INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

STUDIA I RAPORTY
IUNG-PIB

58(12)

STAN ZAGROŻEŃ DLA JAKOŚCI GLEB W POLSCE

PROGRAM WIELOLETNI
2016-2020

WSPIERANIE DZIAŁAŃ W ZAKRESIE OCHRONY
I RACJONALNEGO WYKORZYSTANIA
ROLNICZEJ PRZESTRZENI PRODUKCYJNEJ W POLSCE
ORAZ KSZTAŁTOWANIA JAKOŚCI SUROWCÓW ROŚLINNYCH

Puławy 2018

INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

Dyrektor: *prof. dr hab. Wiesław Oleszek*

Redakcja naukowa:
dr Jan Jadczyszyn, dr Grzegorz Siebielec, dr Bożena Smreczak

Autorzy:
*dr Jan Jadczyszyn, mgr Aleksandra Ukalska-Jaruga, mgr Piotr Koza,
prof. dr hab. Stanisław Krasowicz, mgr Artur Łopatka,
dr hab. Mariusz Matyka, prof. IUNG-PIB*; *dr Jacek Niedźwiecki,
dr Eugeniusz Nowocień, dr Agnieszka-Klimkowicz-Pawlas, dr Grzegorz Siebielec,
dr Bożena Smreczak, prof. dr hab. Tomasz Stuczyński, dr Rafał Wawer*

Recenzenci:
*prof. dr hab. Adam Harasim, dr hab. Alicja Kicińska, dr hab. Rafał Pudełko,
dr Grzegorz Siebielec, dr hab. Alina Syp, prof. IUNG-PIB;
prof. dr hab. Franciszek Woch*

Opracowanie redakcyjne i techniczne: *mgr Ewa Decka-Cywińska*
Okładka: krajobraz okolic Rogowa (fot. *dr Anna Nieróbca*)

ISBN 978-83-7562-299-7

Egzemplarz bezpłatny

Nakład 300 egz., B5
Dział Upowszechniania i Wydawnictw IUNG-PIB w Puławach
tel. 81 47 86 720; fax 81 47 86 721
e-mail: iung@pulawy.pl; http://www.iung.pulawy.pl

STUDIA I RAPORTY IUNG-PIB

STAN ZAGROŻEŃ DLA JAKOŚCI GLEB W POLSCE

ZESZYT 58(12) 2018

SPIS TREŚCI

Wstęp 7

1. S. Krasowicz, M. Matyka − Racjonalne wykorzystanie gleb Polski jako problem społeczny 9

2. A. Łopatka, P. Koza, T. Stuczyński – Metodyka interpolacji opracowana na potrzeby tworzenia map zagrożeń gleb 25

3. J. Jadczyszyn, G. Siebielec, A. Łopatka, P. Koza − Ocena przekształcania i zasklepiania gleb użytków rolnych na cele urbanizacji 35

4. J. Niedźwiecki, A. Łopatka – Fizyczna jakość gleb użytków rolnych Polski 47

5. R. Wawer, E. Nowocień − Erozja wodna i wietrzna w Polsce 57

6. B. Smreczak, G. Siebielec, A. Ukalska-Jaruga, A. Klimkowicz-Pawlas − Ocena zawartości kadmu, cynku i ołowiu oraz benzo(a)pirenu w glebach użytkowanych rolniczo – dwadzieścia lat monitoringu chemizmu gleb ornych Polski 81

Wstęp

Gleby pełnią w ekosystemach rolniczych i miejskich szereg funkcji. Oprócz powszechnie rozpoznawanej funkcji produkcyjnej, związanej z produkcją żywności, są to funkcje środowiskowe, takie jak retencja i filtracja wody, inaktywacja zanieczyszczeń, wspomaganie bioróżnorodności. Gleby mają zatem bezpośredni lub pośredni wpływ na bezpieczeństwo żywnościowe, stabilność całych ekosystemów oraz warunki życia ludzi.

O możliwości wypełniania przez gleby poszczególnych funkcji decydują cechy, kształtujące jakość gleb, takie jak odczyn, zawartość materii organicznej, skład granulometryczny, a także struktura gleby czy poziom zagęszczenia. Cechy te mogą podlegać procesom degradacji w zależności od układu warunków naturalnych oraz wywołanych działalnością człowieka. Dla przykładu, zawartość substancji organicznej uznawana jest za jeden z głównych wskaźników jakości gleby ze względu na rolę jaką spełnia ona w kształtowaniu właściwości fizycznych (np. struktura, pojemność wodna) i biologicznych gleb czy odporności gleby na erozję lub przesuszenie. Do podstawowych zagrożeń dla jakości gleb, wymienionych przez Komisję Europejską w dokumencie Strategia tematyczna w dziedzinie ochrony gleby, należą ubytek glebowej materii organicznej, erozja, zanieczyszczenia, zasklepianie, zagęszczenie, zasolenie czy spadek bioróżnorodności. Znaczenie poszczególnych form degradacji gleb dla obszaru Polski jest oczywiście bardzo różne, podobnie jak ich skala oddziaływania na produkcję rolną i funkcje środowiskowe gruntu. Niektóre z zagrożeń, istotnych dla naszego kraju, jak na przykład zakwaszenie, nie są ujęte w unijnej Strategii.

Niniejsze „Studia i Raporty IUNG-PIB" przedstawiają aktualny stan wybranych zagrożeń dla jakości gleb, które to zagadnienia są poprzedzone rozdziałem wskazującym na potrzeby racjonalnej gospodarki glebami oraz rozdziałem metodycznym, objaśniającym sposób przestrzennego wyznaczenia obszarów zagrożonych poszczególnymi procesami degradacji. W kolejnych rozdziałach omawiamy stan zagrożeń na poziomie kraju w formie przestrzennej, z odniesieniem do przyczyn i obserwowanych kierunków zmian poziomu degradacji. W zeszycie 58(12) przedstawiamy informacje na temat zasklepiania, jakości fizycznej gleb, erozji wodnej i wietrznej oraz zanieczyszczenia gleb metalami i związkami organicznymi. W jednym z kolejnych zeszytów omówione zostaną kolejne zagrożenia: zakwaszenie, spadek materii organicznej gleb mineralnych i organicznych, zmiany zasobności gleb, wymywanie składników nawozowych do wód. Prace te są odpowiedzią na rosnące potrzeby w zakresie możliwie najbardziej aktualnej informacji o stanie gleb i obserwacji zjawisk degradacji. Ochrona potencjału produkcyjnego gleb i ich funkcji środowiskowych jest bowiem jednym z najistotniejszych wyzwań w kolejnych latach, zarówno na obszarach wiejskich, jak i miejskich.

Kierownik zadania 1.1	Kierownik zadania 1.3	Kierownik zadania 1.5
dr Grzegorz Siebielec	*dr Bożena Smreczak*	*dr Jan Jadczyszyn*

S T U D I A I R A P O R T Y IUNG-PIB

ZESZYT 58(12): 9-23 **2018**

Stanisław Krasowicz, Mariusz Matyka

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach

RACJONALNE WYKORZYSTANIE GLEB POLSKI JAKO PROBLEM SPOŁECZNY*

Słowa kluczowe: gleby, racjonalne wykorzystanie, zagrożenia, rolnicza przestrzeń produkcyjna, społeczeństwo

Wstęp

Racjonalne gospodarowanie środowiskiem glebowym jest przedmiotem zainteresowania różnych placówek naukowych i odzwierciedleniem zjawisk oraz tendencji występujących współcześnie w gospodarce Polski, zdeterminowanych przez zasady Wspólnej Polityki Rolnej UE oraz działania PROW 2014-2020 (7, 8, 10). Zmiany należy rozpatrywać w ujęciu dynamicznym (w latach) i regionalnym.

Powierzchnia gleb użytkowanych rolniczo zmniejsza się w związku z przeznaczaniem znacznych terenów na cele pozarolnicze głównie związane z urbanizacja i transportem (4). Procesy te dotyczą także gleb bardzo dobrych i dobrych, co stwarza zagrożenia dla samowystarczalności żywnościowej kraju i możliwości zabezpieczenia produkcji biomasy na cele energetyczne (9). Jednocześnie zasady WPR UE i konwencje międzynarodowe zobowiązują do ograniczania zagrożeń dla środowiska przyrodniczego i jego elementów składowych, tj.: gleb, wód, powietrza. Racjonalne gospodarowanie środowiskiem glebowym Polski powinno być strategicznym kierunkiem rozwoju, a także wyzwaniem dla nauki, służącej doradztwu i praktyce rolniczej. Jest też problemem o dużym znaczeniu społecznym, gdyż racjonalne wykorzystanie gleb decyduje o samowystarczalności surowcowej kraju (netto).

Realizowane w Polsce badania naukowe, m. in. w IUNG-PIB w Puławach, stwarzają podstawy do racjonalnego gospodarowania środowiskiem glebowym. Umożliwiają one diagnozę stanu aktualnego oraz wskazują zagrożenia dla środowiska glebowego. Mogą więc stanowić wsparcie dla działań praktycznych i decyzji

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.3 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

w zakresie zarządzania środowiskiem glebowym Polski i kształtowania środowiska rolniczego.

Problemy racjonalnego wykorzystania rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce oraz ograniczania niekorzystnego oddziaływania rolnictwa na środowisko przyrodnicze są myślą przewodnią programu wieloletniego Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowego Instytutu Badawczego w Puławach. Program wieloletni pt. „Wspieranie działań w zakresie ochrony i racjonalnego wykorzystania rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce oraz kształtowania jakości surowców roślinnych" został ustanowiony przez Radę Ministrów na lata 2016-2020 (17).

Racjonalne gospodarowanie rolniczą przestrzenią produkcyjną jest jednym z elementów dyscypliny naukowej określanej jako ochrona i kształtowanie środowiska. Pojęcie to obejmuje następujące aspekty:

1) dostrzeganie wszystkich funkcji gleb,
2) wskazywanie zagrożeń dla środowiska,
3) wyznaczanie obszarów wrażliwych najsilniej narażonych na procesy degradacji środowiska,
4) wprowadzanie instrumentów prawnych i finansowych prowadzących do ograniczenia lub wyeliminowania zagrożeń,
5) wdrażanie koncepcji wielofunkcyjnego i zrównoważonego rozwoju obszarów wiejskich.

Procesy kształtowania środowiska rolniczego przebiegają jednocześnie z procesami jego użytkowania i ochrony oraz w powiązaniu z realizacją różnych funkcji gleb. Zagrożenia dla środowiska glebowego są wynikiem działalności rolniczej i pozarolniczej. Nasilenie procesów degradacyjnych w skrajnych przypadkach może prowadzić do całkowitej utraty przez glebę jej funkcji siedliskowych, produkcyjnych czy retencyjnych, a tym samym do wykluczenia jej z użytkowania rolniczego.

