

Przesłano: 23-01-2026

Zaakceptowano do druku: 10-06-2026



CYFROWY SYSTEM WSPOMAGANIA PRODUKCJI ROLNEJ PRZYJAZNEJ DLA ŚRODOWISKA – ZAŁOŻENIA I CELE PROJEKTU ENVIAGRI¹

**Jan Jadczyzszyn², Beata Bartosiewicz³, Tamara Jadczyzszyn⁴, Stefan Pietrzak⁵,
Lidia Dzierzbicka-Głowacka⁶, Ewa Szymańska⁷**

Abstrakt: W artykule przedstawiono założenia, główne cele oraz przyszłe korzyści z wdrożenia projektu EnviAgri „Cyfrowy system wspomagania produkcji rolnej przyjaznej dla środowiska”. Projekt jest finansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu Gospostrateg IX. System EnviAgri będzie bezpłatną aplikacją umożliwiającą prowadzenie kompleksowej oceny wpływu działań podejmowanych w skali pola i gospodarstwa na środowisko - sporządzania bilansu glebowej materii organicznej i bilansów azotu i fosforu „u bramy gospodarstwa” oraz określania emisji amoniaku i gazów cieplarnianych. Efektem stosowania aplikacji będzie ograniczenie presji rolnictwa na środowisko, optymalizacja decyzji podej-

¹ Projekt EnviAgri „Cyfrowy system wspomagania produkcji rolnej przyjaznej dla środowiska”, finansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu Gospostrateg IX (umowa nr GOSPOSTRATEG9/000T/22/P), realizowany jest przez Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk wraz z partnerami: Instytutem Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowym Instytutem Badawczym, Instytutem Technologiczno-Przyrodniczym – Państwowym Instytutem Badawczym oraz Pomorskim Ośrodkiem Doradztwa Rolniczego w Lubaniu.

² Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy (Institute of Soil Science and Plant Cultivation - State Research Institute) | wkład pracy (work input): 35% | ORCID: 0000-0003-4921-7609 | e-mail: jan.jadczyzszyn@iung.pulawy.pl

³ Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy (Institute of Soil Science and Plant Cultivation - State Research Institute) | wkład pracy (work input): 25% | ORCID: 0000-0003-0148-2999 | e-mail: beata.bartosiewicz@iung.pulawy.pl

⁴ Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy (Institute of Soil Science and Plant Cultivation - State Research Institute) | wkład pracy (work input): 10% | ORCID: 0000-0002-4755-6992 | e-mail: tamara.jadczyzszyn@iung.pulawy.pl

⁵ Instytut Technologiczno-Przyrodniczy – Państwowy Instytut Badawczy (Institute of Technology and Life Sciences – National Research Institute) | wkład pracy (work input): 10% | ORCID: 0000-0002-2838-7038 | e-mail: s.pietrzak@itp.edu.pl

⁶ Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk (Institute of Oceanology Polish Academy of Sciences) | wkład pracy (work input): 10% | ORCID: 0000-0001-6151-2390 | e-mail: dzierzbi@iopan.pl

⁷ Pomorski Ośrodek Doradztwa Rolniczego w Lubaniu (Pomeranian Agricultural Advisory Centre in Luban) | wkład pracy (work input): 10% | e-mail: e.szymanska@podr.pl

mowanych przez rolnika w wymiarze środowiskowym i ekonomicznym. Aplikacja EnviAgri składa się z czterech modułów: interfejsu użytkownika, bazy danych, modułu obliczeniowego oraz prezentacji i interpretacji wyników. Rdzeniem systemu jest moduł obliczeniowy, który zawiera szereg algorytmów do oceny wskaźników środowiskowych i ekonomicznych oraz obliczania nadwyżki bezpośredniej dla wszystkich kierunków produkcji rolnej, w tym produkcji zwierzęcej. Może być przydatny w podejmowaniu przez rolnika decyzji produkcyjno-financeowych ukierunkowanych na zwiększenie konkurencyjności gospodarstwa rolnego. System będzie pilotażowo wdrażany na obszarze województwa pomorskiego, a docelowo dostępny dla producentów i doradców rolnych, studentów, uczniów oraz nauczycieli szkół rolniczych w skali kraju.

