Hiszpania, FR – Francja, HR – Chorwacja, IT – Włochy, CY – Cypr, LV – Łotwa, LT – Litwa, AT – Austria, PL – Polska, PT – Portugalia, RO – Rumunia, SI – Słowenia, SK – Słowacja, FI – Finlandia, SE – Szwecja.

W przypadku analizy czynników wpływających na Gross N selekcja modeli ujawniła siedem modeli wspieranych ($\Delta AICc < 2$) (Tabela 13).

Tabela 13. Wyniki selekcji modeli dla Gross N.

predyktor	df	logLik	AICc	delta	waga
1357*	31	-1141.34	2353.03	0	0.22
137	30	-1142.90	2353.58	0.55	0.17
13567	32	-1140.60	2354.12	1.09	0.13
1237	31	-1141.91	2354.16	1.14	0.13
12357	32	-1140.63	2354.17	1.15	0.13
1367	31	-1142.00	2354.34	1.32	0.12
13457	32	-1140.78	2354.46	1.44	0.11

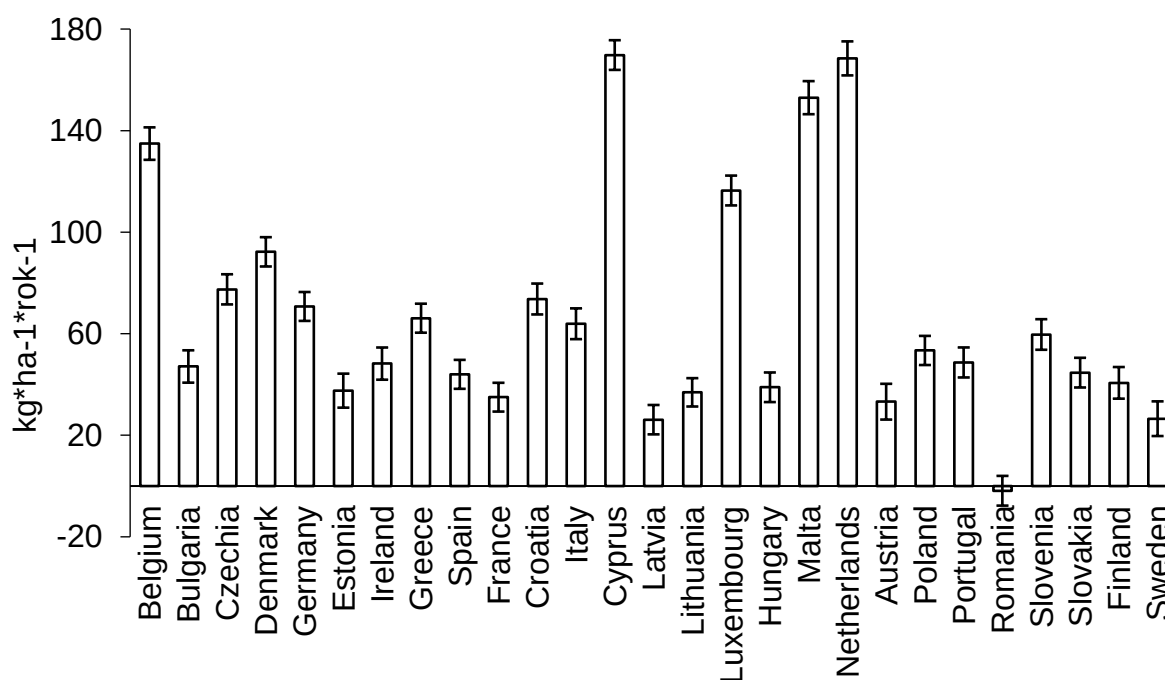
*model o najlepszym dopasowaniu

1 – międzyplon, 2 – wysoka intensyfikacja rolnictwa, 3 – Natura 2000, 4 – rośliny wiążące azot, 5 – rolnictwo ekologiczne, 6 – plantacja drzew szybko rosnących, 7 – TUZ

Tabela 14. Wyniki najlepszego modelu objaśniającego Gross N.

	df	F	p
Wyraz wolny	1	243.825	<<0.001
Kraj	26	49.751	<<0.001
Międzyplony	1	6.121	0.014
Natura 2000	1	15.510	<0.001
Rolnictwo ekologiczne	1	2.775	0.097
Błąd	240		

Wyniki modelu najlepszego wykazały różnicę w krajach europejskich (Ryc. 3) w odniesieniu do Gross N, pozytywny wpływ międzyplonu ($\text{slope} = 0.725$) i negatywny wpływ udziału obszarów Natura 2000 ($\text{slope} = -0.951$) (Tabela 14).



Rycina 3. Różnice w Gross N dla krajów europejskich. Średnia wraz z błędem standardowym (SE).

Dla Gross P selekcja modeli ujawniła 15 modeli wspieranych (delta AICc <2) (Tabela 15).

Tabela 15. Wyniki selekcji modeli dla Gross P.

predyktor	df	logLik	AICc	delta	waga
36*	29	-693.61	1452.47	0	0.12
367	30	-692.53	1452.85	0.38	0.10
2367	31	-691.39	1453.12	0.66	0.09
236	30	-692.74	1453.26	0.80	0.08
356	30	-692.98	1453.75	1.28	0.06
2356	31	-691.73	1453.80	1.33	0.06
23567	32	-690.50	1453.91	1.44	0.06
346	30	-693.08	1453.95	1.48	0.06
136	30	-693.11	1453.99	1.53	0.06
67	29	-694.38	1454.02	1.55	0.06
23467	32	-690.61	1454.14	1.67	0.05
267	30	-693.23	1454.24	1.77	0.05
3467	31	-691.96	1454.25	1.79	0.05
3567	31	-692.02	1454.38	1.91	0.05
2346	31	-692.05	1454.44	1.97	0.05