Zmiany zachodzące w użytkowaniu przestrzeni rolniczej są również funkcją rozwoju gospodarczego, inwestycji, polityki rolnej oraz prawnie uwarunkowanych działań na rzecz ochrony krajobrazu. Istotnym czynnikiem jest zmiana potrzeb i styl konsumpcji jako wyraz wzrostu zamożności społeczeństwa. Ważnym wyznacznikiem racjonalnego wykorzystania gleb jest koncepcja biogospodarki (1).

Instrumenty ochrony przestrzeni powinny zmniejszać ryzyko ekspansji gospodarczej, sprzyjając zachowaniu pierwotnych funkcji i różnorodności krajobrazu. Powszechnie przyjmuje się, że rolnictwo i gospodarka leśna należą do najważniejszych działów odpowiedzialnych za ochronę i kształtowanie krajobrazu. Zbyt duża utrata obszarów użytków rolnych i lasów może prowadzić do zakłócenia równowagi w ekosystemach. Procesy zmian użytkowania ziemi są w znacznym stopniu nieuniknione i zdeterminowane koniecznym dla gospodarki rozwojem urbanizacji i transportu. Niemniej ich dynamika i przestrzenny przebieg powinny być stale monitorowane. Jest to warunkiem racjonalnego gospodarowania przestrzenią w oparciu o ilościową ocenę jakości krajobrazu i stan istniejących zasobów przyrodniczych.

Rolnicza przestrzeń produkcyjna stwarza możliwości realizacji produkcji rolniczej i pokrycia zapotrzebowania na żywność, pasze oraz surowce dla przemysłu i energetyki. Racjonalne gospodarowanie rolniczą przestrzenią produkcyjną jest strategicznym kierunkiem (celem) rozwoju i koniecznością. Jako problem o dużym znaczeniu społecznym jest też wyzwaniem dla nauki, służącej praktyce. Miarą wykorzystania rolniczej przestrzeni produkcyjnej jest produkcja roślinna z jednostki powierzchni, oceniana z punktu widzenia jej ilości i jakości. Istota racjonalnego wykorzystania rolniczej przestrzeni produkcyjnej sprowadza się do uzyskania określonego, zgodnego z zapotrzebowaniem gospodarki, wolumenu produkcji roślinnej, charakteryzującej się parametrami jakościowymi odpowiadającymi standardom UE i oczekiwaniom konsumentów oraz do ograniczenia niekorzystnych oddziaływań rolnictwa na środowisko przyrodnicze. Rolnicza przestrzeń produkcyjna będąca elementem środowiska przyrodniczego jest przedmiotem zainteresowania zarówno placówek naukowych, jak i jednostek prowadzących działalność projektowo-ekspercką w zakresie kształtowania środowiska rolniczego. Zmiany zachodzące w użytkowaniu przestrzeni rolniczej są również funkcją rozwoju gospodarczego, inwestycji, polityki rolnej oraz prawnie uwarunkowanych działań na rzecz ochrony krajobrazu. Istotnym problemem staje się oszacowanie powierzchni niezbędnych dla zaspokojenia potrzeb wzrostu gospodarczego oraz urbanizacji, przy jednoczesnej ochronie zasobów przestrzeni rolniczej.

O możliwościach racjonalnego gospodarowania środowiskiem glebowym Polski decydują uwarunkowania przyrodnicze i organizacyjno-ekonomiczne. Celem opracowania było przedstawienie głównych przesłanek racjonalnego gospodarowania środowiskiem glebowym Polski, jako problemu społecznego.

Materiał i metoda

Podstawowe źródła informacji stanowiły wyniki dotychczasowych badań prowadzonych przez instytuty resortowe, instytuty PAN oraz uczelnie. Wykorzystano również dane statystyczne GUS oraz wyniki badań różnych autorów prezentowane w literaturze. Zastosowano metodę analizy porównawczej z wykorzystaniem danych tabelarycznych i prezentacji graficznych.

Charakterystyka zasobów ziemi w Polsce

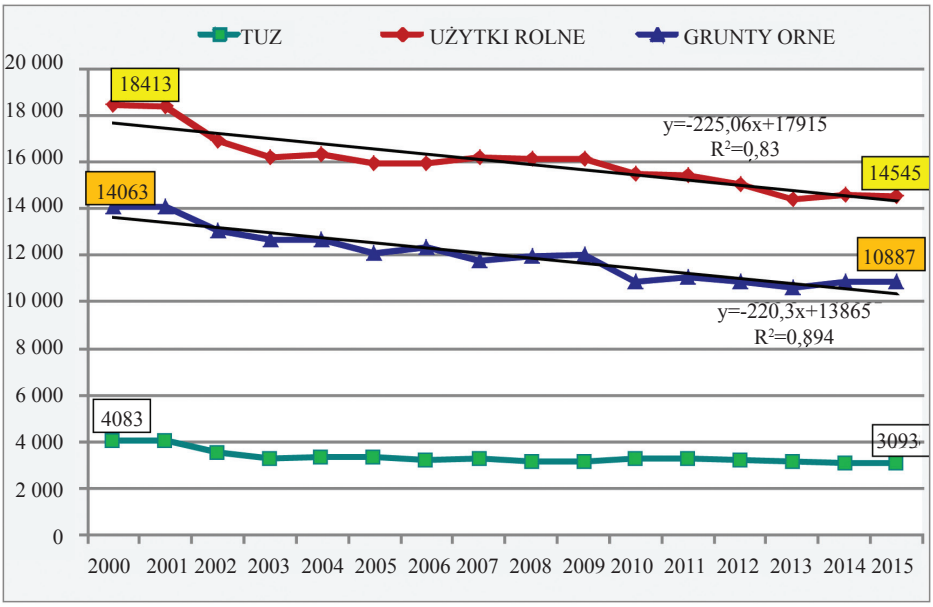
Zapewnienie samowystarczalności surowcowej netto Polski wymaga spojrzenia przez pryzmat biogospodarki i możliwości produkcji biomasy. Produkcja biomasy na rzecz gospodarki może odbywać się prawie wyłącznie w oparciu o wykorzystanie podstawowego czynnika produkcji, którym w rolnictwie jest ziemia. Średnio w latach 2013-2015 powierzchnia użytków rolnych (UR) ogółem wynosiła około 14,5 mln ha (tab. 1). Analiza danych GUS wykazała, że w latach 2000-2015 występował trend zmniejszania powierzchni użytków rolnych (rys. 1).

Tabela 1

Struktura użytkowania gruntów według województw (średnia dla lat 2013-2015)

Wyszczególnienie	Użytki rolne ogółem (tys. ha)	Użytki rolne w dobrej kulturze													Pozostałe użytki rolne (tys. ha)
		razem (tys. ha)	pod zasiewami		grunty ugorowane		uprawy trwałe		ogrody przydomowe		łąki trwałe		pastwiska trwałe		
			(tys. ha)	(%)	(tys. ha)	(%)	(tys. ha)	(%)	(tys. ha)	(%)	(tys. ha)	(%)	(tys. ha)	(%)	
Dolnośląskie	920,3	911,0	741,5	81,4	20,2	2,2	7,4	0,8	1,3	0,1	114,0	12,5	26,7	0,3	9,3
Kujawsko-pomorskie	1059,9	1054,8	925,1	87,7	15,4	1,5	8,8	0,8	1,3	0,1	85,1	8,1	19,1	0,2	5,1
Lubelskie	1398,3	1384,3	1058,1	76,4	19,5	1,4	78,5	5,7	5,8	0,4	204,3	14,8	18,1	0,1	14,0
Lubuskie	408,8	404,3	276,7	68,4	18,4	4,5	6,1	1,5	0,5	0,1	85,5	21,2	17,1	0,4	4,5
Łódzkie	969,5	960,9	752,0	78,3	18,4	1,9	38,7	4,0	1,6	0,2	134,7	14,0	15,5	0,2	8,7
Małopolskie	542,6	533,0	299,2	56,1	9,9	1,9	13,2	2,5	3,2	0,6	185,3	34,8	22,3	0,4	9,5
Mazowieckie	1896,0	1875,6	1203,2	64,2	46,0	2,5	116,0	6,2	4,4	0,2	429,8	22,9	76,2	0,4	20,4
Opolskie	501,5	498,8	450,3	90,3	6,0	1,2	1,4	0,3	0,6	0,1	36,1	7,2	4,6	0,1	2,6
Podkarpackie	574,5	555,5	315,2	56,8	21,3	3,8	11,9	2,1	4,1	0,7	177,3	31,9	25,6	0,5	19,0
Podlaskie	1066,8	1058,9	640,1	60,4	16,8	1,6	5,6	0,5	1,4	0,1	321,8	30,4	73,2	0,7	7,9
Pomorskie	740,7	729,9	578,7	79,3	14,2	1,9	7,8	1,1	0,5	0,1	102,9	14,1	25,9	0,4	10,7
Śląskie	367,7	359,4	263,4	73,3	9,6	2,7	3,3	0,9	0,9	0,3	73,3	20,4	8,9	0,2	8,3
Świętokrzyskie	486,8	479,5	327,6	68,3	11,6	2,4	38,1	7,9	1,7	0,3	94,3	19,7	6,3	0,1	7,3
Warmińsko-mazurskie	995,7	984,3	592,1	60,2	40,1	4,1	9,6	1,0	0,9	0,1	222,4	22,6	119,1	1,2	11,4
Wielkopolskie	1755,2	1744,9	1452,2	83,2	21,6	1,2	19,8	1,1	2,0	0,1	228,0	13,1	21,3	0,1	10,2
Zachodniopomorskie	821,1	809,9	608,6	75,1	30,4	3,8	20,4	2,5	0,7	0,1	124,9	15,4	24,9	0,3	11,2
POLSKA	**14505,2**	**14345,1**	**10483,9**	**73,1**	**319,3**	**2,2**	**386,5**	**2,7**	**30,9**	**0,2**	**2619,7**	**18,3**	**504,8**	**0,4**	**160,1**

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS

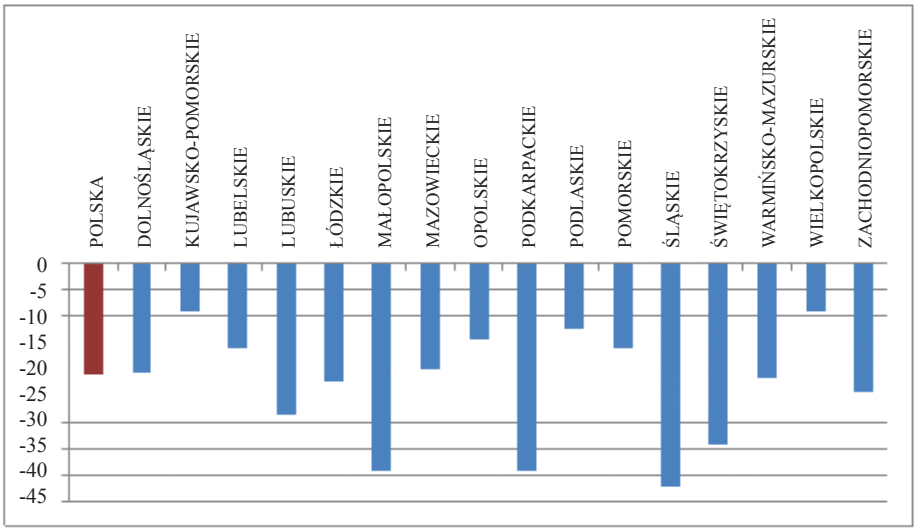


Rys. 1. Zmiany powierzchni użytków rolnych w Polsce w latach 2000-2015
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS

W skali kraju ich powierzchnia w 2015 r. w stosunku do stanu z 2000 r. zmniejszyła się o 21% (3,7 mln ha) z 18,4 do 14,6 mln ha. Na podstawie wygenerowanego równania trendu można stwierdzić, że powierzchnia użytków rolnych zmniejszała się w tempie około 225 tys. ha·rok^{-1}. Największe zasoby użytków rolnych znajdowały się w województwie mazowieckim, wielkopolskim i lubelskim (rys. 2). Najmniejsze natomiast są w województwie lubuskim oraz w południowej części kraju z wyjątkiem województwa dolnośląskiego. Znaczne zróżnicowanie dostępności użytków rolnych w województwach wynikało z ogólnej ich powierzchni, uwarunkowań przyrodniczych, poziomu rozwoju gospodarczego oraz stopnia urbanizacji.