Słowa kluczowe: cyfryzacja rolnictwa, zrównoważona produkcja rolna, ograniczanie presji rolnictwa, wskaźniki ekonomiczne, system wspomagania decyzji

JEL: Q1

A DIGITAL SYSTEM FOR SUPPORTING ENVIRONMENTALLY FRIENDLY AGRICULTURAL PRODUCTION – ASSUMPTIONS AND OBJECTIVES OF THE ENVIAGRI PROJECT

Jan Jadczyzyn², Beata Bartosiewicz³, Tamara Jadczyzyn⁴, Stefan Pietrzak⁵,
Lidia Dzierzbicka-Głowacka⁶, Ewa Szymańska⁷

Abstract: This article presents the assumptions, main goals, and future benefits of implementing the EnviAgri project, "A Digital Support System for Environmentally Friendly Agricultural Production." The project is funded by the National Centre for Research and Development under the Gospostrateg IX program. The EnviAgri system will be a free application enabling comprehensive assessment of the environmental impact of field- and farm-scale activities. It will also enable developing soil organic matter balances, nitrogen and phosphorus balances "at the farm gate", as well as determining ammonia and greenhouse gas emissions. The use of the application will reduce agricultural pressure on the environment and optimize farmer decisions from an environmental and economic perspective. The EnviAgri application consists of four modules: a user interface, a database, a calculation module, and a results presentation and interpretation module. The core of the system is the calculation module, which contains a series of algorithms for assessing environmental and economic indicators, as well as calculating the gross margin for all types of agricultural production, including livestock production. It is useful for farmers making production and financial decisions aimed at increasing their farm's competitiveness. The system will be piloted in the Pomeranian Voivodeship and will ultimately be available to producers and agricultural advisors, students, pupils, and teachers at agricultural schools nationwide.

Keywords: digitalization of agriculture, sustainable agricultural production, reducing agricultural pressure, economic indicators, decision support system

JEL Classification: Q1

1. Wstęp

Skutkiem intensywnego, nie zrównoważonego rozwoju gospodarczego jest nadmierna eksploatacja zasobów naturalnych, postępująca degradacja środowiska, a nawet zmiany klimatyczne. Rolnictwo pozostaje jednocześnie jednym z głównych źródeł emisji biogenów oraz presji na jakość powietrza w UE, odpowiadając za dominującą część emisji amoniaku, co potwierdzają dane Europejskiej Agencji Środowiska (European Environment Agency, 2025).

W celu ograniczenia wpływu rolnictwa na te niekorzystne zjawiska podejmowane są różnorakie działania ograniczające „ślad środowiskowy” produkcji rolnej. Opracowanie cyfrowego systemu wsparcia produkcji rolniczej jest odpowiedzią na istniejące zagrożenia środowiskowe, postępującą degradację zasobów przyrodniczych i niestabilność produkcji rolniczej (IPCC, 2022; European Commission, 2022). Istotnym elementem tej strategii jest także wdrażanie działań proekologicznych w ramach Wspólnej Polityki Rolnej (WPR) oraz rosnąca rola narzędzi cyfrowych we wspieraniu realizacji zakładanych celów środowiskowych i ekonomicznych (European Commission, 2020; European Commission, 2022; Tur Cardona i in., 2025). Dodatkowo, potrzeba ta jest determinowana przez narastające wymogi prawne w zakresie ochrony środowiska, wynikające z przepisów WPR i prawa krajowego, a także warunkowości i założeń dokumentów strategicznych, takich jak „Długookresowa Strategia Rozwoju Kraju. Polska 2030. Trzecia Fala Nowoczesności”, dyrektywa azotanowa, dyrektywa NEC, Europejski Zielony Ład, strategia od pola do stołu, rolnictwo węglowe, czy zalecenia HELCOMU (Gerek, 2025; Council of the European Communities, 1991; European Parliament and Council, 2016; HELCOM, 2021).

