

Analiza ryzyka erozyjnych strat nadmiaru fosforu

1. Wstęp

Fosfor (P) jako pierwiastek biogeny jest niezbędny do prawidłowego wzrostu i plonowania roślin. Funkcje fizjologiczne fosforu są szeroko rozpoznane i dokładnie opisane w literaturze. Fosfor nie tylko buduje nić DNA i stanowi niezbędny składnik szeregu związków organicznych i wielu enzymów, ale za pośrednictwem wysokoenergetycznych związków fosforanowych typu ADP lub ATP staje się głównym przenośnikiem i akumulatorem energii w procesach biochemicznych. Jako czynnik warunkujący ilość i jakość polonów stanowi obok azotu główny składnik wnoszony na pola z nawozami mineralnymi i naturalnymi.

O naturalnej zasobności gleby w fosfor w głównej mierze stanowi zawartość tego składnika w skale macierzystej, z której gleba została wytworzona. W glebach istnieje duże zróżnicowanie form fosforu. Wśród najczęściej występujących możemy wskazać min. mineralne i organiczne związki P w roztworze glebowym, trudno-rozpuszczalne formy z żelazem, glinem czy wapniem, słabo związane z fazą stałą gleby, związane przez minerały ilaste i związki próchniczne oraz nierozpuszczalne związki organiczne jak próchnica glebowa czy biomasa glebowa.

Igras i Fotyma wskazali trzy główne drogi strat fosforu z gleb do wód. Są to: spływ powierzchniowy, pobranie przez rośliny i wymywanie z gleb (Igras i Fotyma, 2012). Jak wynika z badań na lizymetrach straty fosforu na drodze wymywania są mało istotne, zatem w tym opracowaniu zostały pominięte.

Emisje fosforu do wód stanowią poważne zagrożenie środowiskowe powodowane m.in. eutrofizacją. Fosfor w wodach stymuluje wzrost alg i glonów do krytycznego punktu, kiedy to z powodu braku tlenu wzrost materii organicznej zanika i następuje jej rozkład. Podczas rozkładu materii organicznej następuje dalsze zużycie tlenu, co powoduje utratę bioróżnorodności, degradację ekosystemów i szkody dla ryb i innych zwierząt wodnych, włącznie z możliwością ich uduszenia. Dodatkowo, podczas rozkładu materii organicznej powstają odory zmniejszające także wartość estetyczną, rekreacyjną i ekonomiczną środowiska wodnego. Niektóre szczepy sinic mogą ponadto wydzielać szkodliwe toksyny, które mogą wyeliminować wykorzystywanie zbiornika dla celów zaopatrywania ludności w wodę pitną, stwarzając również (jeśli zakwit sinic nie zostanie odpowiednio wcześniej zauważony) zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi i zwierząt gospodarskich.

W Polsce, dotychczas, wykorzystywano głównie wskaźniki agrochemiczne do oceny ryzyka zanieczyszczenia wód. Klasyfikacja zasobności gleby w ten pierwiastek jest jednak ukierunkowana na oczekiwaną odpowiedź roślin w postaci plonu i nie informuje nas o wielkości ryzyka strat P z gleby i stopnia zanieczyszczenia środowiska wodnego. Niestety wiele wyników badań pokazuje, że ilość fosforu oznaczonego w próbie glebowej nie jest wiarygodną informacją o ryzyku zanieczyszczenia wód. Dotychczasowe podejście bazujące na testach glebowych nie odzwierciedla bowiem ryzyka spływu powierzchniowego do rzek, trudniej daje się też „przełożyć” ilościowo. Badania prowadzone pod auspicjami National Phosphorus Research Project (USA) jasno pokazują, że ilość fosforu rozpuszczonego Prozp w wodach odpływu jest skorelowana z wynikiem testów glebowych Mehlich 3 wyłącznie na polach, które w ciągu ostatnich 6 miesięcy nie otrzymywały żadnego nawożenia. Jeżeli natomiast nawożenie było stosowane, to niektóre badania wykazują wręcz brak związku między zawartością fosforu w glebie a faktycznym zanieczyszczeniem środowiska wodnego.

Należy podkreślić, że ryzyko strat fosforu do wód nie jest równoznaczne z zagrożeniem nadmiarem fosforu w glebach. Nadmiar fosforu w glebach można oceniać wyłącznie w dwóch aspektach: pojemności buforowej gleby lub potrzeb pokarmowych roślin. Ryzyko strat fosforu do wód powiązane jest z czynnikami warunkującymi transport fosforu do zbiorników wodnych, np. na drodze erozji.