Rys. 2. Struktura (%) użytków rolnych według województw (średnio w latach 2013-2015)
Źródło: Chyłek i in., 2017 (1)

Zmiany w użytkowaniu gruntów są silnie zróżnicowane regionalnie, przy czym w największym stopniu powierzchnia użytków rolnych zmniejszyła się w województwach charakteryzujących się dużym rozdrobnieniem agrarnym i ekstensywną produkcją rolniczą, tj. śląskim, małopolskim, podkarpackim i świętokrzyskim. Natomiast w województwach charakteryzujących się dużą koncentracją towarowej produkcji rolniczej (kujawsko-pomorskie, wielkopolskie) powierzchnia użytków rolnych nie zmniejszyła się tak znacznie (rys. 3).



Rys. 3. Zmiany powierzchni użytków rolnych w województwach (średnio w latach 2000-2014)
Źródło: Matyka i in 2016, (12)

Struktura władania ziemią w Polsce zdominowana jest przez gospodarstwa indywidualne, które posiadały około 91% zasobów tego czynnika produkcji. Szczególnie, ze względu na uwarunkowania historyczne, własność prywatna dominuje we wschodniej i centralnej części kraju. Znaczny udział (ok. 25%) ziemi będącej własnością Skarbu Państwa znajdował się natomiast w województwach opolskim i zachodniopomorskim (1).

Przeważający udział (73,1%) w strukturze użytkowania gruntów w latach 2013-2015 w skali kraju miały grunty orne (GO). Najwyższym ich udziałem charakteryzowały się województwa: opolskie, kujawsko-pomorskie, wielkopolskie i dolnośląskie, a najniższym województwa: małopolskie, podkarpackie, podlaskie i warmińsko-mazurskie. Odwrotnie natomiast przedstawiało się regionalne zróżnicowanie udziału trwałych użytków zielonych. Na poziomie kraju udział łąk i pastwisk w strukturze użytkowania gruntów wynosił 18,7%. Wzajemne proporcje pomiędzy udziałem gruntów ornych i trwałych użytków zielonych były w dużej mierze uzależnione od warunków naturalnych, ale również od kierunków i intensywności produkcji w regionie. Uprawy trwałe, w tym głównie sady, miały niewielki (2,7%) udział w strukturze użytkowania gruntów. Należy jednak pamiętać, że ten kierunek działalności rolniczej miał bardzo duże znaczenie dla kształtowania poziomu intensywności produkcji roślinnej.

Istotnym, z punktu widzenia wykorzystania potencjału produkcji biomasy, jest udział w strukturze użytkowania ziemi gruntów ugorowanych i odłogowanych[1]. W skali kraju stanowiły one istotną rezerwę (3,3%), która może być wykorzystana do zwiększenia wolumenu produkcji. Udział gruntów niewykorzystywanych do produkcji

[1] Odłogi − według definicji GUS są to użytki rolne pozostałe, tj: użytki rolne nieużytkowane i nie-utrzymywane w dobrej kulturze rolnej w dniu 1 czerwca danego roku

w latach objętych analizą był znacznie zróżnicowany regionalnie. Zdecydowanie najwyższym ich udziałem cechowało się województwo podkarpackie, nieco niższym lubuskie, zachodniopomorskie i warmińsko-mazurskie. Natomiast najniższy udział gruntów ugorowanych i odłogowanych odnotowano w województwach opolskim, wielkopolskim, kujawsko-pomorskim, podlaskim i lubelskim. Niepełne wykorzystanie dostępnych zasobów ziemi w głównej mierze wynikało z zaszłości historycznych ciągle odciskających piętno na intensywności produkcji, strukturze agrarnej i poziomie kultury rolnej (1).

Poza ilością użytków rolnych bardzo ważnym czynnikiem, decydującym o wolumenie i efektywności produkcji biomasy, jest ich jakość, która w przypadku Polski jest dość niska. Uwarunkowane to jest głównie rodzajem skał macierzystych, spośród których ponad 70% stanowią gliny lekkie i piaski zwałowe silnie przesortowane przez wody lodowcowe. Taki skład granulometryczny i jego zróżnicowanie w profilu glebowym decydują o małej zdolności gleb do gromadzenia i zatrzymywania wody, co w konsekwencji skutkuje niskimi plonami i dużą ich zmiennością w latach. Szczególnie niekorzystne warunki przyrodnicze do prowadzenia produkcji rolniczej występują w województwie podlaskim, natomiast najlepszymi charakteryzują się województwa opolskie i dolnośląskie. Korzystne warunki przyrodnicze występują również w województwach kujawsko-pomorskim, lubelskim i podkarpackim. Jednak w przypadku województw lubelskiego i podkarpackiego wykorzystanie tego potencjału ograniczało duże rozdrobnienie agrarne. Obok naturalnych właściwości gleb, czynnikiem decydującym o ich rolniczej przydatności, jest żyzność, kształtowana także przez działalność rolnika, wpływająca na odczyn, zasobności w makro- i mikroelementy oraz zawartości materii organicznej (11).

Podstawowym wskaźnikiem oceny jakości gleb jest zawartość materii organicznej. Decyduje ona o właściwościach fizykochemicznych gleb, takich jak zdolności sorpcyjne i buforowe oraz o procesach przemian biologicznych, ważnych z punktu widzenia funkcjonowania siedliska, a określanych mianem aktywności biologicznej. Wysoka zawartość próchnicy w glebach jest czynnikiem stabilizującym ich strukturę, zmniejszającym podatność na zagęszczenie oraz degradację w wyniku erozji wodnej i wietrznej (15).

Zachowanie zasobów próchnicy glebowej jest istotne nie tylko ze względu na utrzymywanie produkcyjnych funkcji gleb, ale również z punktu widzenia roli gleb w sekwestracji (wiązaniu) dwutlenku węgla z atmosfery, przyczyniającej się do zmniejszenia efektu cieplarnianego. Intensywne użytkowanie gleb w warunkach monokulturowej uprawy roślin niszczy strukturę gleb, prowadzi do nadmiernej aeracji siedlisk oraz mineralizacji próchnicy i uwalniania dużych ilości dwutlenku węgla do atmosfery. Emisja CO_2 z gleb stanowi istotną pozycję w całkowitym bilansie jego emisji z różnych sektorów gospodarki.

Ubytek próchnicy jest ważnym wskaźnikiem pogorszenia warunków siedliskowych oraz żyzności gleb. Nieracjonalne rolnicze wykorzystanie gleb może prowadzić do

obniżenia w nich zawartości materii organicznej, na przykład w wyniku przesuszenia, związanego z melioracjami odwadniającymi i przyśpieszonej mineralizacji wywołanej zbyt intensywną uprawą. Intensywne użytkowanie gleb, w połączeniu z uproszczeniem płodozmianów oraz dominacją roślin zbożowych, może prowadzić do ograniczenia ilości resztek organicznych wchodzących w cykl przemian próchnicy, a w konsekwencji do spadku jej zawartości w glebach. W ostatnich latach w niektórych regionach kraju obserwuje się wzrost powierzchni użytków rolnych wykorzystywanych przez gospodarstwa bezinwentarzowe, a więc pozbawionych dopływu nawozów naturalnych, które są istotnym elementem kształtowania zasobów próchnicy glebowej. Wyniki oznaczeń zasobności gleb użytków rolnych w Polsce (w warstwie 0-25 cm) wskazują na duże zróżnicowanie zawartości próchnicy (0,5-10%). Średnia zawartość wynosi 2,2%. Według podziału stosowanego w Polsce, gleby o niskiej zawartości próchnicy (< 1,0%) stanowią około 6% powierzchni użytków rolnych, a o średniej (1,1-2,0%) – około 50%, zaś zasobne w próchnicę (>2,0%) około 33% powierzchni użytków rolnych kraju (15).

Gleby w Polsce wykazują duże zróżnicowanie podatności na ugniatanie, co wynika ze zmienności składu granulometrycznego oraz małej zawartości materii organicznej (3). Łączna powierzchnia gleb wysoce narażonych na zagęszczenie w wyniku niewłaściwych technik uprawy roli, stosowania sprzętu o zbyt dużych naciskach, lub wykonywanie prac w warunkach nadmiernego uwilgotnienia stanowi około 15-20% użytków rolnych. Przestrzenne rozmieszczenie tych gleb tworzy dużą mozaikę, co jest cechą charakterystyczną dla pokrywy glebowej Polski. Szczególnie niekorzystne warunki uprawy występują w dolinach rzecznych, na nadmiernie uwilgotnionych zwięzłych madach, a skutki zagęszczenia na tych glebach są długotrwałe i trudno odwracalne.

Ponad 70% powierzchni gleb użytków rolnych Polski jest w różnym stopniu zakwaszonych (b. kwaśne - 13%, kwaśne - 26%, lekko kwaśne - 34%). Pozostałe 27% to gleby o odczynie obojętnym i zasadowym. Gleby b. kwaśne i kwaśne stanowią około 40%. Poprawa odczynu gleb kwaśnych jest podstawowym czynnikiem zmiany sposobu ich użytkowania oraz korzystnego wpływu na plonowanie roślin (14).

Istotne zagrożenie dla jakości gleb Polski związane jest również ze zjawiskami erozji wodnej (5). Około 29% obszaru kraju, w tym 21% użytków rolnych, głównie gruntów ornych i około 8% powierzchni lasów jest zagrożonych erozją wodną w tym silną – 4%, średnią – 11%, a słabą – 14% (5).

Występujące w ostatnim czasie susze glebowe oraz globalny trend wzrostu średnich wartości temperatury powietrza w okresie ostatnich lat mogą doprowadzić do przesuszenia gleb poniżej ich średniej naturalnej wilgotności, co w konsekwencji może istotnie zwiększyć zasięg występowania i intensywność erozji wodnej na gruntach ornych.