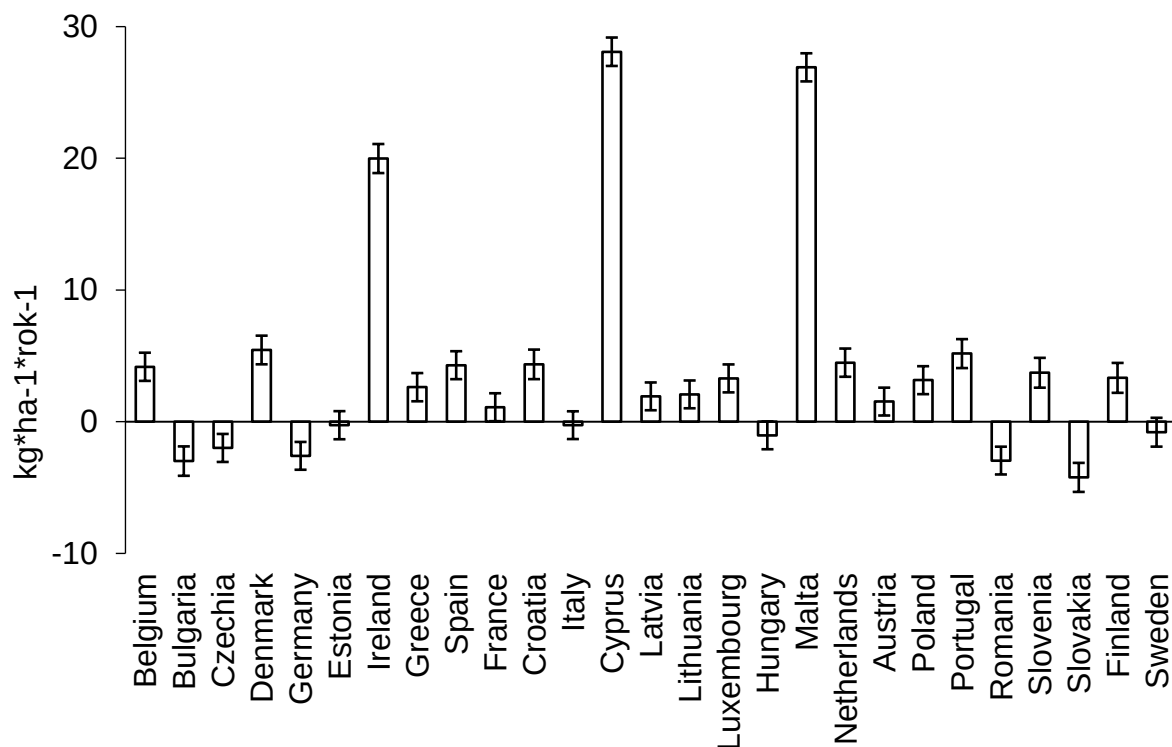
**model o najlepszym dopasowaniu*

1 – wysoka intensyfikacja rolnictwa, 2 – ziemia odlogowana, 3 – Natura 2000, 4 – rolnictwo ekologiczne, 5 – plantacja drzew szybkorosnących, 6 – kraj, 7 – TUZ

Tabela 16. Wyniki modelu najlepszego dla Gross P.

	df	F	p
Wyraz wolny	1	89.562	<<0.001
Kraj	26	55.304	<<0.001
Natura 2000	1	4.560	0.034
Błąd	242		

Wyniki modelu najlepszego wykazały różnicę w krajach europejskich (Ryc. 4) w odniesieniu do Gross P i negatywny wpływ udziału obszarów Natura 2000 (slope = -0.098) (Tabela 16).



Rycina 4. Różnice w Gross P dla krajów europejskich. Średnia wraz z błędem standardowym (SE).

Selekcja modeli dla WEI+ ujawniła dwa modele wspierane (delta AICc <2) (Tabela 17).

Tabela 17. Wyniki selekcji modeli dla WEI+.

predyktor	df	logLik	AICc	delta	waga
134*	30	-86.51	240.81	0	0.69
1234	31	-86.06	242.45	1.64	0.31

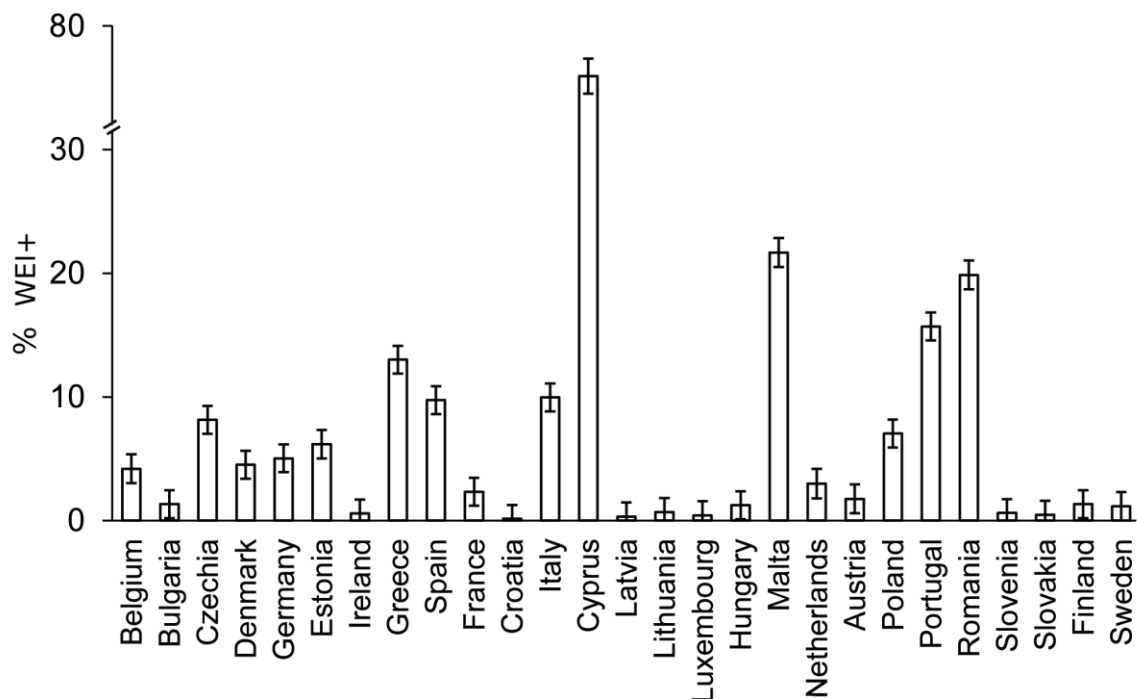
*model o najlepszym dopasowaniu

1 – Gross N, 2 – wysoka intensyfikacja rolnictwa, 3 – rolnictwo ekologiczne, 4 – kraj

Wyniki modelu najlepszego wykazały różnicę w krajach europejskich (Ryc. 5) w odniesieniu do WEI+, pozytywny wpływ Gross N (slope = 0.003) i negatywny wpływ rolnictwa ekologicznego (slope = -0.020) (Tabela 18).