Erozja powierzchni ziemi oznacza zespół procesów degradacyjnych obejmujących przeobrażenia: rzeźby terenu, pokrywy glebowej i stosunków wodnych. Jeśli zachodzi w warunkach naturalnych, wyłącznie pod wpływem sił przyrody - wody, wówczas określa się ją jako geologiczną. Natomiast w środowisku podlegającym działalności człowieka dominuje erozja przyśpieszona (antropogeniczna). W związku ze znacznym rozszerzeniem działalności człowieka obecnie na świecie dominuje erozja przyśpieszona, inicjowana i potęgowana różnymi formami antropopresji. Przestrzenne rozmieszczenie i nasilenie erozji zależy od czynników przyrodniczych (erozja potencjalna) i przyrodniczo - gospodarczych (erozja aktualna). Puławski Ośrodek Badań Erozyjnych opracował grupę wskaźników charakteryzujących rozkład przestrzenny potencjalnego i rzeczywistego nasilenia erozji wodnej. Należą do niej 3 wskaźniki: zagrożenie erozją wodną potencjalną, nasilenie erozji wodnej aktualnej. Wskaźnik zagrożenia erozją wodną potencjalną służy do określania możliwości pojawienia się erozji o danym stopniu nasilenia na podstawie informacji o spadkach, pokrywie glebowej oraz średniej rocznej sumie opadów dla danego obszaru. Jest on

szczególnie użyteczny przy ocenie zmian użytkowania terenu, np. likwidacji użytków zielonych itp.

Wskaźnik zagrożenia erozją wodną aktualną wprowadza do mapy erozji wodnej potencjalnej element użytkowania terenu i układu działek. I tak: pod zalesieniami przyjmuje się całkowity brak erozji. Na obszarach pod sadami, w darni oraz pod zadarnieniami, a także w poprzecznostokowym układzie działek zagrożenie zmniejsza się, zaś wzdłuż- i skośnostokowy schemat rozmieszczenia pól uprawnych zwiększa zagrożenie erozją.

Fosfor pod wpływem opadów jest ługowany w głąb profilu glebowego oraz wmywany przez spływ powierzchniowy w formie rozpuszczonej i związanej z erodowanym materiałem glebowym. Szkodliwe działanie procesów erozyjnych jest powszechnie znane i niesie ze sobą wiele problemów środowiskowych związanych z degradacją gleby, zanieczyszczeniem wód powierzchniowych, ograniczeniem bioróżnorodności i trwałymi zmianami w krajobrazie rolniczym. Spływ powierzchniowy i wody gruntowo-glebowe z obszarów przyrzecznych odpowiadają za przenoszenie 88% azotanów i aż 98% ortofosforanów (Banaszuk i wsp. 2009). Erozja nastręcza również wiele problemów ekonomicznych dotyczących wymiernych strat w rolnictwie

Metodyka

2.1. Erozja

Analizę ryzyka strat erozyjnych nadmiaru fosforu wykonano na podstawie wskaźnika erozji wodnej aktualnej, według metody Anny i Czesława Józefaciuków (1996), która wprowadza sześć stopni intensywności erozji wodnej powierzchniowej na podstawie wydzielenia metodą *overlay* z warstw reprezentujących następujące zmienne: gatunek gleby, spadki terenu, średni roczny opad i typy użytkowania terenu. Ponieważ wskaźnik erozji wodnej potencjalnej jest interpretowany jako intensywność erozji na gruncie ornym utrzymywanym w czarnym ugorze, więc regułą decyzyjną metody wyznaczania erozji wodnej aktualnej można przedstawić jako tabelę wskaźników redukcji potencjalnego zagrożenia erozją wodną powierzchniową (Tabela 4), przypisanych poszczególnym typom użytkowania terenu wyróżnionym w bazie danych CORINE CLC2000. Dane CORINE Land Cover obejmują głównie typ użytkowania terenu (CORINE, 1992, Bittner i in. 2002), bez uwzględnienia informacji o agrotechnice (Tabela 1). Uproszczono oryginalną metodykę, zakładając, że wszystkie rolnicze typy użytkowania terenu **nie są** utrzymywane w sposób przeciwerozynyjny. Użyta do analizy cyfrowa mapa erozji wodnej potencjalnej stanowi generalizację oryginalnej mapy i zawiera tylko 3 klasy nasilenia erozji

wodnej, dlatego też konieczne przetworzenie 3-klasowego podziału na 5-klasowy (Tabela 2). Ponieważ klasy 1 i 2 oraz 4 i 5 podziału pięcioklasowego nie znajdowały bezpośredniego odpowiednika w podziale trójklasowym, więc założono dwa przypadki: minimalnej i maksymalnej wartości klas odpowiadających 1 i 3 klasie w podziale trójklasowym. Otrzymane wyniki należy traktować jako minimalną i maksymalną granicę przedziału aktualnego zagrożenia erozją wodną. Mapy wynikowe otrzymano po zastosowaniu modelu opartego na module Modeler, systemu ERDAS Imagine, realizującego operacje przecięcia warstw przestrzennych potencjalnej erozji wodnej, stanowiącej część systemu AGROGIS, oraz warstwy wektorowej CORINE Land Cover 2000.

Tabela 1. Klasyfikacja użytków wg CORINE CLC 2000.