Zróżnicowanie naturalnego potencjału produkcyjnego w skali kraju wynika z przestrzennej zmienności ukształtowania terenu, pokrywy glebowej oraz opadów

i temperatury. Niska jakość przestrzeni produkcyjnej ogranicza nie tylko dobór i plony roślin uprawnych, ale ma szereg niekorzystnych następstw w wymiarze gospodarczym i środowiskowym, prowadzi bowiem potencjalnie do odłogowania gruntów i degradacji krajobrazu. Wytworzone z piasków gleby lekkie o dużej przepuszczalności i małej retencji stają się bardzo podatne na suszę glebową.

Przesłanki racjonalnego wykorzystania gleb

Na tle wielu krajów UE Polska dysponuje znacznym areałem użytków rolnych, który jednak systematycznie zmniejsza się. Specyficzna jest struktura gleb według ich jakości i przydatności rolniczej. Gleby dobre i bardzo dobre (klasy I-III) stanowią 26,0%, średnie (klasy IVa-IVb) 39,9%, zaś słabe i bardzo słabe (klasy V i VI) 34,1% ogółu gruntów ornych. W przypadku trwałych użytków zielonych tylko 15% stanowią gleby dobre, a po około 42% przypada na gleby średnie i słabe.

Notowane w ostatnich dziesięcioleciach zmniejszenie powierzchnia UR było spowodowane przekazywaniem gruntów na cele nierolnicze, w tym pod zalesienia oraz pewnymi zmianami w klasyfikacji użytków rolnych. Wiele gospodarstw, zwłaszcza drobnych, zrezygnowało w ostatnich latach z produkcji i zgodnie z metodyką Eurostatu ich grunty, zostały wyłączone z powierzchni UR. Powierzchnia użytków rolnych w ha na 1 mieszkańca w roku 1980 wynosiła 0,53, a w roku 2015 tylko 0,38 (4).

Rozbudowa infrastruktury technicznej kraju (autostrady, drogi ekspresowe, obiekty sportowe i tereny rekreacyjne), a także budownictwo mieszkaniowe w miastach i na obszarach wiejskich będzie postępować kosztem UR. Można oczekiwać, że do roku 2030 rolnictwo utraci 0,5-0,6 mln ha użytków rolnych (16). Dodatkowo w ostatnich latach niekorzystnym zjawiskiem jest przekazywanie na cele nierolnicze znacznych powierzchni gruntów bardzo dobrych i dobrych, zaliczanych do klas I-III. Do 1990 r. gleby słabe i bardzo słabe stanowiły ponad 60% gruntów przekazywanych na cele nierolnicze, zaś gleby dobre poniżej 15%, natomiast w ostatnich latach proporcje te uległy niekorzystnej zmianie. Tendencja ta w dłuższym okresie może stanowić zagrożenie dla samowystarczalności surowcowej netto naszego kraju, zwłaszcza gdy nie ograniczy się wyłączenia gruntów o wysokiej wartości produkcyjnej.

W okresie powojennym w Polsce całkowita powierzchnia gruntów ornych pod zasiewami zmniejszyła się o około 4 mln ha, czyli o ponad 25%. Spadek ten był szczególnie drastyczny po 1990 r., kiedy to czynniki ekonomiczne spowodowały odłogowanie dużego areału gruntów ornych. Aktualnie powierzchnia zasiewów wynosi 10,8 mln ha. Dodatkowo wiele gospodarstw, zwłaszcza drobnych, zrezygnowało z produkcji zwierzęcej. Wprowadzenie dopłat bezpośrednich po akcesji Polski do UE spowodowało zwiększenie powierzchni zasiewów o około 0,4-0,5 mln ha i ograniczenie powierzchni odłogów. Powierzchnia ugorów i odłogów w Polsce w roku 2000 wynosiła około 1,7 mln ha, w roku 2005 – 1,1 mln ha, a w latach 2008-2009 średnio kształtowała się na poziomie ok. 0,5 mln ha (4).

Zasady WPR i PROW na lata 2014-2020, nakładają na rolnictwo odpowiedzialność za korzystanie z zasobów środowiska przyrodniczego, w tym również z zasobów glebowych. Środowisko glebowe, obok funkcji produkcyjnych związanych z zabezpieczeniem potrzeb żywnościowych, paszowych, surowcowych przemysłu i energetyki, spełnia również funkcje środowiskowe i retencyjne, kształtując relacje człowiek – środowisko przyrodnicze. Wykorzystanie surowców pochodzenia rolniczego na cele energetyczne także stawia przed rolnictwem nowe, trudne wyzwania, często wymagające rozwiązań systemowych. Jednocześnie ten kierunek wykorzystania ziemiopłodów zmusza do umiarkowanej, racjonalnej intensyfikacji produkcji i optymalizacji wykorzystania gruntów, a więc również jest jedną z przesłanek racjonalnego gospodarowania środowiskiem glebowym Polski (10).

Należy podkreślić, że nasilenie procesów degradacyjnych gleb w skrajnych przypadkach może prowadzić do całkowitej utraty przez glebę jej funkcji siedliskowej, produkcyjnej czy retencyjnej, a tym samym wykluczenia jej z użytkowania rolniczego.

Zagrożeniem dla przestrzeni rolniczej nie jest skala perspektywicznego przeznaczania gruntów na cele urbanizacyjne, lecz rozproszenie zabudowy i mało efektywne gospodarowanie przestrzenią. Ze względu na bezpieczeństwo żywnościowe Polski ochrona gleb lepszej jakości winna być priorytetem zrównoważonego rozwoju. Konieczne jest szersze upowszechnienie wiedzy, że uzasadnieniem dla ochrony dobrych gleb w miastach nie jest ich funkcja produkcyjna, lecz ich rola w kształtowaniu funkcji ekosystemowych i lokalnego klimatu. Dlatego też w procesie urbanizacji należałoby je pozostawić jako siedliska terenów otwartych, spełniających funkcje biologiczne, decydujące o jakości życia i środowiska na obszarach miejskich.

Wprowadzenie systemu gospodarki rynkowej oraz integracja Polski z Unią Europejską spowodowały wielokierunkowe zmiany w rolnictwie. Uwidoczniły się one w organizacji i intensywności produkcji roślinnej i zwierzęcej oraz w specjalizacji gospodarstw rolniczych. Czudec i in. (2) wykazali, że relatywnie duża skala wyłączania (wypadania) gruntów z rolniczego użytkowania w makroregionie południowo-wschodnim jest pochodną niekorzystnej struktury obszarowej. W okresie 2004-2015 największe zmniejszenie powierzchni użytków rolnych miało miejsce w województwach Polski południowo-wschodniej. Wynosiło ono 31,3% w województwie małopolskim, 31,3 w śląskim, 28,5% w świętokrzyskim oraz 27,1% w podkarpackim. W regionie tym gospodarstwa rolne pod względem obszaru, powierzchni i rozproszenia pól, a także skali i koncentracji produkcji w sposób wyraźny niekorzystnie różnią się od analogicznych cech opisujących gospodarstwa w zachodniej i północnej Polsce. Jednocześnie autorzy ci wskazują, że instrumenty WPR ograniczyły zmniejszanie zasobów ziemi utrzymywanej w dobrej kulturze rolnej w porównaniu do okresu poprzedzającego integrację Polski z UE. Specyfika rolnictwa w regionach decyduje także o jego konkurencyjności i możliwościach zwiększania innowacyjności (13). Zróżnicowanie warunków przyrodniczych, głównie glebowych i agrometeorologicznych i organizacyjno-ekonomicznych jest jednym z wyznaczników ogólnego potencjału konkurencyjnego (konkurencyjności czynnikowej) i stopnia

jego wykorzystania (konkurencyjności wynikowej). O wykorzystaniu możliwości produkcyjnych rolnictwa obok warunków przyrodniczych decyduje intensywność i organizacja produkcji.

Na podstawie doświadczeń prowadzonych w IUNG-PIB i innych ośrodkach naukowych stwierdzono natomiast, że poprawna agrotechnika uwzględniająca stosowanie nawozów organicznych i naturalnych, odpowiednie zmianowanie roślin, uprawę konserwującą i wapnowanie gleb sprzyja utrzymywaniu, a nawet pewnemu wzrostowi zawartości materii organicznej w glebie. O korzystnym wpływie poprawnej agrotechniki na zawartość materii organicznej świadczą także chemiczne i mikrobiologiczne wskaźniki żyzności gleb. Wskaźniki te wzbogaciły ocenę i nadały jej charakter wieloaspektowy. Wykazano ponadto, że stosowanie uproszczeń w uprawie roli i roślin nie prowadzi do zubożenia gleby w materię organiczną oraz przyswajalne formy fosforu, potasu i magnezu, pod warunkiem zastosowania agrotechniki uwzględniającej wapnowanie gleby, uprawę międzyplonów, nawożenie obornikiem, przyorywanie słomy.

Bilanse glebowej materii organicznej odzwierciedlają wpływ różnych uwarunkowań i mają znaczenie praktyczne. W okresie ostatnich 20 lat na bilans glebowej materii organicznej ujemnie (niekorzystnie) wpłynęły: zmniejszenie udziału wieloletnich roślin pastewnych w strukturze zasiewów, duże zmniejszenie pogłowia i obsady zwierząt oraz postępująca specjalizacja gospodarstw, wymuszona czynnikami ekonomicznymi. Zalecenia i propozycje nowych rozwiązań w zakresie gospodarki glebową materią organiczną należy dostosowywać do realiów konkretnego gospodarstwa (przedsiębiorstwa) rolnego. Analizy bilansów materii organicznej na poziomie kraju i regionów mają przede wszystkim charakter informacyjno-poglądowy.

Regionalne zróżnicowanie zawartości materii organicznej w glebach Polski jest pochodną zarówno uwarunkowań siedliskowych, agrotechnicznych, jak i organizacyjno-ekonomicznych. Istotną rolę w kształtowaniu bilansu materii organicznej, oprócz metod tradycyjnych (płodozmiany, poplony, wykorzystanie resztek pożniwnych), będą odgrywały alternatywne źródła w postaci różnego rodzaju odpadów, jak również nowe rozwiązania biotechnologiczne. Prognoza zmian zawartości materii organicznej w glebach Polski wskazała obszary na których, przy zachowaniu istniejących trendów w uprawie roli i warunkach siedliskowych, należy się spodziewać strat zawartości materii organicznej. Uznano je za obszary problemowe z punktu widzenia rozwoju produkcji rolniczej. Istniejące regulacje prawne dotyczące gospodarowania zasobami glebowej materii organicznej wymagają doskonalenia i dostosowania do istniejących uwarunkowań. Zapobieganie stratom glebowej materii organicznej wymaga pilnego, konsekwentnego wdrażania istniejących, jak również opracowania nowych instrumentów. Instrumenty te powinny sprzyjać akumulacji materii organicznej w glebach poprzez upowszechnianie uproszczonych systemów uprawy roli i stosowanie bardziej racjonalnych płodozmianów.