Z analizy systemu doradztwa rolniczego prowadzonego przez służby państwowe, samorządowe oraz firmy komercyjne wynika, że dotychczas w Polsce nie wypracowano ogólnie dostępnych dla rolników narzędzi analitycznych umożliwiających ocenę wpływu produkcji rolniczej na środowisko i optymalizację działań w tym zakresie (Klerkx i in., 2019; Tur Cardona i in., 2025).

Projekt EnviAgri jest pilotażową próbą opracowania narzędzi analitycznych do oceny wpływu działań podejmowanych w skali pola i całego gospodarstwa na środowisko z uwzględnieniem czynników ekonomicznych. Projekt wpisuje się w rozwój koncepcji rolnictwa cyfrowego i inteligentnego, opartego na integracji danych środowiskowych, produkcyjnych i ekonomicznych w celu wspomagania procesu decyzyjnego (Wolfert i in., 2017). Wymiernym efektem projektu będzie opracowanie zintegrowanego cyfrowego systemu i bezpłatne jego udostępnienie

rolnikom w postaci aplikacji mobilnej „EnviAgri” umożliwiającej kompleksową ocenę decyzji realizowanych na poszczególnych etapach produkcji i uwarunkowaniach przyrodniczo-klimatycznych gospodarstwa. System będzie wdrażany na terenie województwa pomorskiego, a docelowo będzie aplikacją powszechnie dostępną dla producentów w całym kraju oraz doradców rolnych, studentów, uczniów i nauczycieli szkół rolniczych.

2. Założenia i cele aplikacji EnviAgri

Założeniem projektu EnviAgri jest stworzenie cyfrowego systemu narzędzi analitycznych w postaci aplikacji ułatwiającej zarządzanie gospodarstwem w kontekście dzisiejszych wyzwań środowiskowych i ekonomicznych. System będzie służył do bieżącej diagnozy prowadzonych działań, oceny zakładanych scenariuszy i podejmowania ostatecznych decyzji w zakresie produkcji roślinnej i zwierzęcej w gospodarstwie rolnym, z uwzględnieniem ich wpływu na jakość środowiska i efektywność ekonomiczną.

Cele projektu EnviAgri mają charakter zarówno naukowy, jak i aplikacyjny. Cele szczegółowe obejmują:

- a) **Ocenę presji środowiskowej rolnictwa** – opracowanie metod ilościowej oceny wpływu produkcji roślinnej i zwierzęcej na jakość gleby, wody, powietrza oraz klimatu, w tym emisji gazów cieplarnianych i strat składników pokarmowych.
- b) **Wspomaganie decyzji produkcyjnych** – dostarczenie użytkownikom narzędzi umożliwiających porównywanie technologicznych wariantów produkcji roślinnej i zwierzęcej pod względem środowiskowym i ekonomicznym oraz prowadzenia zabiegów agrotechnicznych i nawadniania roślin w warunkach zagrożenia suszą.
- c) **Upowszechnianie dobrych praktyk rolniczych** – wspieranie rozwiązań sprzyjających rolnictwu niskoemisyjnemu, racjonalnemu nawożeniu oraz ochronie zasobów glebowych i wodnych.
- d) **Integracje polityk środowiskowych i rolnych** – ułatwienie realizacji wymogów Wspólnej Polityki Rolnej, Zielonego Ładu oraz działań rolno-środowiskowo-klimatycznych, strategii od pola do stołu, rolnictwa węglowego, czy zaleceń HELCOMU⁸ poprzez dostarczanie mierzalnych wskaźników oddziaływania.