Tabela 18. Wyniki modelu najlepszego dla WEI+.

	df	F	p
Wyraz wolny	1	95.795	<<0.001
Kraj	26	167.081	<<0.001
GrossN	1	5.231	0.023
Rolnictwo ekologiczne	1	5.746	0.017
Błąd	241		



Rycina 5. Różnice w WEI+ dla krajów europejskich. Średnia wraz z błędem standardowym (SE).

Selekcja modeli dla zawartości fosforanów w rzekach ujawniła siedem modeli wspieranych (delta AICc < 2) (Tabela 19).

Tabela 19. Wyniki selekcji modeli dla zawartości fosforanów w rzekach.

predyktor	df	logLik	AICc	delta	waga
12457*	32	-194.01	460.93	0	0.25
1257	31	-195.42	461.18	0.25	0.22
12357	32	-194.60	462.11	1.19	0.14
123457	33	-193.48	462.47	1.54	0.11
1457	31	-196.20	462.74	1.81	0.10
12578	32	-194.96	462.83	1.90	0.10
12567	32	-194.99	462.90	1.97	0.09

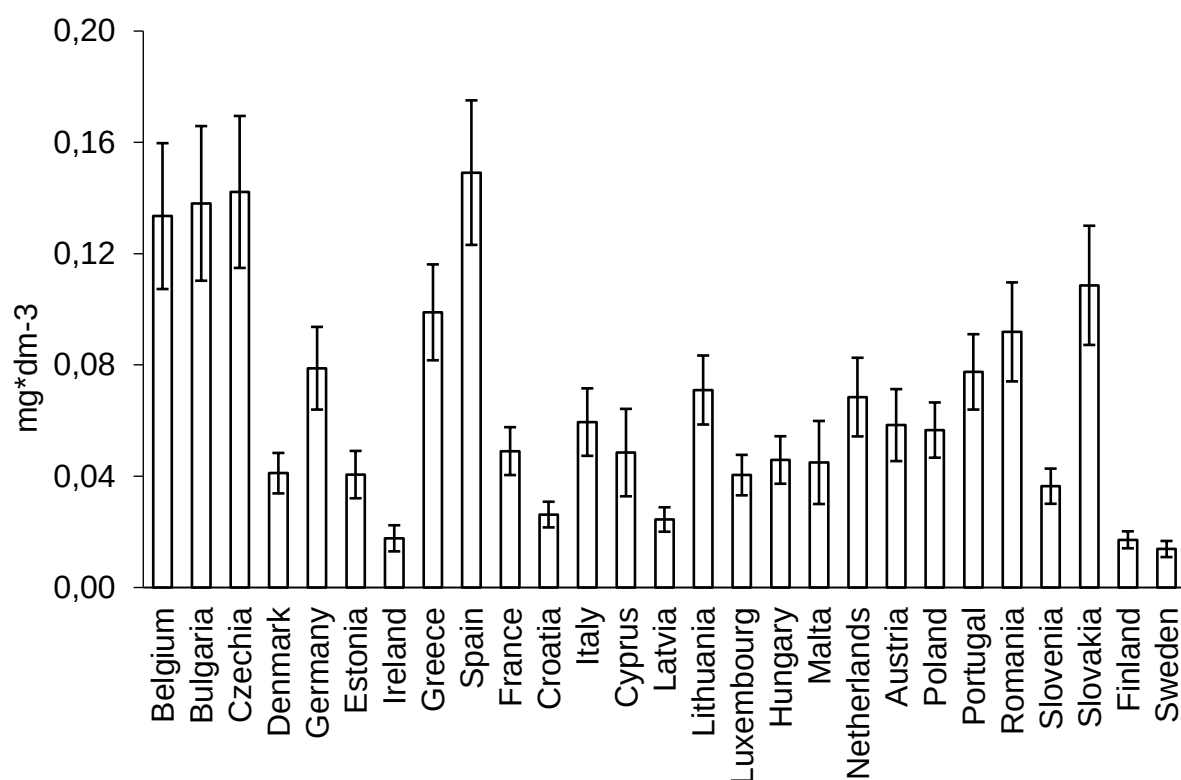
*model o najlepszym dopasowaniu

1 – międzyplon, 2 – Gross P, 3 – grunty odłogowane, 4 – rośliny wiążące azot, 5 – rolnictwo ekologiczne, 6 – plantacja drzew szybko rosnących, 7 –kraj, 8 – TUZ

Wyniki modelu najlepszego wykazały różnicę w krajach europejskich (Ryc. 6) w odniesieniu do zawartości fosforanów w rzekach, pozytywny wpływ Gross P (slope = 0.020), pozytywny wpływ międzyplonu (slope = 0.032) i negatywny wpływ rolnictwa ekologicznego (-0.030) (Tabela 20).

Tabela 20. Wyniki modelu najlepszego dla zawartości fosforanów w rzekach.