Warto podkreślić, że problematyka racjonalnego wykorzystania gleb jest wyrazem nowego spojrzenia na rolnictwo. Przez wiele lat rolnictwo oceniano głównie przez

pryzmat jego funkcji produkcyjnych. Wzrost świadomości ekologicznej, dyskusje nad zmianami klimatu i sposobami adaptacji do nich rolnictwa, identyfikacja zagrożeń oraz powszechna akceptacja takich koncepcji jak rozwój zrównoważony czy biogospodarka spowodowały zasadnicze zmiany w poglądach na wykorzystanie środowiska naturalnego w różnych sferach działalności człowieka, w tym również w rolnictwie. Są też one wyznacznikami priorytetowych kierunków badań oraz analiz rolniczych i ekonomiczno-rolniczych.

Zdaniem Zegara (18) rolnictwo pełniąc funkcję środowiskową wytwarza również efekty, które uznać należy za dobra publiczne, gdyż korzystają lub mogą z nich korzystać wszyscy. Wśród efektów wyróżnić należy zachowanie żywności, funkcjonalności i bioróżnorodności gleb oraz stabilizację klimatu poprzez ograniczenie emisji gazów cieplarnianych. Kapusta (6) twierdzi, że współcześnie (w ramach gospodarki globalnej) żadne państwo nie powinno się nastawiać na pełną samowystarczalność. Autor ten wskazuje, że bezpieczeństwo państwowe w dziedzinie wyżywienia jest spełnione wówczas, gdy kraj przy istniejącym poziomie spożycia zachowuje równowagę w obrotach handlowych produktami żywnościowymi. Wydaje się, że pogląd ten można rozszerzyć na problem samowystarczalności surowcowej kraju. Nie można jednak pomijać kwestii racjonalnego wykorzystania gleb na których produkuje się biomasę zarówno na cele wewnętrzne, jak i przeznaczoną do obrotu międzynarodowego.

Jednym z perspektywicznych rozwiązań, wymagających pogłębionych analiz jest rolnictwo precyzyjne. Jest to system rolniczy dostosowujący wszystkie elementy agrotechniki do zmiennych (zróżnicowanych) warunków na poszczególnych polach uprawnych czy ich częściach. Warto jednak pamiętać, że jest to system wymagający rozległej wiedzy, doświadczenia i odpowiedniego wyposażenia technicznego. System ten oznacza bowiem gospodarowanie z zastosowaniem technologii informatycznych, w celu uzyskania wyższych plonów, o lepszej jakości przy jednoczesnym obniżeniu kosztów produkcji i ograniczeniu skażenia środowiska.

Przestrzenna zmienność warunków glebowych i innych czynników ważnych dla wzrostu roślin powoduje, że zunifikowane zarządzanie agrotechniką (również w skali pola) prowadzi do nieefektywnego wykorzystania środków produkcji, np. wody, składników odżywczych, środków ochrony roślin oraz energii. Wsparciem dla działań doradczych mogą być wyniki badań nad porównaniem różnych systemów uprawy roli, pozwalające ocenić kierunki wpływu stosowanych rozwiązań na środowisko glebowe na poziomie pola uprawnego.

Analiza wyników badań IUNG-PIB wskazuje, że siew bezpośredni korzystnie wpływał na gospodarkę zasobami glebowymi, ocenianą za pośrednictwem wybranych wskaźników.

Obok tego problemem dużej wagi jest kształtowanie świadomości ekologicznej zarówno rolników, jak i całego społeczeństwa ukierunkowane, między innymi, na ukazywanie wszystkich funkcji gleb. Ponadto niezbędne jest systematyczne monitorowanie stanu aktualnego, kierunków i dynamiki zmian oraz wskazywanie

różnych zagrożeń dla racjonalnej gospodarki środowiskiem glebowym. Są to ważne wyzwania dla nauki, doradztwa i praktyki, a jednocześnie istotne kierunki działań o charakterze strategicznym, również prowadzonych na poziomie regionów.

W analizach ekonomicznych problem racjonalnego wykorzystania gleb jest często pomijany lub uwzględniany fragmentarycznie. Mówi się np. o wysokiej jakości polskiej żywności, zapominając, że jest ona pochodną właściwej rejonizacji produkcji i stosowania nowoczesnych, innowacyjnych, bezpiecznych dla środowiska oraz zdrowia ludzi i zwierząt technologii. O bezpieczeństwie żywnościowym i samowystarczalności surowcowej kraju (netto) w sposób istotny decyduje racjonalne wykorzystanie gleb jako jednego z głównych czynników produkcji rolniczej.

Podsumowanie

W świetle przedstawionych rozważań można stwierdzić, że racjonalne wykorzystanie gleb jest problemem o dużym znaczeniu społecznym.

Charakterystyka środowiska glebowego Polski oraz wskazane na jej tle najważniejsze zagrożenia pozwoliły na wskazanie niezbędnych kierunków wsparcia instytucjonalnego. Wsparcie to powinno mieć szeroki zakres i obejmować działania merytoryczne (o charakterze decyzyjnym), doradztwo i wsparcie finansowe. Niezbędna jest również wieloaspektowa ocena wpływu różnych systemów uprawy roli, czy szerzej systemów gospodarowania na gospodarkę środowiskiem glebowym. Celowe jest również pełniejsze wykorzystywanie wyników badań naukowych.

W opracowaniu przedstawiono wybrane problemy racjonalnego gospodarowania środowiskiem glebowym Polski. Wskazano, że racjonalne gospodarowanie środowiskiem glebowym powinno polegać na dostrzeganiu wszystkich funkcji gleb; produkcyjnych, siedliskowych, retencyjnych oraz wskazywaniu zagrożeń i wyznaczaniu obszarów wrażliwych, najsilniej narażonych na procesy degradacji gleb. Podkreślono też konieczność wdrażania instrumentów prawnych i finansowych, prowadzących do ograniczenia lub wyeliminowania zagrożeń oraz konieczność uwzględniania specyfiki regionalnej.

Jednostki naukowe działające w sferze nauk rolniczych i doradztwo rolnicze, mają możliwości diagnozy stanu aktualnego i wspierania procesów racjonalnego gospodarowania środowiskiem glebowym. Racjonalne gospodarowanie glebami Polski jest celem strategicznym i ważnym wzywaniem dla całego społeczeństwa. Podstawowe warunki realizacji tego programu to kompleksowość oceny oraz współpraca nauki i doradztwa z władzami samorządowymi i administracyjnymi a także z samorządem rolniczym na wszystkich poziomach zarządzania.

Literatura

1. Chyłek K. E., Kopiński J., Madej A., Matyka M., Ostrowski J., Piórkowski H.: Uwarunkowania i kierunki rozwoju biogospodarki w Polsce. MRiRW-ITP, Warszawa-Falenty, 2017, ss.190.

2. Czudec A., Kata R., Miś T.: Efekty polityki rolnej Unii Europejskiej na poziomie regionalnym. Bogucki Wydawnictwo Naukowe. Poznań, 2017, ss.251.
3. Czyż E., Dexter A.R., Gajda A.: Wpływ uproszczonej uprawy roli na właściwości fizyczne i mikrobiologiczne wybranych gleb. Zesz. Nauk. Połud.-Wschod. Oddz. PTIE i PTG, Rzeszów, 2010, **13**: 33-35.
4. GUS. Roczniki statystyczne rolnictwa. Warszawa.
5. Józefaciuk A., Józefaciuk Cz.: Ochrona gruntów przed erozją. Bibl. Monit. Środowiska, Warszawa, 1996, 146 ss.
6. Kapusta F.: Ewolucja bezpieczeństwa żywnościowego Polski i jej mieszkańców na początku XXI wieku. Zag. Ekon. Rol., 2017, **1**: 161-178.
7. Kopiński J., Matyka M.: Ocena regionalnego zróżnicowania współzależności czynników przyrodniczych i organizacyjno-produkcyjnych w polskim rolnictwie. Zag. Ekon. Rol., 2016, **1**: 57-79.
8. Krasowicz S. Przesłanki racjonalnego wykorzystania gleb w Polsce. Rocz. Nauk. SERiA, 2012, **14 (5)**: 113-117.
9. Krasowicz S., Kuś J.: Kierunki zmian w produkcji rolniczej w Polsce do roku 2020 – próba prognozy. Zag. Ekon. Rol., 2010, **3**: 5-18.
10. Krasowicz S., Kuś J.: Regionalne uwarunkowania produkcji rolniczej w Polsce. W: Badania naukowe w procesie kształtowania polskiej wizji Wspólnej Polityki Rolnej i Wspólnej Polityki Rybackiej. III Kongres Nauk Rolniczych. Nauka – Praktyce. Warszawa, 2015, 15-30.
11. Kuś J., Matyka M.: Zróżnicowanie warunków przyrodniczych i organizacyjnych produkcji rolniczej w Polsce. [W:] Z badań nad rolnictwem społecznie zrównoważonym [20]. Raport PW IERiGŻ-PIB, Warszawa 2013, **93**: 47-70.
12. Matyka M., Krasowicz S., Kopiński J.: Zmiany w produkcji rolniczej w Polsce w latach 2000-2014. Studia Biura Analiz Sejmowych, 2016, **4(48)**: 7-36.
13. Nowak A.: Konkurencyjność rolnictwa Polski Wschodniej. Rozprawy Naukowe UP Lublin, **389**, 2017, ss. 200.
14. Siebielec G.: Stały monitoring gleb użytków rolnych Polski. W: Krajowe bazy danych o glebach. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2017, **51(5)**: 57-72.
15. Stuczyński T., Kozyra J., Łopatka A., Siebielec G., Jadczyszyn J., Koza P., Doroszewski A., Wawer R., Nowocień E.: Przyrodnicze uwarunkowania produkcji rolniczej w Polsce. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2007, **7**: 77-115.
16. Stuczyński T., Łopatka A.: Prognoza przekształceń gruntów rolnych na cele związane z urbanizacją w perspektywie roku 2030. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2009, **14**: 259-271.
17. Uchwała Rady Ministrów nr 223/2015 z dnia 15 grudnia 2015 r.
18. Zegar J. S.: Współczesne wyzwania rolnictwa. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa, 2012.