	Klasyfikacja użytków wg CORINE CLC2000			Klasyfikacja ogólna użytków
	Label Level1	Label Level2	Label Level3	
111	Artificial surfaces	Urban fabric	Continuous urban fabric	zabudowa
112	Artificial surfaces	Urban fabric	Discontinuous urban fabric	zabudowa
121	Artificial surfaces	Industrial, commercial and transport units	Industrial or commercial units	zabudowa
122	Artificial surfaces	Industrial, commercial and transport units	Road and rail networks and associated land	zabudowa
123	Artificial surfaces	Industrial, commercial and transport units	Port areas	zabudowa
124	Artificial surfaces	Industrial, commercial and transport units	Airports	zabudowa
131	Artificial surfaces	Mine, dump and construction sites	Mineral extraction sites	zabudowa
132	Artificial surfaces	Mine, dump and construction sites	Dump sites	zabudowa
133	Artificial surfaces	Mine, dump and construction sites	Construction sites	zabudowa
141	Artificial surfaces	Artificial, non-agricultural vegetated areas	Green urban areas	użytki zielone
142	Artificial surfaces	Artificial, non-agricultural vegetated areas	Sport and leisure facilities	zabudowa
211	Agricultural areas	Arable land	Non-irrigated arable land	użytki orne
212	Agricultural areas	Arable land	Permanently irrigated land	użytki orne
213	Agricultural areas	Arable land	Rice fields	użytki orne
221	Agricultural areas	Permanent crops	Vineyards	sady i uprawy rzędowe

222	Agricultural areas	Permanent crops	Fruit trees and berry plantations	sady i uprawy rządowe
223	Agricultural areas	Permanent crops	Olive groves	sady i uprawy rządowe
231	Agricultural areas	Pastures	Pastures	użytki zielone
241	Agricultural areas	Heterogeneous agricultural areas	Annual crops associated with permanent crops	sady i uprawy rządowe
242	Agricultural areas	Heterogeneous agricultural areas	Complex cultivation patterns	sady i uprawy rządowe
243	Agricultural areas	Heterogeneous agricultural areas	Land principally occupied by agriculture, with significant areas of natural vegetation	użytki zielone
244	Agricultural areas	Heterogeneous agricultural areas	Agro-forestry areas	zalesienia i zadrzewienia
311	Forest and semi natural areas	Forests	Broad-leaved forest	zalesienia i zadrzewienia
312	Forest and semi natural areas	Forests	Coniferous forest	zalesienia i zadrzewienia
313	Forest and semi natural areas	Forests	Mixed forest	zalesienia i zadrzewienia
321	Forest and semi natural areas	Scrub and/or herbaceous vegetation associations	Natural grasslands	użytki zielone
322	Forest and semi natural areas	Scrub and/or herbaceous vegetation associations	Moors and heathland	użytki zielone
323	Forest and semi natural areas	Scrub and/or herbaceous vegetation associations	Sclerophyllous vegetation	użytki zielone
324	Forest and semi natural areas	Scrub and/or herbaceous vegetation associations	Transitional woodland-shrub	użytki zielone
331	Forest and semi natural areas	Open spaces with little or no vegetation	Beaches, dunes, sands	użytki wyłączone z analizy
332	Forest and semi natural areas	Open spaces with little or no vegetation	Bare rocks	użytki wyłączone z analizy
333	Forest and semi natural areas	Open spaces with little or no vegetation	Sparsely vegetated areas	użytki szczególnie podatne
334	Forest and semi natural areas	Open spaces with little or no vegetation	Burnt areas	użytki szczególnie podatne
335	Forest and semi natural areas	Open spaces with little or no vegetation	Glaciers and perpetual snow	użytki wyłączone z analizy
411	Wetlands	Inland wetlands	411-523	użytki wyłączone z analizy
412	Wetlands	Inland wetlands	Peat bogs	użytki wyłączone z analizy
421	Wetlands	Maritime wetlands	Salt marshes	użytki wyłączone z analizy
422	Wetlands	Maritime wetlands	Salines	użytki wyłączone z analizy
423	Wetlands	Maritime wetlands	Intertidal flats	użytki wyłączone z analizy

511	512.521.522.523	Inland waters	Water courses	użytki wyłączone z analizy
-----	-----------------	---------------	---------------	----------------------------

Następnie model wykonał reklasyfikację i operacje arytmetyczną na bazie danych, stosując wskaźniki redukcji zagrożenia erozją wodną powierzchniową przyporządkowane odpowiednim klasom użytkowania terenu CORINE Land Cover 2000 (Tabela 3).

Tabela 2. Metoda wyznaczania stopni zagrożenia erozją wodną powierzchniową

Gleby według podatności na zmywy powierzchniowe	2. Spadki terenu [%]				
	0 - 6	6 - 10	10– 18	18 - 27	>27
	Stopnie zagrożenia erozją				
Bardzo silnie podatne: gleby lessowe i lessowate, pyłowe, pyłowe wodnego pochodzenia	1	2	3	4	5
Silnie podatne: piaski luźne, gleby piaszczyste, rędziny kredowe i jurajskie	1	1; 2	2; 3	3; 4	5
Średnio podatne: piaski słabogliniaste, gliniaste, kompleks piasków gliniastych i słabogliniastych, gleby żwirowe, rędziny trzeciorzędowe i starszych formacji	1	1; 2	2; 3	3; 4	4; 5
Słabo podatne: gleby lekkie – gliny piaszczyste i piaski naglinowe, gleby średnie, gliniaste wytworzone ze skał osadowych o spoiwie węglanowym – niewapiennym	0	1	2	3	4; 5

Bardzo słabo podatne: gleby ciężkie, ilaste, skaliste-skały, szkieletowe, wytworzone ze skał o spoiwie niewęglanowym, wytworzone ze skał krystalicznych, torfy-niskie, przejściowe i wysokie	0	1	1; 2	2; 3	3; 4; 5
--	---	---	------	------	---------

Objaśnienie do tabeli 1:

w przypadku podanych jednocześnie dwóch stopni erozji przyjmuje się niższy stopień przy rocznych opadach do 600 mm, a wyższy przy opadach powyżej 600 mm.