⁸ HELCOM – Komisja Helsińska – Komisja Ochrony Środowiska Morskiego Bałtyku – jest regionalną organizacją międzyrządową (ang. *intergovernmental organisation, IGO*), funkcjonującą na podstawie Konwencji o ochronie środowiska morskiego obszaru Morza Bałtyckiego z dnia 9 kwietnia 1992 r. (Konwencji Helsińskiej).

System EnviAgri w oparciu o rzeczywiste dane o produkcji będzie generował szereg wskaźników samooceny gospodarstwa pod kątem jego oddziaływania na środowisko przyrodnicze, a także optymalizacji stosowania środków produkcji. Będzie wskazywał „miejsca wrażliwe” z uwagi na straty składników pokarmowych, ryzyko spadku żyzności gleby, nadmierną emisję gazów cieplarnianych oraz umożliwi tworzenie scenariuszy optymalizacyjnych. W zakresie wskaźników ekonomicznych system EnviAgri umożliwi obliczenie nadwyżki bezpośredniej, która obrazuje zależności między wielkością i wartością produkcji a ilością i wartością zastosowanych środków produkcji.

Wymiernym efektem projektu będzie aplikacja o strukturze modułowej, co umożliwi korzystanie z wybranych, interesujących rolnika elementów całego systemu, takich jak: analiza strat azotu, ocena ryzyka strat fosforu, lub ocena ryzyka zagrożenia suszą rolniczą itd. Wdrożenie aplikacji do praktyki przyczyni się do poprawy zarządzania w gospodarstwach rolnych. Skutkiem tego będzie bardziej efektywne wykorzystanie środków produkcji i zwiększenie opłacalności produkcji rolnej. Oczekiwaną korzyścią społeczną będzie poprawa jakości środowiska przyrodniczego na skutek zmniejszenia strat składników biogennych (azotu i fosforu) oraz ograniczenia emisji gazów do atmosfery.

3. Budowa i zasilanie cyfrowego systemu EnviAgri

System/model EnviAgri ma budowę modułową i składa się z czterech części:

- a) **Interfejsu użytkownika** – umożliwiający zasilenie sytemu danymi z poziomu pola i gospodarstwa. Służy do wprowadzenia przez rolnika danych charakteryzujących produkcję roślinną oraz zwierzęcą w gospodarstwie. Obejmują one informacje dotyczące: rodzaju upraw rolniczych i ogrodniczych; stosowanego płodozmianu oraz poplonów i międzyplonów; rodzaju, sposobu oraz dawek stosowanego nawożenia i środków ochrony roślin; zawartości składników mineralnych (azotu, fosforu, potasu) i odczynu gleby na poszczególnych działkach rolnych/ewidencyjnych. W przypadku produkcji zwierzęcej zawierają szczegółowe informacje z zakresu utrzymywanych gatunków zwierząt i kierunków produkcji zwierzęcej, zużycia środków produkcji, parametrów obrotu stadem, czy uzyskiwanych efektów produkcyjnych, np. średniej wagi sprzedawanego zwierzęcia, ilości mleka od 1 krowy w ciągu roku.
- b) **Modułu mapy „METEO-GLEBA”** – umożliwiający zasilenie sytemu informacjami z zewnętrznych baz danych. Moduł interaktywnej mapy „METEO-GLEBA” zawiera szereg danych przestrzennych charakteryzujących warunki glebowe i agrometeorologiczne przetworzone do kategorii i for-

matów stosowanych w module obliczeniowym. Obejmują one m.in. dane dotyczące: kategorii podatności gleb na suszę rolniczą, kategorii agronomicznej, potencjalnej erozji wodnej, rzeczywistych danych meteorologicznych przetworzonych do wartości klimatycznego bilansu wodnego (KBW) oraz meteorologicznych danych prognozowanych na okres 3 dni. Moduł zasilany jest również danymi uzupełniającymi z bazy:

- Geoportal - zawierającej informacje przestrzenne o lokalizacji działek ewidencyjnych,
- ARiMR - zawierającej informacje o lokalizacji działek rolnych, rodzaju upraw oraz informacje dotyczące produkcji zwierzęcej w gospodarstwie.