Adres do korespondencji:

dr hab. Mariusz Matyka, prof. IUNG-PIB
Zakład Systemów i Ekonomiki Produkcji Roślinnej
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. 81 4786 801
e-mail: mmatyka@iung.pulawy.pll

S T U D I A I R A P O R T Y IUNG-PIB

ZESZYT 58(12): 25-34 **2018**

Artur Łopatka[1], Piotr Koza[1], Tomasz Stuczyński[2]

[1] *Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach*
[2] *Katolicki Uniwersytet Lubelski*

METODYKA INTERPOLACJI OPRACOWANA NA POTRZEBY TWORZENIA MAP ZAGROŻEŃ GLEB*

Słowa kluczowe: mapy zagrożeń, mapa glebowo-rolnicza, interpolacja wielowymiarowa

Wstęp

Ocena zagrożeń dla wybranego obszaru gleb zazwyczaj składa się z trzech elementów: i) punktowych pomiarów właściwości gleb, ii) przypisania ich do powierzchni, który reprezentują oraz iii) obliczenia stopnia zagrożenia dla całości obszaru w oparciu o wybrany model. Ze względu na koszty i czas wykonania poboru oraz analiz prób glebowych, w badaniach gleboznawczych powszechnie napotyka się problem zbyt małej liczby pomiarów w stosunku do rzeczywistej zmienności przestrzennej szacowanych właściwości. Problem ten rozwiązywany jest różnorodnymi metodami interpolacji, które w większości polegają na przyjęciu w pobliżu punktów pomiaru wartości bliskich mierzonym w tych punktach i wartości bliskich średnim z wielu pomiarów w dużej odległości od punktów pomiaru. Metody interpolacji zazwyczaj oparte są więc na niejawnym założeniu, że parametry glebowe zmieniają się w przestrzeni w sposób ciągły. Przyjmuje się, że kompleksy glebowe położone w bliskiej odległości, poddane są niemal identycznym wpływom klimatu, odziaływaniu poziomu wód gruntowych czy zabiegom uprawowym. Założenia powyższe najczęściej słuszne w skali pola uprawnego, staja się już dyskusyjne w jego najbliższym otoczeniu i najczęściej błędne dla obszarów większych powierzchniowo jak jednostki administracyjne lub regiony fizyczno-geograficzne. W skali pola pobranie kilku próbek oznacza najczęściej, że odległości pomiędzy punktami pomiarowymi nie przekraczają kilkudziesięciu metrów. W skali kraju takiego jak Polska nawet duże monitoringi gleb użytków rolnych, obejmujące kilkadziesiąt tysięcy punktów poboru próbek nie gwarantują, że średnia odległość pomiędzy pomiarami będzie mniejsza

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.9 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

niż kilometr. Przy takich odległościach pomiędzy punktami pomiaru zmienność ukształtowania terenu, zasięgu poziomu wody gruntowej, rodzaju i sposobu uprawy powoduje, że interpolacja powinna uwzględniać dodatkowe informacje oprócz odległości od punktu pomiaru. Kolejną przeszkodą w stosowaniu interpolacji są nieciągłości występujące licznie w przyrodzie. Mogą one mieć przyczynę naturalną: skarpy; ostre granice geologiczne; mozaika glebowa, której genezą były burzliwe procesy geomorfologiczne, itp. – lub przyczynę związaną z użytkowaniem terenu, np.: granice pól, granice między użytkami zielonymi a gruntami ornymi, infrastrukturą. W związku z tym mapy powstające w wyniku interpolacji powinny uwzględniać to zjawisko przez wprowadzenie do modelu warstwy pomocniczej, opisującej występowanie „nieciągłości". W przypadku badań rolniczych największe znaczenie ma nieciągłość będąca granicą gruntów ornych i trwałych użytków zielonych. Na granicy tej, parametry gleb takie jak zawartość próchnicy czy ilość sorbowanych na niej zanieczyszczeń zmieniać się mogą nawet o rząd wielkości. Nieuwzględnienie istnienia tego typu nieciągłości w otoczeniu punktu pomiarowego zlokalizowanego na użytkach zielonych skutkuje np. znacznym przeszacowaniem interpolowanych zawartości próchnicy na bliskich gruntach ornych. Obecność nieciągłości w danych glebowych (i geologicznych) znajduje naturalne odzwierciedlenie w dominującym na ich mapach zapisie zmienności przestrzennej w formie mozaiki poligonów – płatów gleb o jednorodnych właściwościach. Większość danych meteorologicznych (oprócz opadów), ze względu na zjawiska mieszania i dyfuzji spełnia założenia ciągłości w znacznie większych skalach, przez co ich interpolacja jest zadaniem znacznie prostszym i prowadzi do powstania map składających się z wielu współkształtnych izolinii.

Dostępność szczegółowych map uwzgledniających przestrzenną nieciągłość zmienności uziarnienia gleb była inspiracją do opracowania nowej, opisanej w dalszej części artykułu, metody interpolacji danych glebowych. Metodę tą zastosowano do interpolacji wszystkich parametrów gleb wykorzystywanych do opracowania map zagrożeń prezentowanych w dalszych rozdziałach opracowania. Mapy zagrożeń gleb obrazują wyniki modeli zastosowanych do oceny obniżenia rolniczego potencjału produkcyjnego gleb ze względu na degradację ich struktury fizycznej gleby (indeks S) czy też skażenia takimi metalami ciężkimi jak kadm Cd, cynk Zn, czy ołów Pb.

Definicja proponowanej metody interpolacji

Uziarnienie gleby czyli rozkład wielkości cząstek glebowych jest czynnikiem silnie powiązanym z większością parametrów gleb. Uziarnienie determinuje rozkład porów glebowych, co oznacza że zależą od niego zarówno polowa pojemność wodna gleby jak i jej przewodność hydrauliczna. W efekcie uziarnienie jest głównym czynnikiem różnicującym wilgotność gleb na obszarach o jednorodnych warunkach klimatycznych gdzie podsiąk z poziomu zwierciadła wody gruntowej jest zaniedbywalny (niemal

wszystkie GO w Polsce). Wilgotność gleby wpływa z kolei na szybkość procesów mineralizacji glebowej materii organicznej oraz wysokość plonów i ilość resztek pożniwnych i z tego powodu jest zmienną skorelowaną z jej zawartością. Właściwości sorpcyjne materii organicznej sprawiają, że jest ona zmienną objaśniającą poziomy zawartości pierwiastków śladowych (jak Cd, Zn czy Pb) czy też wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych. Podobne sorpcyjne właściwości mają najdrobniejsze frakcje cząstek glebowych. Właściwości strukturotwórcze materii organicznej wpływają na gęstość gleby, możliwości tworzenia struktury agregatowej i ocenę fizycznej jakości gleby pod względem łatwości uprawy (indeks S).

Cyfrowe mapy glebowo-rolnicze zawierające informacje o uziarnieniu jak i użytkowaniu poszczególnych poligonów glebowych (granice pomiędzy gruntami ornymi GO i trwałymi użytkami zielonymi TUZ) są więc cennym źródłem zmiennych objaśniających dla procesu interpolacji. Przeszkodą w ich wykorzystaniu do interpolacji geostatystycznej, klasyczną metodą kokrigingu jest ich kategoryczny charakter. Przejście z informacji kategorycznej takiej jak przynależność gleby do grupy granulometrycznej (pl, pgl, gl, i, plz) na parametryczną taką jak udział wybranej frakcji (np. iłu koloidalnego) jest możliwe lecz wymaga posiłkowania się informacją o przedziałach składu granulometrycznego. Bardzo trudna jest za to parametryzacja użytkowania terenu (GO, TUZ, lasy).

Proponowana metoda interpolacji została więc oparta na wykorzystaniu objaśniających zmiennych kategorycznych tak, że warstwy rastrowe oryginalnie ciągłych zmiennych objaśniających muszą być uśrednione w granicach poligonów mapy i dopisane do bazy mapy np. w postaci przedziałów wartości zmiennej. W efekcie zastosowania proponowanej metody uzyskiwane jest przypisanie do istniejących poligonów mapy glebowo-rolniczej wartości mierzonych w lokalizacjach poboru prób z uwzględnieniem informacji o odległości pomiędzy środkiem geometrycznym poligonu a lokalizacją poboru próbki oraz informacji o stopniu podobieństwa pomiędzy własnościami gleb w poligonie mapy i pobranej próbce.

Pierwotna wersja proponowanej metody (2) zakładała przypisanie do poligonu właściwości najbardziej podobnej i bliskiej próbki. Zaletą pierwotnej wersji metody było dobre odzwierciedlenie rozkładów zmienności interpolowanych cech ze względu na brak typowych dla interpolacji procesów uśredniania. Niestety wadą takiego rozwiązania była podatność na niewielkie zmiany w liczbie i lokalizacji pobranych próbek co powodowało obawy że jej zastosowanie np. do wyznaczenia nowych zasięgów Obszarów o Niekorzystnych Warunkach gospodarowania (ONW) (w oparciu o udziały frakcji piasku wg. definicji USDA/FAO2006) może w pewnych regionach narażać nowo wyznaczane zasięgi ONW na podważenie w sytuacji wykonania dodatkowych pomiarów.

Nowo opracowana wersja metody zakłada przypisanie do poligonu średnich ważonych wartości interpolowanego parametru z próbek spełniających zadane kryteria podobieństwa zgodnie z ogólnym wzorem mającym zastosowanie w wielu metodach interpolacji (1):

$$\hat{z}(x_j) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_{ji} z(x_i) \qquad (1)$$

gdzie $\check{z}$ jest estymowaną wartością parametru w wybranej lokalizacji x_j, z jest zmierzoną wartością w lokalizacji x_i, λ_{ji} jest wagą przypisaną do pobranej próbki, a n jest liczbą pobranych próbek.

W przypadku popularnej i prostej metody IDW (*ang. Inverse Distance Weighting*), której wyniki są w pewnych warunkach porównywalne a nawet lepsze od bardziej skomplikowanych metod geostatystycznych takich jak kriging (1, 4) wagi wynoszą:

$$\lambda_{ji} = \frac{1/d_{ji}^{p}}{\sum_{i=1}^{n} 1/d_{ji}^{p}} \qquad (2)$$

gdzie d_{ji} jest odległością euklidesową pomiędzy miejscem interpolacji x_j oraz miejscem poboru próbki gleby x_i, a p jest współczynnikiem potęgowym. Przy bardzo wysokich wartościach współczynnika p uzyskuje się rezultaty podobne do interpolacji metodą poligonów Woronoja/Thiessena/Dirichleta tzn. zdominowane przez wartość najbliższego punktu, a przy wartościach p<2 zdominowane przez średnią z odległych punktów. Wartość p=2 jest domyślnie przyjmowana przez większość programów geostatystycznych, przy czym n jest ograniczane do 12 najbliższych próbek.
W przypadku proponowanej metody miejsce interpolacji jest środkiem geometrycznym wybranego poligonu mapy glebowo-rolniczej a wagi λ_{ji} wynoszą:

$$\lambda_{ji} = \frac{\frac{m_{ji}}{d_{ji}^{p}} \sum_{k=1}^{K} a_{kji} w_k}{\sum_{i=1}^{n} \frac{m_{ji}}{d_{ji}^{p}} \sum_{k=1}^{K} a_{kji} w_k} \qquad (3)$$

gdzie w_k jest wagą przypisaną do poszczególnych warstw zmiennych objaśniających, m_{ji} jest funkcją schodkową: m_{ji}=1 gdy zachodzi narzucony warunek konieczny podobieństwa tzn. kategoryczna zmienna objaśniająca konieczna, przyjmuje ta samą wartość zarówno dla próbki jak i poligonu, oraz m_{ji}=0 gdy zmienna ta przyjmuje różne wartości dla próbki i poligonu. Podobnie a_{kji} jest funkcją schodkową: a_{kji}=1 gdy zachodzi narzucony warunek dodatkowy podobieństwa tzn. kategoryczna k-ta zmienna objaśniająca dodatkowa, przyjmuje ta samą wartość zarówno dla próbki jak i poligonu, oraz a_{kji} =0 gdy k-ta zmienna przyjmuje różne wartości dla próbki i poligonu.