Stopnie zagrożenia erozją wodną powierzchniową:

0. **brak erozji:** erozja nie występuje na danym obszarze;
1. **erozja słaba:** powoduje tylko niewielkie zmywy powierzchniowe gleby;
2. **erozja umiarkowana:** prowadzi do wyraźnego zmywania poziomu orno-próchnicznego i pogarszania właściwości gleby. Pełna regeneracja ubytków nie zawsze jest możliwa w toku uprawy konwencjonalnej;
3. **erozja średnia:** może doprowadzać do zupełnego zredukowania poziomu orno-próchnicznego i tworzenia się gleb o typologicznie niewykształconym profilu (zmywanych i namywanych). Zapoczątkowuje rozczłonkowanie się terenu i jest źródłem znacznej ilości rumowiska dostarczanego do rzek;
4. **erozja silna:** może przyczyniać się do zniszczenia całego profilu gleby, a nawet części podłoża, z czym wiążą się zmiany pokrywy glebowej o charakterze typologicznym. Wynikiem jej jest duże rozczłonkowanie rzeźby terenu i zakłócenie stosunków wodnych (nieregularne przepływy i zanieczyszczenie wód rzecznych);
5. **erozja bardzo silna** — w skutkach podobna do silnej lecz intensywniej wyrażona i prowadząca do trwałego degradowania ekosystemów.

Tabela 3. Współczynniki redukcji wskaźnika erozji wodnej potencjalnej względem klas CORINE 2000.

Klasy użytkowanie CLC2000 / Corine Land Cover classes				Reduction factor Wskaźnik redukcji
N o	Label Level1	Label Level2	Label Level3	

11 1	Obszary antropogeniczne Artificial surfaces	Urban fabric	Continuous urban fabric	4
11 2			Discontinuous urban fabric	4
12 1		Industrial, commercial and transport units	Industrial or commercial units	5
12 2			Road and rail networks and associated land	5
12 3			Port areas	3
12 4			Airports	5
13 1		Mine, dump and construction sites	Mineral extraction sites	1
13 2			Dump sites	5
13 3			Construction sites	0
14 1		Artificial, non-agricultural vegetated areas	Green urban areas	3
14 2			Sport and leisure facilities	2
21 1	Obszary rolnicze Agricultural areas	Arable land	Non-irrigated arable land	0
22 2		Permanent crops	Fruit trees and berry plantations	2
23 1		Pastures	Pastures	3
24 2		Heterogeneous agricultural	Complex cultivation patterns	1
24 3			Land principally occupied by agriculture, with significant areas of natural vegetation	1
31 1	Obszary leśne i półnaturalne Forest and semi natural areas	Lasy / Forests	Broad-leaved forest	5
31 2			Coniferous forest	5
31 3			Mixed forest	5
32 1		Scrub and/or herbaceous vegetation associations	Natural grasslands	3
32 2			Moors and heathland	3
32 4			Transitional woodland-shrub	3
33 1		Open spaces with little or no vegetation	Beaches, dunes, sands	5
33 2			Bare rocks	5
33 3			Sparsely vegetated areas	0

33 4			Burnt areas	0
411 -523	Bagna i wody śródlądowe / Wetlands and inland waters			5