System EnviAgri posiada możliwości zasilania (importu) modułu obliczeniowego danymi z innych systemów (aplikacji), pod warunkiem, że będą one eksportowane w ustandaryzowanym formacie.

c) **Modułu obliczeniowego** – rdzenia analitycznego systemu. Moduł obliczeniowy składa się z ośmiu algorytmów szacujących poziom/skalę oddziaływania produkcji rolniczej w gospodarstwie na środowisko oraz jej efekty ekonomiczne:

- B1 – bilansowania azotu i fosforu w skali gospodarstwa metodą „u wrót gospodarstwa”,
- B2 – szacowania strat azotanów wymywanych w głąb profilu glebowego i do wód gruntowych,
- B3 – oceny ryzyka strat fosforu w wyniku erozji wodnej/spływu powierzchniowego,
- B4 – szacowania emisji amoniaku na poziomie gospodarstwa rolnego,
- B5 – szacowania emisji gazów cieplarnianych dwutlenku węgla (CO_2) i podtlenku azotu (N_2O) na poziomie gospodarstwa rolnego,
- B6 – sporządzania bilansu glebowej materii organicznej,
- B7 – prognozowania suszy rolniczej dla poszczególnych upraw na okres 3 dni do przodu,
- B8 – obliczania wskaźników ekonomicznych dla produkcji roślinnej i zwierzęcej, w tym m.in. wielkości nadwyżki bezpośredniej.

Na etapie wdrażania, walidacji i weryfikacji w województwie pomorskim aplikacja EnviAgri będzie zasilana szczegółowymi danymi w zakresie właściwości fizykochemicznych gleb analizowanych w 50 gospodarstwach referencyjnych i 150 polach produkcyjnych zgromadzonych w bazie danych oraz informacji w zakresie produkcji roślinnej i zwierzęcej zgromadzonej w ankietach z tych gospodarstw.

d) **Modułu prezentacji i interpretacji wyników** – przedstawiający efekty końcowe prowadzonych analiz i ocen oraz praktycznych zaleceń dla rolnika w zakresie produkcji roślinnej i zwierzęcej.

Moduł prezentacji i interpretacji wyników pełni funkcję interfejsu pomiędzy złożonymi procesami obliczeniowymi w module obliczeniowym, a użytkownikiem końcowym. Przetwarza wyniki uzyskane w sposób automatyczny z modułu obliczeniowego (B1-B8) do postaci łatwo przyswajalnej dla użytkownika i umożliwia dalszą ich interpretację. Jego zadaniem jest nie tylko przedstawienie wyników w formie graficznej i opisowej, lecz także ich uporządkowanie oraz przygotowanie do praktycznego wykorzystania w toku podejmowania decyzji i optymalizacji działań w gospodarstwie mających wpływ na środowisko i efekty ekonomiczne produkcji rolnej. W ramach Modułu C realizowane są następujące funkcje:

- (C1) generowanie raportów z przeprowadzonych analiz w przejrzystej i czytelnej formie, z możliwością wydruku oraz zapisu na nośniku użytkownika,
- (C2) archiwizacja uzyskanych wyników w odpowiednio zaprojektowanej bazie danych,
- (C3) generowanie rocznych raportów dla poszczególnych powiatów i województw, z opracowywanych na podstawie analiz wykonanych w systemie przez doradców rolnych, z możliwością wydruku oraz zapisu na nośniku użytkownika,
- (C4) przygotowanie danych statystycznych na potrzeby zasilania modelu w pętli sprzężenia zwrotnego.

Od strony technicznej cały system EnviAgri opiera się na modułowej architekturze oprogramowania. Oznacza to, że poszczególne elementy systemu działają niezależnie od siebie, dzięki czemu ewentualna awaria jednego modułu nie wpływa na funkcjonowanie całości. Takie rozwiązanie zwiększa niezawodność systemu oraz ułatwia jego dalszy rozwój i rozbudowę.