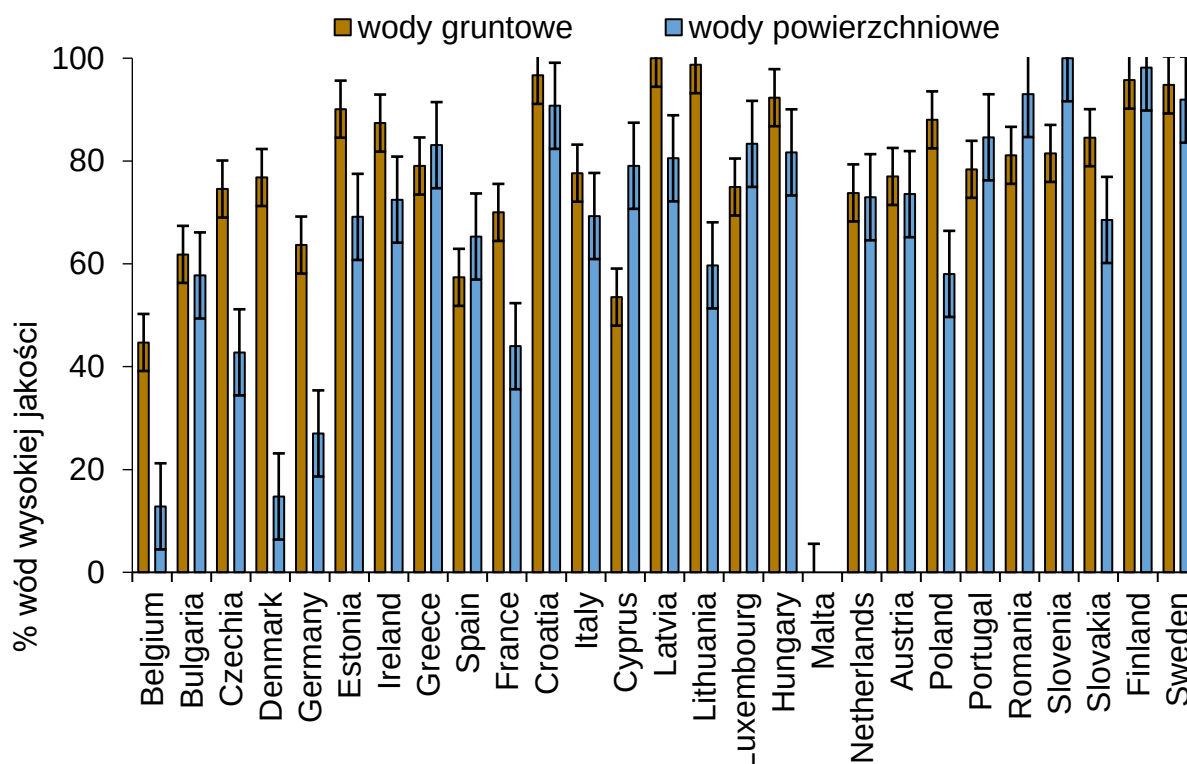
	df	F	p
Wyraz wolny	1	580.730	<<0.001
Kraj	26	12.960	<<0.001
GrossP	1	3.917	0.048
Międzyplony	1	12.567	<0.001
Rośliny wiążące azot	1	2.518	0.114
Rolnictwo ekologiczne	1	5.961	0.015
Błąd	239		

**Rycina 6.** Różnice w zawartości fosforanów w rzekach dla krajów europejskich. Średnia wraz z błędem standardowym (SE).

W przypadku wysokiej jakości wód gruntowych i powierzchniowych ze względu na zawartość azotanów zrezygnowano z prezentowania szczegółowych wyników, ponieważ jakość danych była niewystarczająca, a wyniki analizy niejednoznaczne. Zaprezentowano poniżej tylko najważniejsze wyniki modeli najlepiej dopasowanych.

Selekcja modeli dla wód gruntowych ujawniła dwa modele wspierane, z czego najlepszy model zawierał tylko jeden predyktor – kraj europejski. Selekcja modeli dla wód powierzchniowych ujawniła siedem modeli wspieranych, z czego najlepszy model zawierał cztery predyktory, ale tylko jeden z nich – kraj europejski był istotny statystycznie.

Istotna statystycznie była jedynie różnica pomiędzy krajami europejskimi zarówno w jakości wód gruntowych jak i w jakości wód powierzchniowych (odpowiednio $F_{26,54} = 30.09$, $P < 0.001$; $F_{26,51} = 5.744$, $P < 0.001$) (Ryc.7).



Rycina 7. Różnice w wysokiej jakości wody pod względem zawartości azotanów w wodach gruntowych i powierzchniowych. Średnia wraz z błędem standardowym (SE).

Analiza RDA okazała się analizą, która dobrze pasuje do badanych zmiennych i pozwoliła wykryć nieoczywiste zależności w przypadku danych skorelowanych, które nie mogły być analizowane np. za pomocą analizy regresji. Wyniki RDA ujawniły, że Gross N, który jest predyktorem użycia nawozów w rolnictwie jest tylko częściowo odpowiedzialny za kształtowanie jakości wody. Oczywiście może to wynikać z faktu, że efekty działania tego czynnika są bardziej długofalowe i zakres lat badania nie był ściśle dopasowany do danych dotyczących jakości wody.

Z drugiej strony do walidacji działań PS WPR należy poszukiwać innych predyktorów. Zrównoważone gospodarowanie wykorzystaniem nawozów nie wystarczy, aby efektywnie poprawić jakość wód. Analizy z użyciem modeli GLM wskazały na jakie inne predyktory należy zwrócić uwagę, pokazując, że ważnymi zmiennymi kształtującymi zasoby wodne są tereny Natura 2000 i rolnictwo ekologiczne. Należy oczywiście starać się optymalizować gospodarkę nawozową, ponieważ wysokie zużycie nawozów w rolnictwie związane jest z wyższym zużyciem wody (wskaźnik WEI+), co może prowadzić do nadmiernej eksploatacji zasobów wodnych jak np. na Cyprze, w konsekwencji uniemożliwiając poprawę jakości wód. Wyniki analiz wskazują, że należy się skupić na ekoschematach związanych z rolnictwem ekologicznym i ekstensywnym wykorzystaniu łąk i pastwisk oraz ekoschematach pokrewnych, uwzględniających zadrzewienia śródpolne i TUZy. Dodatkowo, należy dokładniej zbadać sposób wykorzystania międzyplonu. Niestety międzyplon powiązany jest z pogorszeniem jakości wody pod względem zawartości fosforanów i wpływa także na zwiększenie wskaźnika

Gross N. Może to wynikać z faktu, że rośliny wykorzystywane jako międzyplon, czy poplon zostają zaorane i są traktowane jako nawóz, co może tłumaczyć niezgodne z oczekiwanymi efekty, ujawnione w analizach dla tej praktyki rolniczej. Z drugiej strony dane imputacja danych dla zmiennej opisującej międzyplon posiada stosunkowo wysoka niepewność, z powodu braków danych wynoszących 59% (Ryc. 8).

Podsumowując, ważnym czynnikiem sukcesu w ocenie działań PS WPR jest wspieranie rolnictwa ekologicznego, a także dbanie o rozwój obszarów chronionych, które wiążą się z poprawą jakości wód i mogą w pierwszej kolejności niwelować skutki niewłaściwej gospodarki nawozowej, a długofalowo wzmocnić efekty zrównoważonego użycia nawozów.