Gleby	Nachylenie terenu	Pola małoobszarowe						Sady		Trwałe użytki zielone
		zmianowanie dowolne oraz układ pól i kierunek uprawy			zmianowanie przeciw-erozyjne oraz układ pól i kierunek uprawy			na tarasach oraz w darni	w poprzeczno-stokowych pasach darni	
		wzdłuż i skośno-stokowy	poprzeczno-stokowy	tara-sy	wzdłuż i skośno-stokowy	poprzeczno-stokowy	tara-sy			
Bardzo silnie podatne lessowe i lessowate)ls), pyłowe (pł), pyłowe wodnego pochodzenia (płw)	do 3° 3–6° 6–10° 10–15° >15°	1 2 3 4 5	0 0 1 2 3	0 0 1 2 3	0 1 2 3 4	0 0 0 1 2	0 0 0 1 2	0 0 0 1 2	0 0 1 2 3	0 0 0 1 2
Silnie podatne piaski luźne (pl), piaszczyste (p), rędziny kredowe (k), rędziny jurajskie (j)	do 3° 3–6° 6–10° 10–15° >15°	1 1,2 2,3 3,4 5	0 0 1 1,2 3	0 0 0,1 1,2 3	0 0,1 1,2 2,3 4	0 0 0 0,1 2	0 0 0 0,1 2	0 0 0 0,1 2	0 0 0,1 1,2 2	0 0 0 0,1 2
Średnio podatne piaski słabogliniaste (ps), piaski gliniaste (pg), kompleks piasków gliniastych i słabogliniastych (pgs), żwirowe (ż), rędziny trzeciorzędowe (tr), rędziny starszych formacji geologicznych (ts)	do 3° 3–6° 6–10° 10–15° >15°	0,1 1,2 2,3 3,4 4,5	0 0 0,1 1,2 2,3	0 0 0,1 1,2 2,3	0 0,1 1,2 2,3 3,4	0 0 0 0,1 1,2	0 0 0 0,1 1,2	0 0 0 0,1 1,2	0 0 0,1 1,2 2,3	0 0 0 0,1 1,2
Słabo podatne lekkie — gliny piaszczyste i piaski naglinowe (gl), średnie (gs), gliniaste (g), wytworzone ze skał osadowych o spoiwie węglanowym niewapiennych (")	do 3° 3–6° 6–10° 10–15° >15°	0 0 0 3 4,5	0 0 0 1 2,3	0 0 1 1 2,3	0 0 0 2 3,4	0 0 0 0 1,2	0 0 0 0 1,2	0 0 0 0 1,2	0 0 0 0 2,3	0 0 0 0 1,2
Bardzo słabo podatne ciężkie (gs), ilaste (it), skaliste skały (sk), szkieletowe (sz), wytworzone ze skał o spoiwie niewęglanowym (o), wytworzone ze skał krysta-licznych, torfy niskie (n), torfy przejściowe	do 3° 3–6° 6–10° 10–15° >15°	0 0,1 1,2 2,3 3,4	0 0 0 0,1 1,2	0 0 0 0,1 1,2	0 0 0,1 1,2 2,3	0 0 0 0 0,1	0 0 0 0 0,1	0 0 0 0 0,1	0 0 0 0,1 1,2	0 0 0 0 0,1

Tabela 4. Reguła decyzyjna dla określania występowania erozji wodnej powierzchniowej (erozja wodna aktualna).

Na potrzeby niniejszego opracowania, mając na względzie aspekt strat fosforu do wód, redefiniowano klasyfikację zagrożenia erozją wodną powierzchniową wg poniższego podziału:

stopień 0 – brak ryzyka erozyjnych strat fosforu – **klasa 1 ryzyka**

stopnie 1-2 – słabe ryzyko erozyjnych strat fosforu do wód – **klasa 2 ryzyka**

stopnie 3-5 – znaczące ryzyko erozyjnych strat fosforu do wód – **klasa 3 ryzyka.**

2.2. Zasobność

Na potrzeby oceny zagrożenia nadmiarem fosforu w Polsce w aspekcie potencjalnych strat fosforu do wód wykorzystano bazę próbek glebowych (n=29938) zgromadzoną w ramach zadania PIB 1.3 na lata 2016-2020 „Monitorowanie różnych parametrów środowiska glebowego dla właściwej oceny WPR”. Z analizy wyłączono próbki, w których zidentyfikowano gleby organiczne, tj. te zawierające powyżej 20% węgla organicznego (Corg). Gleby te stanowiły poniżej 3% badanych gleb. Dalsze analizy zostały więc przeprowadzone dla gleb mineralnych. Zidentyfikowano brak korelacji pomiędzy cechami: odczyn gleby (pH) a zawartość fosforu dostępnego w glebie (P_{dost.}), pH a natężenie erozji, Corg a natężenie erozji, Corg a P_{dost.} Do dalszych analiz włączono zatem finalnie dwa parametry: natężenie erozji oraz zawartość fosforu dostępnego w glebie P_{dost.}

Zawartość fosforu dostępnego w glebie pogrupowano wg ryzyka strat fosforu modyfikując klasyfikację zasobności wg metody Egnera-Riehma (Tabela 5).

Tabela 5. Klasy zasobności przyswajalnego fosforu w glebie wg metody Egnera-Riehma

Klasa zasobności	Zawartość P mg P ₂ O ₅ /100 g gleby
Bardzo niska	<5,0
Niska	5,1-10,0
Średnia	10,1-15,0
Wysoka	15,1-20,0
Bardzo wysoka	>20,0

Zaadaptowano istniejącą klasyfikację, tak by wyrażała ona nie prognozowaną odpowiedź plonu a potencjalne ryzyko strat nadmiarowych ilości fosforu. Wyznaczono poniższe klasy ryzyka strat fosforu:

- $P_{dost} < 15$ mg/100 g gleby - bardzo niskie prawdopodobieństwo strat fosforu glebowego – 1 klasa ryzyka
- $P_{dost} 15 - 30$ mg/100 g gleby - małe prawdopodobieństwo strat fosforu glebowego – 2 klasa ryzyka
- $P_{dost} > 30$ mg/100 g gleby - duże prawdopodobieństwo strat fosforu glebowego – 3 klasa ryzyka.