Wymiana informacji pomiędzy poszczególnymi modułami będzie odbywała się automatycznie, bez konieczności angażowania użytkownika w skomplikowane operacje techniczne. Rolnik lub doradca wprowadza jedynie niezbędne dane, a pozostałe etapy – ich przetwarzanie, analiza i archiwizacja – realizowane są w tle przez system. Za zgodą użytkownika dane te będą zapisywane w centralnej bazie danych, stanowiącej integralną część całego systemu.

Proces wprowadzania danych oraz ich wizualizacji będzie oparty na technologii responsywnej, umożliwiającej korzystanie z aplikacji webowej na dowolnym urządzeniu (komputer osobisty, tablet, smartfon). Dane użytkownika będą przechowywane w chmurze (po założeniu konta), z aktywnym mechanizmem tworzenia kopii zapasowych. Takie podejście pozwala również na automatyczne definiowanie alertów i wysyłanie powiadomień, na przykład w sytuacji, gdy określony parametr przekroczy zalecany lub bezpieczny zakres wartości. Dzięki temu system staje się praktycznym narzędziem codziennego wsparcia dla rolników, a nie jedynie zbiorem wyników liczbowych.

4. Praktyczne wykorzystanie aplikacji EnviAgri

Stosowanie aplikacji EnviAgri w praktyce umożliwi rolnikowi ograniczyć negatywne oddziaływanie produkcji na środowisko i to zarówno na poziomie pola produkcyjnego, jak i całego gospodarstwa.

Na poziomie pojedynczego pola aplikacja EnviAgri może być wykorzystywana do:

- oceny wpływu konkretnych zabiegów agrotechnicznych na środowisko (np. nawożenia, uprawy gleby),
- identyfikacji pól lub ich części szczególnie narażonych na straty azotu, fosforu i emisję gazów cieplarnianych, a także wyboru optymalnych wariantów nawożenia w danych warunkach glebowo-klimatycznych,
- identyfikacji pól lub ich części zagrożonych występowaniem suszy rolniczej prognozowanej na okres 3 dni do przodu i dostosowania do tego zagrożenia zabiegów agrotechnicznych np. nawadniania,
- planowania działań ograniczających presję środowiskową przy zachowaniu plonowania.

Ocena stopnia zagrożenia niekorzystnymi zjawiskami w skali pola i poszczególnych jego częściach sprzyja wdrażaniu elementów rolnictwa prośrodowiskowego i adaptacyjnego.

Na poziomie gospodarstwa aplikacja EnviAgri umożliwia optymalizację działań zarówno w zakresie produkcji roślinnej, jak i zwierzęcej, a w szczególności:

- kompleksową ocenę oddziaływania całej działalności rolniczej na środowisko,
- bilansowanie składników nawozowych, określenie emisji amoniaku i bilansowanie glebowej materii organicznej w gospodarstwie ujęciu systemowym,
- obliczanie kosztów i podstawowych wskaźników ekonomicznych, w tym nadwyżki bezpośredniej dla poszczególnych działów produkcji roślinnej zwierzęcej w gospodarstwie według metodologii UE,
- analizę zgodności praktyk rolniczych z wymogami środowiskowymi i klimatycznymi,
- wsparcie doradców rolnych w przygotowywaniu planów nawożenia i działań rolno-środowisko-klimatycznych.

Projekt EnviAgri wpisuje się w aktualne kierunki rozwoju rolnictwa, w tym rolnictwa proekologicznego, w których ogromne znaczenie mają: cyfryzacja, integracja danych oraz podejście oparte na dowodach naukowych. Umożliwia rozpoznanie obszarów wrażliwych na degradację i przełożenie złożonych procesów środowiskowych na czytelne wskaźniki i rekomendacje praktyczne, co zwiększa szanse na realne wdrożenie zasad zrównoważonego gospodarowania w skali pola i gospodarstwa. Jest narzędziem wspierającym edukację rolników oraz procesy decyzyjne w administracji rolnej i środowiskowej.