Selekcja modeli na podstawie kryterium informacyjnego Akaike jest istotną procedurą do walidacji działań PS WPR, która pozwala na wykrycie czynników wpływających na jakość wód i gospodarkę nawozową oraz działań, które są najskuteczniejsze dla sukcesu polityki PS WPR. Oczywiście wybór najlepszego modelu nie zawsze może być wyborem modelu najlepiej opisującego dane. W przypadku niewielkich różnic w wartościach AICc dla kolejnych modeli. W Tabeli 15 AICc dla najlepszego modelu wynosi 1452.47, a modelu drugiego 1452.85. Przy tak niewielkiej różnicy istnieje spora szansa na wybór modelu suboptymalnego. Można oczywiście wspomóc się innymi skomplikowanymi procedurami, aby wybrać najlepszy możliwy model. Innym wyjściem jest zastosowanie średniej ważonej parametrów modeli ze zbioru modeli wspieranych. Jednak, gdy ważne jest podanie jedynie małej liczby najważniejszych wyników lub rekomendacji, które należy wdrożyć, można wybrać inne rozwiązanie. Dobrym rozwiązaniem w tym przypadku jest wybór spośród zbioru modeli wspieranych, modelu, który zawiera najmniejszą liczbę predyktorów, ponieważ modele z $\Delta AICc < 2$ są porównywalnie dobre.

7. Źródła danych

Poniżej przedstawiono źródła, skąd pobierane były dane oraz jakie parametry brane były pod uwagę do obliczeń statystycznych oraz wyodrębnienia metodyki.

- WEI+ (wskaźnik eksploatacji zasobów wodnych) (źródło: European Environment Agency).
- Procent użytków rolnych intensywnie wykorzystywanych w rolnictwie (źródło: Farm Accountancy Data Network (FADN)).
- Procent użytków rolnych objętych produkcją ekologiczną (źródło: Eurostat).
- Saldo zawartości azotu brutto (Gross N) (źródło: Eurostat).
- Saldo zawartości fosforu brutto (Gross P) (źródło: Eurostat).

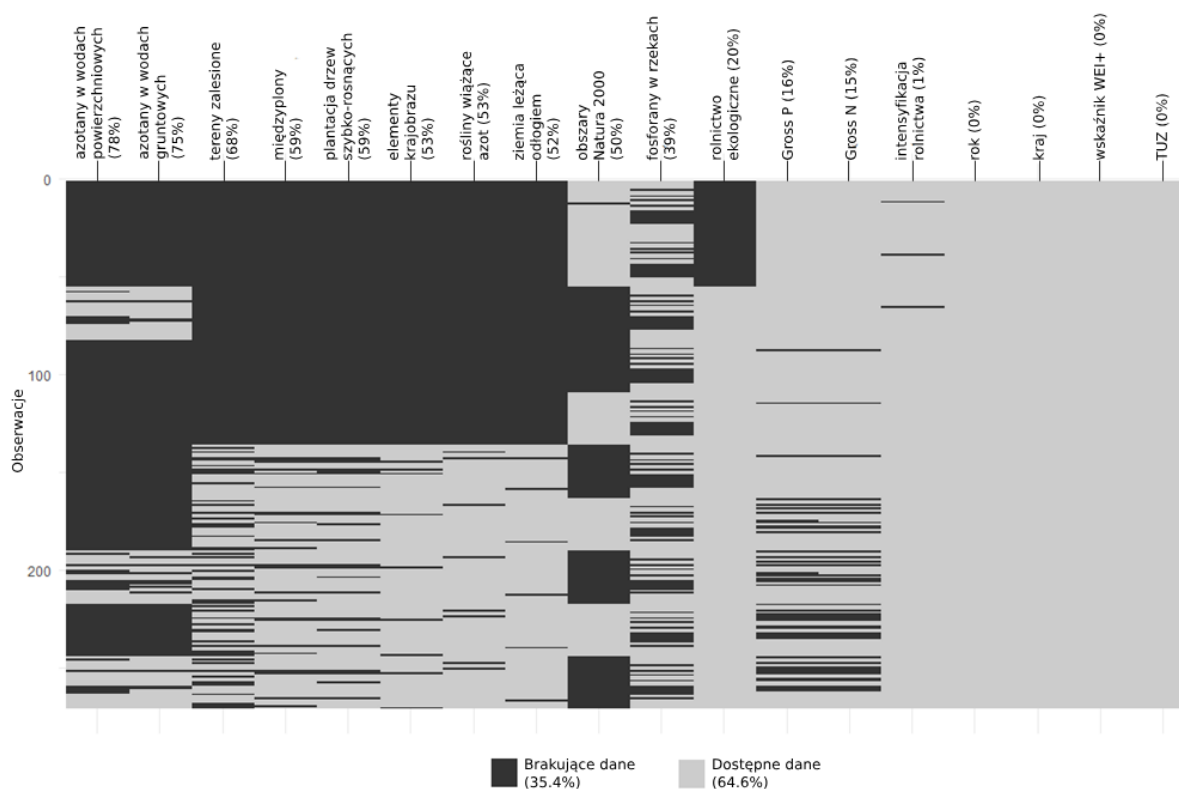
- Azotany w wodach powierzchniowych (źródło: European Environment Agency).
- Azotany w wodach gruntowych (źródło: European Environment Agency).
- Ilość fosforanów (PO_4) w rzekach mierzona w mg na litr (źródło: European Environment Agency).
- Procent TUZ w stosunku do całkowitej powierzchni użytków rolnych (źródło: Eurostat).
- Procent użytków rolnych objętych ochroną w ramach programu Natura 2000 (źródło: European Environment Agency).
- Procent powierzchni gruntów ornych pokrytych lasami (źródło: ISAMM_GREENINGS).
- Procent powierzchni gruntów ornych obsadzonych międzyplonami lub pokrytych okrywą zieloną (źródło: ISAMM_GREENINGS).
- Procent powierzchni gruntów ornych leżących odłogiem, nieobsadzonych (źródło: ISAMM_GREENINGS).
- Elementy krajobrazu (procent powierzchni gruntów ornych obejmujących elementy krajobrazu, takie jak żywopłoty, miedze, stawy) (źródło: ISAMM_GREENINGS).
- Procent powierzchni gruntów ornych obsadzonych roślinami wiążącymi azot, takimi jak groch, łubin, lucerna (źródło: ISAMM_GREENINGS).
- Plantacja drzew szybko-rosnących (procent powierzchni gruntów ornych obsadzonych roślinami, takimi jak wierzby energetyczne) (źródło: ISAMM_GREENINGS).