W celu przeprowadzenia oceny czynników ryzyka związanych z erozyjnymi stratami nadmiaru fosforu do wód utworzono macierz ryzyka wg Polskiej Normy PN-N-18002, wg poniższego schematu:

Prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożeń	Ciężkość następstw/ zagrożeń		
	Mała	Średnia	Duża
Małe	małe	małe	średnie
Średnie	małe	średnia	duże
Duże	średnie	duże	duże

Schemat 1. Matryca ryzyka

3. Wyniki I ich omówienie

Wyniki analiz wskazują, że erozja wodna aktualna o nasileniu od średniego do bardzo silnego występuje na 7,1% powierzchni kraju, przy czym obszary jej podlegające zlokalizowane są głównie na wyżynach, pogórzach i pojezierzach, charakteryzujących się bogatą rzeźbą terenu (Mapa 1). Ogólna powierzchnia kraju, zagrożona erozją wodną powierzchniową przy aktualnym użytkowaniu terenu wg CORINE Land Cover 2000 zawiera się między 16,4 a 18,2% powierzchni lądowej Polski. Szczegółowe wyniki są zawarte w Tabeli 6.

Tabela 6. Ryzyko erozyjnych strat fosforu na drodze erozji wodnej (za: Wawer, Nowocień 2007).

Ryzyko erozyjnych strat fosforu	Powierzchnia kraju	
	ha	%
klasa 1 ryzyka (0)	25 506 368	81,6
klasa 2 ryzyka (1)	3 518 605	11,3
klasa 3 ryzyka (2)	2 227 805	7,1

Uzyskane wyniki analiz glebowych pokazują, że średnia zawartość P_2O_5 w glebach wynosiła 16,25 mg/100 g gleby, przy medianie 11,20 mg. Maksymalna oznaczona zawartość fosforu wyniosła 840 mg/100 g gleby, zaś minimalna 0,30 mg/100 g gleby. Najwięcej, bo aż 65,4% badanych próbek ($n=18897$) należy do 1 klasy ryzyka, tj. bardzo niskiego prawdopodobieństwa strat fosforu glebowego ze względu na dużą zawartość fosforu w glebie. Do klasy 2 (małe prawdopodobieństwo strat fosforu glebowego) przyporządkowano 23,8 % badanych próbek ($n= 6862$). Najmniej próbek wykazywało duże prawdopodobieństwo strat fosforu glebowego, tj. do 3 klasy ryzyka strat fosforu ze względu na wysoką zawartość fosforu w glebie przyporządkowano jedynie 10, 8% próbek glebowych, tj. 3126 prób.

Finalne wyniki analizy ryzyka strat nadmiaru fosforu do wód zaprezentowano w Tabeli 8. Zdecydowana część obszaru Polski (75,76%) wykazuje niskie ryzyko strat fosforu do wód. Wynika to zarówno z faktu niskiej zawartości fosforu w glebie jak i braku sprzyjających warunków transportu do wód. Podwyższone ryzyko strat fosforu do wód zdefiniowano dla blisko 20% analizowanych prób. Jako zjawisko pozytywne należy uznać, że wysokie ryzyko strat fosforu do wód zostało wyznaczone tylko dla 4,38 % badanych pomiarów. Są one zlokalizowane głównie w województwie wielkopolskim, śląskim, podkarpackim i małopolskim (Mapa 2).

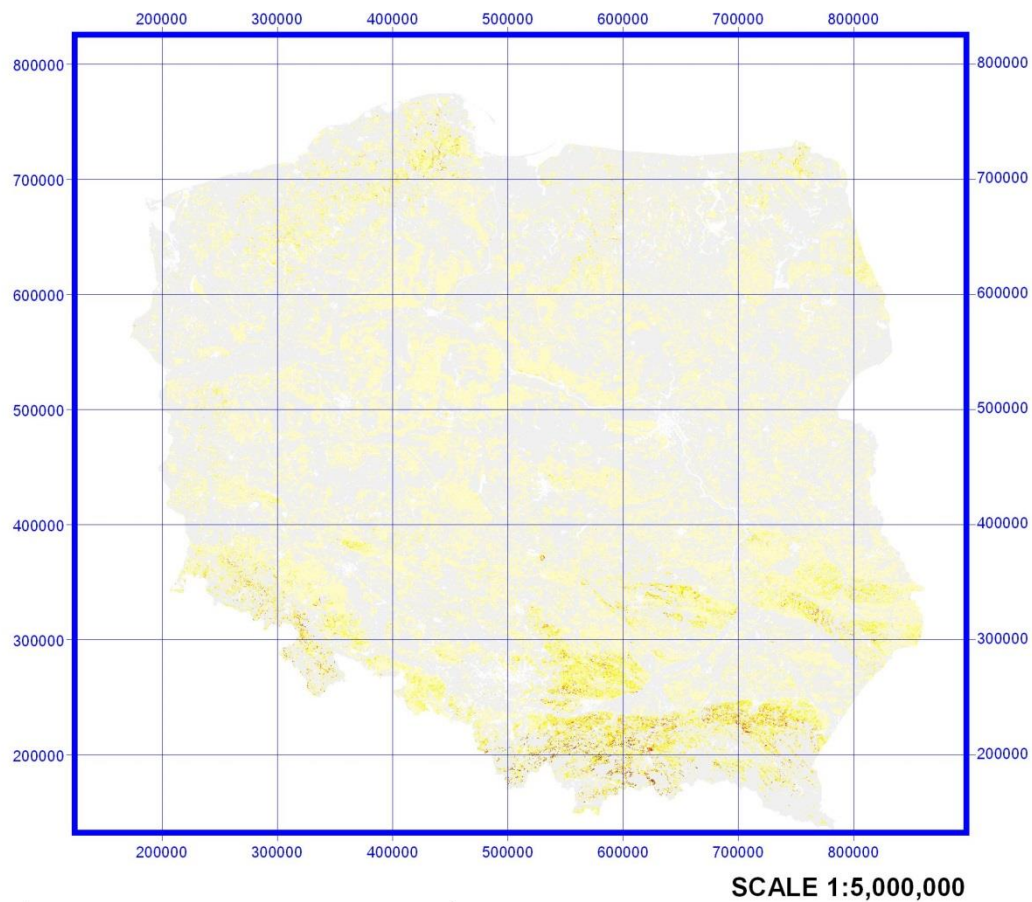
Tabela 7. Macierz ryzyka uwzględniająca zasobność gleb w fosfor dostępny i zagrożenie aktualną erozją powierzchniową.