5. Podsumowanie

Aplikacja EnviAgri będzie innowacyjnym i praktycznym rozwiązaniem dla rolnika łączącym naukę, technologię cyfrową i praktykę rolniczą. Zastosowane w aplikacji moduły obliczeniowe wykorzystujące informacje zawarte w bazie danych glebowych, bieżących i prognozowanych danych pogodowych oraz informacje zgromadzone w bazie ARiMR umożliwią rolnikowi przeprowadzenie kompleksowej oceny oddziaływania produkcji roślinnej i zwierzęcej na środowisko przyrodnicze. Ułatwią dokonanie optymalnego doboru upraw i zabiegów agrotechnicznych, szczególnie na obszarach wrażliwych na procesy degradacji i zagrożonych suszą rolniczą. Przyczynią się do realnego ograniczania negatywnego oddziaływania rolnictwa na środowisko, przy jednoczesnym wsparciu efektywności ekonomicznej produkcji. W dłuższej perspektywie EnviAgri może stać się ważnym narzędziem wspierającym transformację polskiego rolnictwa niezależnie od skali i intensywności produkcji w kierunku większej odporności środowiskowej i klimatycznej.

System będzie pilotażowo wdrażany na obszarze województwa pomorskiego, a docelowo dostępny dla wszystkich producentów i doradców rolnych, studentów, uczniów oraz nauczycieli kierunków szkół rolniczych w skali kraju.

LITERATURA

1. Council of the European Communities. (1991). *Council Directive 91/676/EEC of 12 December 1991 concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources*. *Official Journal of the European Communities*, L 375, 1–8.
2. European Commission. (2020, May 20). *A Farm to Fork Strategy for a Fair, Healthy and Environmentally-Friendly Food System* (COM(2020) 381 final). European Commission.
3. European Commission. (2022, August 31). *Commission Implementing Decision of 31 August 2022 approving the 2023–2027 CAP Strategic Plan of Poland for Union support financed by the European Agricultural Guarantee Fund and the European Agricultural Fund for Rural Development* (C(2022) 6018 final). European Commission.
4. European Parliament & Council of the European Union. (2016). *Directive (EU) 2016/2284 of the European Parliament and of the Council of 14 December 2016 on the reduction of national emissions of certain atmospheric pollutants*. *Official Journal of the European Union*, L 344, 1–31.
5. European Environment Agency. (2025). *Ammonia emissions from agriculture and other sources (indicator)*. <https://www.eea.europa.eu/en/european-zero-pollution-dashboards/indicators/ammonia-emissions-from-agriculture-and-other-sources-indicator>
6. Gerek, K. (2025). *Warunkowość*. Warmińsko-Mazurski Ośrodek Doradztwa Rolniczego w Olsztynie. <https://wmodr.pl/plan-strategiczny-2023-2027/wykaz-norm-i-wymogow-w-zakresie-warunkowosci/6658>

7. Helsinki Commission (HELCOM). (2021). *HELCOM recommendations and actions to reduce nutrient inputs from agriculture*. Helsinki Commission. <https://helcom.fi/>
8. IPCC. (2022). *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability* (Working Group II contribution to the Sixth Assessment Report; Chapter 13: Europe). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
9. Klerkx, L., Jakku, E., & Labarthe, P. (2019). A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0. *NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences*, 90–91, 100315. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.100315>
10. Tur-Cardona, J., Ciaian, P., Antonioli, F., Fellmann, T., Rocciola, F., Ierardi, I., Crimeni, R., & Anastasiou, E. (2025). *The state of digitalisation in EU agriculture: Insights from farm surveys* (JRC141259). Publications Office of the European Union. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC141259>
11. Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M.-J. (2017). Big Data in smart farming—A review. *Agricultural Systems*, 153, 69–80. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>