Pozyskane dane były zaaranżowane w różny sposób i miały liczne braki, co uniemożliwiało efektywną ich analizę. Część zmiennych posiadała dane o szerokim zakresie lat, natomiast inne zmienne miały węższy zakres dostępnych danych, nierzadko uwzględniający dane nowsze, z lat 2021-2022. Jednak zakres ten pokrywał się w niedużym stopniu z zakresem lat innych zmiennych, dla których podane były lata wcześniejsze. Z trudem udało się wyodrębnić wspólny zakres lat dla wszystkich wyselekcjonowanych zmiennych, obejmujących lata 2010-2019. Jednakże, problem braków w danych nadal pozostał (Ryc. 8). Usuwanie braków przypadkami (tj. usunięcie ze zbioru danych każdego przypadku, dla którego istnieje brak chociaż dla jednej z badanych zmiennych) doprowadziłoby do usunięcia co najmniej 50% przypadków z całego zbioru, uszczuplając go w sposób znaczący. Analizy statystyczne przeprowadzone na małym zbiorze danych nie mogłyby dać jednoznacznych wyników, na których podstawie można wysnuć prawidłowe wnioski i rekomendacje dla PS WPR.

Nakreślony problem pomógł rozwiązać algorytm wielokrotnej imputacji MICE Forest, który bierze pod uwagę złożone relacje pomiędzy wszystkimi zmiennymi w zbiorze, uwzględniając dane różnego typu takie jak zmienne ciągłe, zmienne kategoryczne, binarne lub porządkowe. Imputacja dla każdej zmiennej jest realizowana za pomocą modelu Random Forest, który pozwala uchwycić nieliniowe zależności między zmiennymi i radzi sobie dobrze z danymi o dużej zmienności. W pierwszym kroku dane zostają podzielone na zmienne z brakującymi wartościami oraz zmienne, które zawierają pełny zestaw. W analizowanym zbiorze zawsze była dostępna informacja o roku pomiaru i kraju, w którym pomiar wykonano. Zmienne, które mają brakujące wartości są potraktowane jako zmienne zależne, natomiast pozostałe zmienne są traktowane jako zmienne niezależne.

Dla każdej zmiennej z brakującymi przypadkami budowany jest model Random Forest na podstawie pełnych danych, wykorzystując zmienne niezależne (czyli te, które nie mają brakujących danych) jako predyktory, a zmienne z brakującymi wartościami jako zmienne, które są przewidywane. Random Forest uczy się z zależności między tymi zmiennymi i wytwarza zbiór drzew decyzyjnych, który następnie wykorzystywany jest do imputacji brakujących danych.

Po wyuczeniu modelu Random Forest, brakujące wartości w zmiennej zależnej są przewidywane na podstawie tego modelu i wstawiane do zbioru danych. Wartości przewidywane przez Random Forest są imputacjami brakujących danych. Proces imputacji jest powtarzany dla każdej zmiennej z brakującymi wartościami w danym cyklu iteracyjnym. W każdej iteracji dla każdej zmiennej z brakami budowany jest nowy model Random Forest, na podstawie już imputowanych danych. Po potrzebnej liczbie iteracji (np. 10-50 iteracji), kiedy imputacja osiąga punkt stabilizacji, wyniki są uznawane za ostateczne. Wielokrotna imputacja generuje kilka zestawów danych, których wyniki są konsolidowane. Zaletami imputacji MICE Forest są brak założeń co do rozkładu zmiennych, uwzględnienie nieliniowych zależności między różnymi typami zmiennych, spora odporność modelu na wartości odstające, natomiast wadą jest potrzeba dużej ilości danych, czyli im większy zbiór danych i mniejsze braki, tym imputacja jest bardziej wiarygodna. Procedura imputacji dobrze radzi sobie z brakami niewielkimi i umiarkowanymi.



Rycina 8. Diagram prezentujący braki w zbiorze danych wykorzystanym do analiz.

W całym zbiorze danych brakowało 35.4% danych (Ryc. 8), co stanowi ogólnie umiarkowany poziom braków. Z drugiej strony braki dla poszczególnych zmiennych mieściły się w zakresie 1%-78%. Braki dla terenów zalesionych przekroczyły 60%, zmuszając do wykluczenia tej zmiennej z analiz. Podobnie poziom braków dla zawartości azotanów w wodach gruntowych i powierzchniowych wynosił ponad 70%, uniemożliwiając przeprowadzenie analizy na pełnym zbiorze danych. Analizę wykonano dla lat, dla których istniały dostępne dane. Jedynie dla tego zakresu lat uzupełniono nieliczne braki, wartościami imputowanymi. Ostateczne wyniki analizy dla zawartości azotanów w wodach gruntowych i powierzchniowych oparte były na niewielkim zbiorze danych, częściowo imputowanym. Ich wyniki należy traktować w sposób względny i orientacyjny.

Dodatkowo, zebrano dane z ARiMR (Agencja Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa) i GUS dotyczące dawki nawozów oraz ilości gospodarstw ekologicznych w poszczególnych województwach w Polsce. Zebrano również dane z EEA, potrzebne do obliczenia wskaźnika NUE (ang. Nitrogen Use Efficiency) oraz FUE (ang. Phosphorus Use Efficiency), oraz bilansu z mapowania azotu i fosforu w krajach UE. Niedostępne są dane dotyczące fizycznych i chemicznych parametrów jakości wody na poziomie gmin. Dostępne są jedynie dane na poziomie województw i krajów, w tym w Unii Europejskiej. Podobna sytuacja dotyczy jakości nawożenia oraz użycia i zużycia nawozów. Aby uzyskać dokładniejsze dane na poziomie gmin, warto rozpocząć zbieranie własnych danych, współpracować z lokalnymi organizacjami i uczelniami oraz korzystać z nowych technologii satelitarnych do określenia wybranych

wskaźników. Alternatywnym sposobem jest opracowanie danych na bardziej ogólnym poziomie, np. na poziomie województwa.

7.1. Źródła danych a rekomendowane metody badawcze

Potencjalnie rekomendowane może być każde źródło danych, które dostarcza możliwie najbardziej kompletne dane odpowiadające okresowi czasowemu i celom oceny skuteczności PS WPR (Tabela 21). Poniższy katalog metod badawczych wskazuje sugerowane metody badawcze wraz z przypisaniem im źródeł danych. Katalog metod badawczych umożliwiających skalkulowanie wpływu PS WPR został opracowany, aby precyzyjnie ocenić efekty polityki spójności w ramach wspólnej polityki rolnej na jakość wód i gospodarkę nawozową. Poniższe metody zostały dobrane ze względu na ich przydatność do analizowania i kwantyfikacji wpływu praktyk rolniczych na środowisko wodne.