W ten sposób do poligonu mapy przypisywana jest średnia ważona tylko z próbek, które spełniają warunek konieczny podobieństwa (np. ta sama kategoria agronomiczna) przy czym spełniają co najmniej jeden warunek dodatkowy (np. to

samo użytkowanie). Spełnienie warunków dodatkowych zwiększa wpływ próbki na wartość średnią proporcjonalnie do wagi poszczególnych zmiennych objaśniających. Dodatkowo wpływ próbki na wartość średnią jest tak samo jak w metodzie IDW tym większy, im pobrano ją bliżej geometrycznego środka poligonu glebowego.
Po prostych przekształceniach wzorów [1] i [3] uzyskuje się:

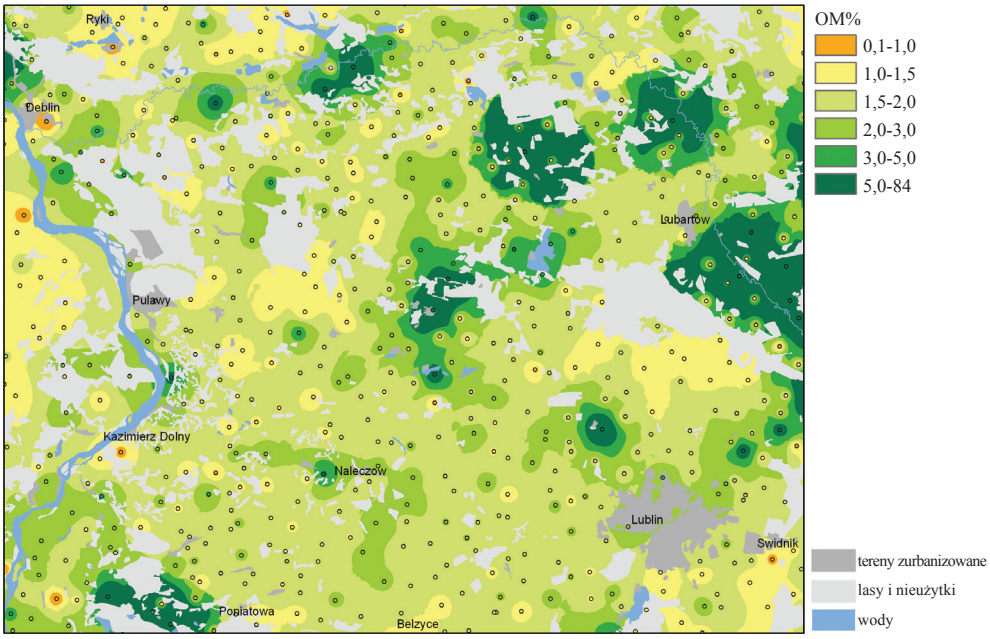
$$\sum_{k=1}^{K} w_k \left[\sum_{i=1}^{n} \frac{a_{kji}\, m_{ji}}{d_{ji}^{p}} \left(\hat{z}(x_j) - z(x_i) \right) \right] = 0 \qquad (4)$$

ponieważ wagi w_k określone są z dokładnością do dowolnego wspólnego mnożnika można narzucić warunek:

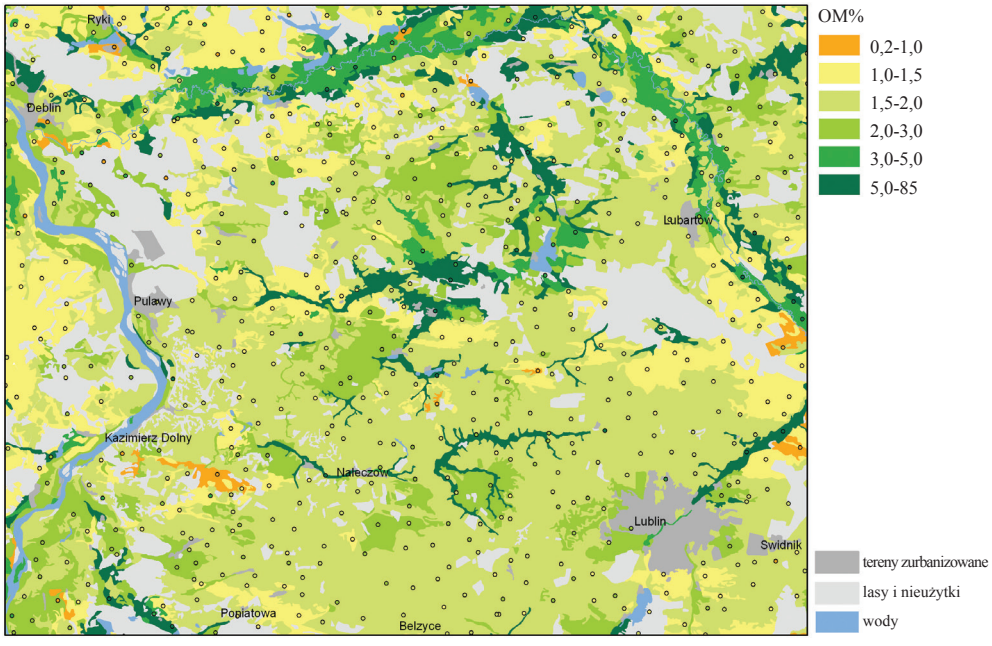
$$\sum_{k=1}^{K} w_k = 1 \qquad (5)$$

który pozwala wyeliminować z równania [4] jedną dowolnie wybraną wagę i wyznaczyć pozostałe wagi metodą regresji liniowej, gdy za *ž* podstawione zostaną zmierzone wartości z kolejnych próbek.

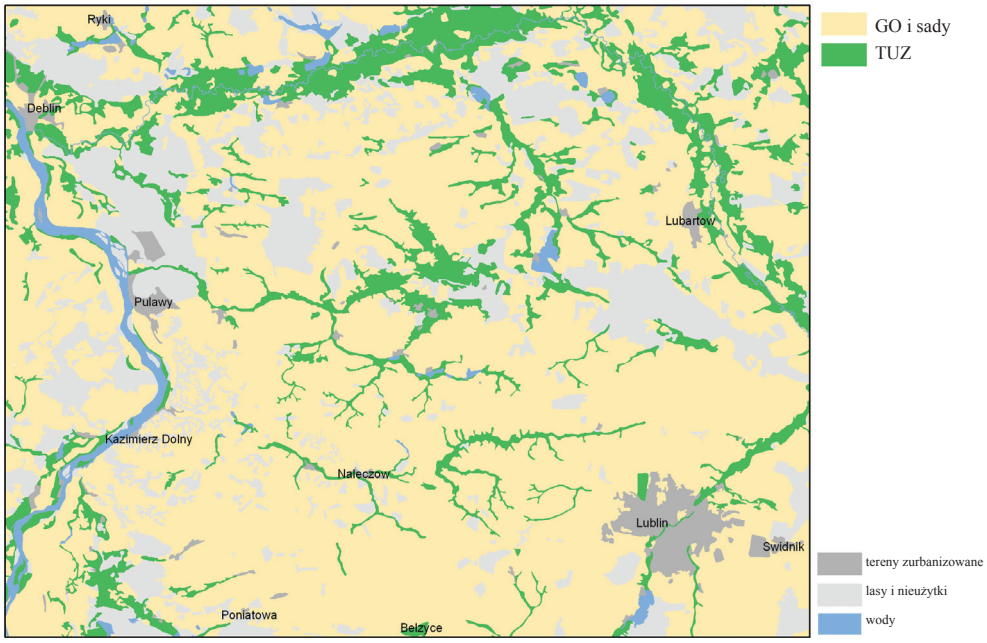
Proponowana metoda ma wizualnie przewagę nad metodą IDW ponieważ zmienność interpolowanych cech jest zgodna ze zmiennością wyznaczoną kształtami poligonów glebowych a nie zależna jedynie od odległości do miejsca poboru próbki, jak ma to miejsce w metodzie IDW, krigingu i wielu innych.



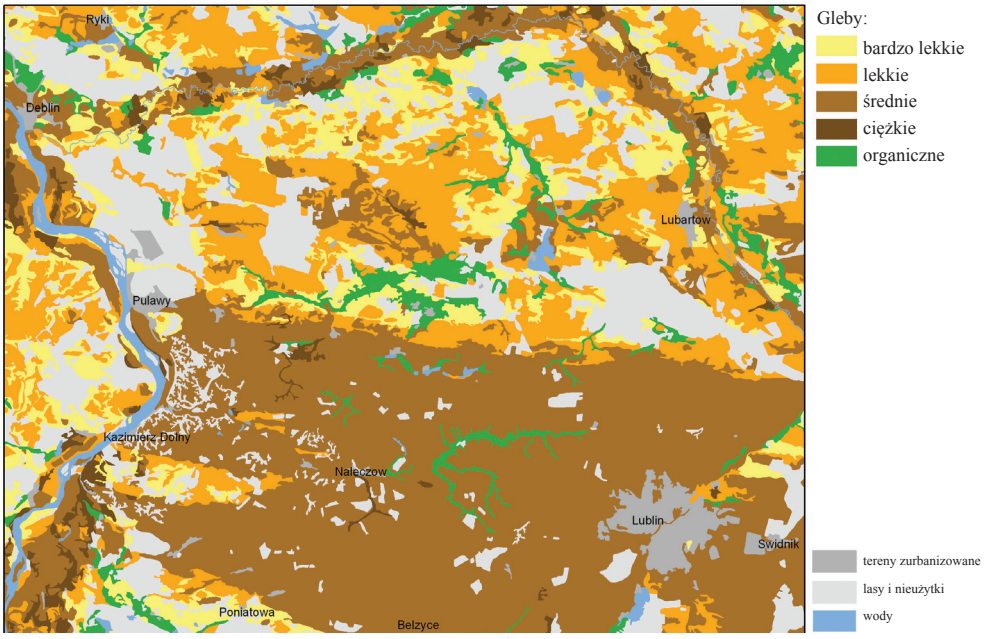
Rys. 1. Zawartość materii organicznej (OM) w wierzchniej warstwie gleby interpolowana metodą IDW
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych monitoringu z lat 90-tych (6)