Pdost.	Erozja		
	klasa 1 ryzyka (0)	klasa 2 ryzyka (1)	klasa 3 ryzyka (2)
1 klasa ryzyka	1	2	3
2 klasa ryzyka	2	3	4
3 klasa ryzyka	3	4	5

Tabela 8 Aktualne ryzyko strat fosforu do wód na drodze erozji wodnej w Polsce

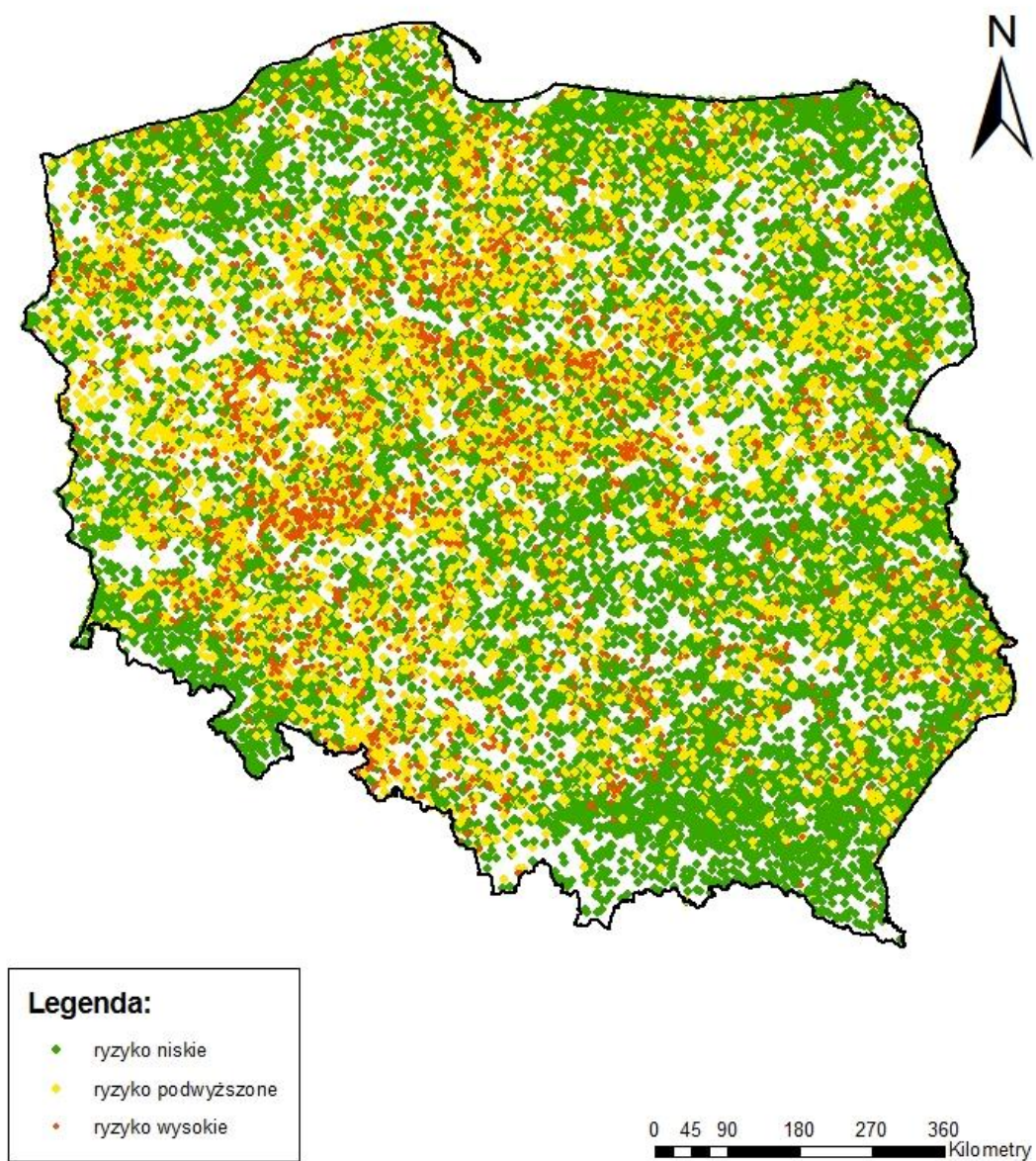
Wskaźnik ryzyka	Legenda	Liczba próbek	% udział
1 klasa ryzyka	Niskie ryzyko strat fosforu do wód	21882	75,76
2 klasa ryzyka	Podwyższone ryzyko strat fosforu do wód	5738	19,86
3 klasa ryzyka	Wysokie ryzyko strat fosforu do wód	1265	4,38