Metodyka kartowania przestrzennego nawozów azotowych i fosforowych w UE (Wskaźniki: I.15, I.16, I.17) – ma na celu poprawę jakości wody przez bilans składników pokarmowych na gruntach rolnych oraz zmniejszenie ich wypłukiwania do wód powierzchniowych i gruntowych.

Analiza bilansu składników odżywczych dla wskaźników I.15 oraz I.16 – służy do oceny bilansu składników pokarmowych brutto na gruntach rolnych, co pomaga w zrozumieniu wpływu nawożenia na jakość wód powierzchniowych i gruntowych.

Modele oparte na procesach – SWAT, DYNAMO i EPIC są rekomendowane do wskaźników I.15 oraz I.16, ponieważ pomagają w symulacji procesów transportu i przekształcania składników pokarmowych, co umożliwia ocenę ich wpływu na jakość wody.

Modele empiryczne – GLEAMS oraz PRZM może być użyty do oceny do wskaźników I.15 oraz I.16, ale RUSLE, choć użyteczny w innych kontekstach, nie jest zalecany dla tych wskaźników z powodu wielu parametrów oraz zbioru danych, które są potrzebne, by zbudować ten model.

Metodyka ewaluacyjna dotycząca oceny wpływu PS WPR na jakość wód gruntowych (Wskaźnik I.16) – ocena wpływu na jakość wód gruntowych, jest kluczowa dla ochrony zasobów wodnych.

Analiza statystyczna danych dotyczących zasobów wodnych oraz gospodarki nawozowej – służy do oceny wskaźnika I.17 (Zmniejszanie presji na zasoby wodne) oraz wskaźników I.15 i I.16, co pozwala na lepsze zrozumienie zależności między praktykami rolniczymi a jakością wód powierzchniowych i gruntowych.

Tabela 21. Sugerowane metody badawcze w ocenie skuteczności działań PS WPR mających na celu poprawę jakości wód. Metody rekomendowane zaznaczone są na zielone. Metody częściowo rekomendowane zaznaczone są na żółto, metody nierekomendowane zaznaczone są na czerwono.

Metodyka	Polecane wskaźnik i oddziaływania	Źródła danych	Rekomendacja
Metodyka kartowania przestrzennego nawozów azotowych i fosforowych w UE	I.15 (Poprawa jakości wody: bilans składników pokarmowych brutto na gruntach rolnych), I.16 (Zmniejszenie wypłukiwania składników pokarmowych), I.17 (Zmniejszanie presji na zasoby wodne: wskaźnik zużycia wody)	European Environment Agency, Eurostat	Rekomendacja: Metoda jest rekomendowana. W przypadku Polski dane są dostępne w GUS i ARiMR. Dane pozyskane za pomocą tej metody podlegają analizie statystycznej.
Analiza bilansu składników odżywczych dla wskaźników	I.15 (Poprawa jakości wody: bilans składników pokarmowych brutto na gruntach rolnych), I.16 (Zmniejszenie wypłukiwania składników pokarmowych)	Eurostat, European Environment Agency,	Rekomendacja: Metoda rekomendowana. Dane są dostępne.
Modele oparte na procesach	I.15 (Poprawa jakości wody: bilans składników pokarmowych brutto na gruntach rolnych), I.16 (Zmniejszenie wypłukiwania składników pokarmowych) - SWAT, DYNAMO, EPIC	Nie ma możliwości stworzenia modeli z dostępnych baz danych	Rekomendacja: Metoda nie jest rekomendowana. Dane niepełne, trudno dostępne. Dodatkowo metoda jest bardzo pracochłonna i czasochłonna oraz wymaga ogromnej mocy obliczeniowej. W ograniczonym zakresie modelowanie mogłoby być przeprowadzone np. W Poznańskim Centrum Superkomputerowo-Sieciowym.
Modele empiryczne	GLEAMS (dla wskaźników I.15 i I.16), PRZM (do pestycydów, nie uwzględnione w raporcie), RUSLE (nie zalecane dla wybranych wskaźników oddziaływania)	Nie ma możliwości stworzenia modeli ze dostępnych baz danych	Metoda nie jest rekomendowana. Z powodu braku odpowiednich danych.
Metodyka ewaluacyjna	Ocena wpływu PS WPR na jakość wód gruntowych dla wskaźnika oddziaływania I.16	Bazy monitoringu jakości wód podziemnych MONBADA (MONitoringowa BAza DAnyh). Dane z raportów publikowanych na stronie Inspekcji	Rekomendacja: Metoda rekomendowana częściowo. Dane częściowo dostępne, jednak metoda czasochłonna. Metoda podlega analizie statystycznej.

Metodyka	Polecane wskaźnik i oddziaływania	Źródła danych	Rekomendacja
		Ochrony Środowiska, np. http://mjwp.gios.gov.pl/wyniki-badan/wyniki-badan-2022.html .	
Analiza statystyczna	Zasoby wodne oraz gospodarka nawozowa - wskaźniki I.17 (wskaźnik zużycia wody), I.15 (bilans składników pokarmowych brutto na gruntach rolnych), I.16 (zmniejszenie wypłukiwania składników pokarmowych)	Eurostat ISAMM_GREENING S; FADN; European Environment Agency	Rekomendacja: Metoda rekomendowana. Dane mogą pochodzić z różnych źródeł. Metoda jest ściśle związana z innymi proponowanymi metodami i służy zarówno walidacji danych i tych metod. Metoda statystyczna jest obiektywna i pozwala na wyciągnięcie wniosków dotyczących skuteczności działań PS WPR.

8. Bibliografia

Srivastav, A. L., Patel, N., Rani, L., Kumar, P., Dutt, I., Maddodi, B. S., & Chaudhary, V. K. (2024). Sustainable options for fertilizer management in agriculture to prevent water contamination: a review. *Environment, Development and Sustainability*, 26, 8303–8327

Banotra, M., Kumar, A., Sharma, B. C., Nandan, B., Verma, A., Kumar, R., ... & Bhagat, S. (2017). Prospectus of use of nanotechnology in agriculture—a review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(12), 1541.