Erozja powierzchniowa w Polsce



Mapa 1. Występowanie erozji wodnej powierzchniowej w Polsce.

Zagrożenie erozyjnymi stratami nadmiaru fosforu



Mapa 2. Zagrożenie erozyjnymi stratami nadmiaru fosforu w Polsce

Podsumowanie

Fosfor jako jeden z najważniejszych składników w produkcji roślinnej i zwierzęcej jest składnikiem któremu w przyszłości zagraża niedobór w skali ogólnoświatowej. Właściwe gospodarowanie fosforem w glebie i zapobieganie jego rozpraszaniu do wód jest działaniem wynikającym z troski o stan środowiska (pobudki etyczne) jak i o efektywność produkcji rolniczej (aspekt ekonomiczny). Fosfor rozproszony z rolnictwa przedostaje się w dużej części do wód powierzchniowych a w dalszej kolejności do Bałtyku, powodując pogorszenie stanu wód morskich. Poprawa stanu środowiska Morza Bałtyckiego jest problemem, którego rozwiązania zobowiązały się wszystkie nadbałtyckie kraje Unii Europejskiej, w tym Polska.

W toku analizy wykazano, że przeważający obszar powierzchni kraju nie jest zagrożony erozją powierzchniową i związanymi z nią erozyjnymi stratami fosforu osadzonego na cząstkach gleby. Należy podkreślić, że w powyższej analizie przyjęto, że wszystkie rolnicze typy użytkowania terenu nie są utrzymywane w sposób przeciwoerozyjny, co potencjalnie może nieznacznie zawyżać poziom erozji i związane z nim ryzyko strat fosforu do wód.

Przedstawione w rozdziale 3 wyniki badań sugerują, że średni stan zasobności gleb w fosfor w Polsce plasuje się na poziomie zasobności średniej do wysokiej (średnia zawartość P_2O_5 w glebach wynosiła 16,25 mg/100 g gleby, przy medianie 11,20 mg/100 g), przy czym ponad połowa badanych próbek została zakwalifikowana do 1 klasy ryzyka, czyli wykazywała bardzo niskie prawdopodobieństwo strat fosforu glebowego powodowanych nadmiarem fosforu w glebie ($P_{dost} < 15$ mg/100 g gleby).

Uwzględniając powyższe, a także mając na uwadze potencjalne straty ekonomiczne oraz fakt, że fosfor jest składnikiem któremu w przyszłości zagraża globalny niedobór, proponuje się podjęcie działań mających na celu optymalizację nawożenia fosforem w Polsce.

Wydaje się zasadnym uwzględnienie w harmonogramie planowanych działań pozyskanie najnowszych danych dotyczących zawartości biogenów w nawozach naturalnych. Niektóre doniesienia naukowe oraz popularno-naukowe sugerują, że zawartość fosforu w tych nawozach może być znacznie wyższa niż prezentowana w oficjalnie obowiązujących wytycznych. Uzyskanie takich danych niewątpliwie rzuciłoby nowe światło na kwestię regulacji nawożenia fosforem w Polsce.

Beata Jurga

dr hab. Rafał Wawer

Literatura

Wawer R, Nowocień E.: Digital map of water erosion risk in Poland: a qualitative, vector-based approach Polish Journal of Environmental Studies 2007 | 16 | 5 |, str. 763-770

Banaszuk P., Krasowska M., Kamocki A., Źródła azotu i fosforu oraz drogi ich migracji podczas wezbrania roztopowego w małej zlewni rolniczej, Woda - Środowisko - Obszary Wiejskie, 2009, 9, 4(28), 5-26.

Główny Urząd Statystyczny (GUS): Środki produkcji w rolnictwie w roku gospodarczym 2015/2016, Warszawa, 2017 r.

Jadczyszyn T., Kopiński J., Ochal P.: Produkcyjne i środowiskowe aspekty gospodarowania fosforem. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2013, 34(8): 57-74.

Igras J., Fotyma M.: Phosphorus utilization and diffuse losses in agricultural crop production. W: Igras J, Pastuszak (red): Temporal and spatial differences in emission of nitrogen and phosphorus from Polish territory to the Baltic Sea. Gdynia - Puławy, 2012

Kuhn T: The revision of the German Fertiliser Ordinance in 2017. Institute for Food and Resources Economics University of Bonn Discussion paper 2017:2

Anon. 2006a. Bekendtgørelse om anvendelse af affald til jordbrugsformål (Slambekendtgørelsen) (po duńsku)