Cela, S., Q.M. Ketterings, K.J. Czymmek, M. Soberon, and C.N. Rasmussen (2015). Long-term trends of nitrogen and phosphorus mass balances on New York dairy farms. *Journal of Dairy Science* 98: 7052-7070.

Cela, S., Q.M. Ketterings, M., Soberon, C. Rasmussen, and K.J. Czymmek (2017). Upper Susquehanna watershed and New York State improvements in nitrogen and phosphorus mass balances of dairy farms. *Journal of Soil and Water Conservation* 72(1):1-11. <http://dx.doi.org/10.2489/jswc.72.1.1>.

Chadwick, D., Wei, J., Yan'an, T., Guanghui, Y., Qirong, S., & Qing, C. (2015). Improving manure nutrient management towards sustainable agricultural intensification in China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 209, 34-46.

Chen, H., Zhang, X., Demars, C., & Zhang, M. (2017). Numerical simulation of agricultural sediment and pesticide runoff: RZWQM and PRZM comparison. *Hydrological Processes*, 31(13), 2464-2476.

Ennaji, O., Vergütz, L., & El Allali, A. (2023). Machine learning in nutrient management: A review. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 9, 1-11.

EUROPEAN COMMISSION, EUROSTAT, Directorate E: Sectoral and regional statistics, Unit E-1: Agriculture and fisheries. Methodology and Handbook Eurostat/OECD Nutrient Budgets EU-27, Norway, Switzerland. Date: 17/05/2013. Version: 1.02. Authors: Anne Miek Kremer.

Ferrier, R. C. (1998). The DYNAMO project: An introduction. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2(4), 375-383.

Janjić, J., & Tadić, L. (2023). Fields of application of SWAT hydrological model—a review. *Earth*, 4(2), 331-344.

Kanjana, D. (2017). Advancement of nanotechnology applications on plant nutrients management and soil improvement. *Nanotechnology: Food and environmental paradigm*, 209-234.

Karwat-Woźniak, B. (2019). Wpływ wybranych instrumentów Wspólnej Polityki Rolnej na umacnianie i spowalnianie procesów rozwojowych w polskim rolnictwie. *Nierówności Społeczne a Wzrost Gospodarczy*, 57, s. 304-315. <http://dx.doi.org/10.15584/nsawg.2019.1.21>.

Knisel, W. G., & Douglas-Mankin, K. R. (2012). CREAMS/GLEAMS: Model use, calibration, and validation. *Transactions of the ASABE*, 55(4), 1291-1302.

Kupiec, J. M. (2015). Przegląd metod bilansowania makroskładników NPK w produkcji rolnej. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 18(3), 323-342.

Lychuk, T. E., Izaurralde, R. C., Hill, R. L., McGill, W. B., & Williams, J. R. (2015). Biochar as a global change adaptation: predicting biochar impacts on crop productivity and soil quality for a tropical soil with the Environmental Policy Integrated Climate (EPIC) model. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 20(8), 1437-1458.

Manjunatha, R. L., Naik, D., & Usharani, K. V. (2019). Nanotechnology application in agriculture: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(3), 1073-1083.

Miao, F., Li, Y., Cui, S., Jagadamma, S., Yang, G., & Zhang, Q. (2019). Soil extracellular enzyme activities under long-term fertilization management in the croplands of China: a meta-analysis. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 114, 125-138.

Muchovej, R. M., & Rechcigl, J. E. (2020). Impact of nitrogen fertilization of pastures and turfgrasses on water quality. In *Soil processes and water quality* (pp. 91-135). CRC Press.

Nangia, V., Gowda, P. H., & Mulla, D. J. (2010). Effects of changes in N-fertilizer management on water quality trends at the watershed scale. *Agricultural Water Management*, 97(11), 1855-1860.

Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 24 stycznia 2024 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o nawozach i nawożeniu (Dz. U. z 2024 r. poz. 152).

Ros, M., K.J. Czymmek, and Q.M. Ketterings (2020). Combining field phosphorus runoff risk assessments with whole-farm phosphorus balances to guide manure management decisions. *Journal of Environmental Quality* 49: 496-508. <https://doi.org/10.1002/jeq2.20043>.

Ros, M., O. Godber, A. Olivo, K. Reed, and Q.M. Ketterings (2023). Key nitrogen and phosphorus performance indicators derived from farm-gate mass balances on dairies . *Journal of Dairy Science* (in press).

ROZPORZĄDZENIE WYKONAWCZE KOMISJI (UE) z dnia 3 września 2024 r. ustanawiające zasady stosowania rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2022/2379 w odniesieniu do statystyk dotyczących składników odżywczych (Tekst mający znaczenie dla EOG)

Sishodia, R. P., Ray, R. L., & Singh, S. K. (2020). Applications of remote sensing in precision agriculture: A review. *Remote sensing*, 12(19), 3136.

Soberon, M., S. Cela, Q.M. Ketterings, C.N. Rasmussen, and K.J. Czymmek (2015). Changes in nutrient mass balances over time and related drivers for 54 New York dairy farms. *Journal of Dairy Science* 98: 5313–5329. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2014-9236>.

Ustawa z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu. Dz.U. 2007 nr 147 poz. 1033

Van Almelo, J., Q.M. Ketterings, and S. Cela (2016). Integrating record keeping with whole-farm nutrient mass balance: A case study. *Journal of Agricultural Science* 8:22-32. DOI: [doi:10.5539/jas.v8n6p22](https://doi.org/10.5539/jas.v8n6p22).

Vejan, P., Khadiran, T., Abdullah, R., & Ahmad, N. (2021). Controlled release fertilizer: A review on developments, applications and potential in agriculture. *Journal of controlled Release*, 339, 321-334.

Zhang, Y., Ren, W., Zhu, K., Fu, J., Wang, W., Wang, Z., ... & Yang, J. (2024a). Substituting readily available nitrogen fertilizer with controlled-release nitrogen fertilizer improves crop yield and nitrogen uptake while mitigating environmental risks: A global meta-analysis. *Field Crops Research*, 306, 109221.

Zhang, Y., Zhang, P., Liu, Z., Xing, G., Chen, Z., Chang, Y., & Wang, Q. (2024b). Dynamic analysis of soil erosion in the affected area of the lower Yellow River based on RUSLE model. *Heliyon*, 10(1).