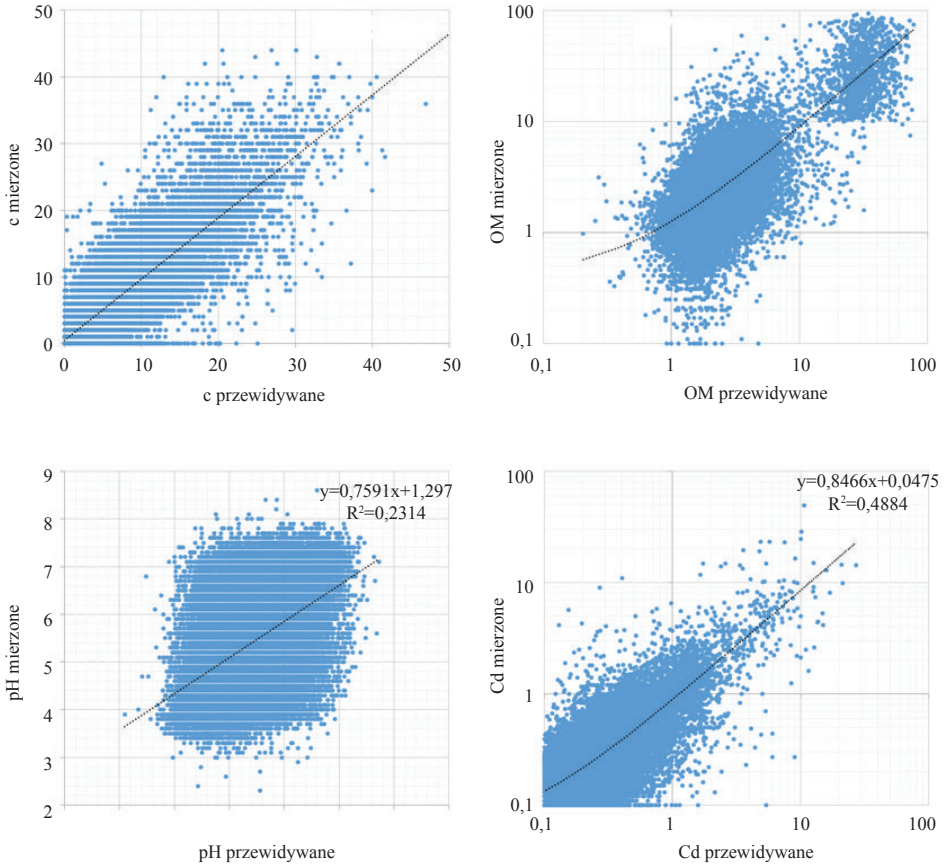
Rys. 2. Zawartość materii organicznej (OM) w wierzchniej warstwie gleby interpolowana metodą proponowaną w artykule
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych monitoringu z lat 90-tych (6)



Rys. 3. Użytkowanie terenu jako zmienna objaśniająca na obszarze interpolacji
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych mapy glebowo-rolniczej 1:100 000 (5)



Rys. 4. Kategoria agronomiczna gleby jako zmienna objaśniająca na obszarze interpolacji
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych mapy glebowo-rolniczej 1:100 000 (5)



Rys. 5. Dopasowanie wartości przewidywanych i mierzonych dla ważniejszych parametrów gleb wykorzystywanych w modelach zagrożeń (zawartość iłu koloidalnego c, procent wagowy glebowej materii organicznej OM, odczyn gleby pH mierzony w KCl i zawartość kadmu Cd)

Źródło: opracowanie własne

Wyniki interpolacji parametrów gleb wykorzystywanych w mapach zagrożeń

Do celów opracowania map zagrożeń, dla parametrów gleb wykorzystywanych w modelach zagrożeń dokonano estymacji wag zmiennych objaśniających dodatkowych (których zgodność w poligonie i profilu nie jest warunkiem koniecznym) - metodą najmniejszych kwadratów (Rys. 5). Do estymacji wykorzystano bazę około 44 tysięcy profili wzorcowych pobranych na UR w latach 1992-1996 (6).

Warstwami zmiennych objaśniających dodatkowych były kategorie agronomiczne gleb (bardzo lekkie, lekkie, średnie, ciężkie, organiczne) określone z uziarnienia profili wzorcowych; użytkowanie terenu (GO, TUZ, lasy, wody, tereny zurbanizowane)

odczytane z bazy profili wzorcowych oraz wysokość n.p.m. lokalizacji z której pobrano próbkę (przedziały: 0-25, 25-50, …, 225-250, 250-300, 300-500, > 500m) odczytana z numerycznego modelu terenu.

Uzyskane wagi dla większości parametrów gleb pokazują że użytkowanie terenu jest czynnikiem znacznie silniej wpływającym na wartości analizowanych parametrów gleb niż wysokość n.p.m. (Tab. 1).

Tabela1

Estymowane wagi zmiennych dla warunków dodatkowych wykorzystywanych w interpolacji parametrów gleb

Parametr gleby	Zmienna dla warunku koniecznego zgodności	Wagi zmiennych dla warunków dodatkowych:			R^2
		kateg. agr.	użytk. terenu	wysokość n.p.m.	
Ił koloidalny c %	gatunek gleby	-	0,67	0,33	0,71
Próchnica OM %	kateg. agr.	-	0,73	0,27	0,60
Odczyn pH w KCl	-	0,43	0,46	0,11	0,23
Cd mg/kg	kateg. agr.	-	0,87	0,13	0,49
Zn mg/kg	kateg. agr.	-	0,92	0,08	0,45
Pb mg/kg	kateg. agr.	-	0,93	0,07	0,17

Źródło: opracowanie własne

Z wykorzystaniem wag z tabeli 1, parametry gleb zostały interpolowane na obszarze kraju przez przypisanie wartości interpolowanych parametrów do poligonów mapy glebowo-rolniczej w skali 1:100000 (5).

Podsumowanie

Przedstawiona metoda interpolacji danych glebowych:

- wykorzystuje dane wektorowe cyfrowej mapy glebowo-rolniczej przypisując wartości interpolowanego parametru do poligonów mapy
- pozwala na uwzględnienie informacji zawartych w skategoryzowanych warstwach zmiennych pomocniczych
- pozwala na odrzucenie z procesu obliczania średnich ważonych, próbek dla których nie zachodzi zgodność zmiennej pomocniczej w poligonie mapy i w próbce glebowej
- wagi dla warstw pomocniczych, używanych w interpolacji parametru glebowego, mogą być automatycznie ustalane w oparciu o dostępna bazę próbek glebowych
- przewidywania są bardziej realistyczne niż te które uzyskuje się metodą IDW.

Zaprezentowaną metodę zastosowano do interpolacji parametrów gleb wykorzystywanych w modelach zagrożeń prezentowanych w dalszych rozdziałach opracowania.

Literatura

1. Li J., Heap A.D.: A Review of Spatial Interpolation Methods for Environmental Scientists. Geoscience Australia, Canberra, 2008, **23**, ss. 137.
2. Łopatka A., Stuczyński T., Czyż E., Kozyra J., Jadczyszyn J.: Analiza warunków wodnych gleb i zagrożeń związanych z suszą na przykładzie województwa podlaskiego. Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy, 2007, **5**: 79-105.
3. Pudełko R.: Interpolacja modeli właściwości agrochemicznych gleby. Nawozy i Nawożenie, Puławy, 2005, 4(25), 83 str.
4. Rozpondek R., Rozpondek K., Kacprzak M.: Porównanie metod krigingu, IDW, RBF i GPI w generowaniu rozkładu przestrzennego metali ciężkich do opracowań małoobszarowych na przykładzie przemysłu hutniczego. Pol. J. Natur. Sc., 2018, **33(2)**: 301–317.
5. Stuczyński T., Jadczyszyn J.: Cyfrowa mapa glebowo-rolnicza Polski w skali 1:100000, 2007, IUNG-PIB.
6. Terelak H. : Dane z programu: Ocena stanu ekologicznego gleb użytków rolnych Polski. 1992-1996.

Adres do korespondencji:

mgr Artur Łopatka
Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. 81 47 86 781
email: artur@iung.pulawy.pl

S T U D I A I R A P O R T Y IUNG-PIB

ZESZYT 58(12): 35-46 **2018**

Jan Jadczyszyn, Grzegorz Siebielec, Artur Łopatka, Piotr Koza

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach

OCENA PRZEKSZTAŁCANIA I ZASKLEPIANIA GLEB UŻYTKÓW ROLNYCH NA CELE URBANIZACJI*

Słowa kluczowe: tereny zabudowane, tereny zasklepione, użytki rolne, wskaźnik transformacji jakościowej gleb

Wstęp

Dynamiczny rozwój społeczno-gospodarczy świadczy o sile gospodarki i zamożności społeczeństwa. Wyznacznikiem rozwoju społeczno-gospodarczego jest budowa nowych osiedli mieszkaniowych, rozwój terenów przemysłowych i infrastruktury transportowej. W przestrzeni rozwój ten jest realizowany głównie kosztem zajmowania i przekształcania istniejących użytków rolnych i leśnych w tereny zurbanizowane. Zjawisko to prowadzi do trwałego zmniejszania się areału użytków rolnych i leśnych, przez co ograniczane są ekologiczne i biologiczne funkcje gleby. Poprzez zmniejszanie retencji wody w środowisku następuje wzrost ryzyka powodziowego. Wyłączanie gleb z rolniczego i leśnego użytkowania może wiązać się bezpośrednio z ich zasklepianiem, które polega na trwałym pokrywaniu ziemi materiałem nieprzepuszczalnym. Zarówno zabudowa jak i zasklepianie gleb przyczyniają się do wzrostu temperatury powietrza i przyspieszają tempo zmian klimatycznych. Procesu urbanizacji nie można zahamować, ale należy podejmować działania ukierunkowane na lepszą ochronę gleb o największym potencjale produkcyjnym i funkcjach ekologicznych, które zminimalizują jego negatywne następstwa środowiskowe,.

Obszary wyłączone z produkcji rolniczej i leśnej można podzielić na trzy kategorie:

1) Tereny zajęte pod budynki i różnego rodzaju budowle trwałe,
2) Tereny bezpośrednio przylegające do budynków, budowli i funkcjonalnie z nimi połączone, a przeznaczone m.in. na utwardzone drogi dojazdowe, place manewrowe itp.,

* Opracowanie wykonano w ramach zadań 1.1 i 1.5 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

3) Tereny przylegające do obu tych kategorii, w których można wyodrębnić jeszcze dwie podkategorie: nie podlegające trwałemu przekształceniu profilu glebowego oraz podkategoria, w której gleba podlega modyfikacji poprzez wyrównanie terenu (ogłowienie pierwotnego profilu lub jego przysypanie nową warstwą gruntu).

Największe negatywne skutki ekologiczne odnotowuje się w dwu pierwszych kategoriach podlegających trwałemu zasklepieniu. Negatywne następstwa ekologiczne w trzeciej kategorii zależą od stopnia przekształcenia profilu glebowego.

Problem nadmiernego tempa i zarazem ochrony przekształcania gleb użytków rolnych i leśnych na cele urbanizacji dostrzeżony jest w ustawodawstwie unijnym i krajowym. W Polsce zasady ochrony gruntów rolnych i leśnych reguluje ustawa z dnia 3 lutego 1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych (t.j. Dz.U. z 2013 r., poz. 1205 z poźn. zm.), zgodnie z którą na cele nierolnicze i nieleśne powinno się przeznaczać przede wszystkim nieużytki, a w razie ich braku inne grunty o najmniejszej przydatności dla potrzeb rolnictwa. Jednak areał nieużytków w naszym kraju jest znikomy i ich wykorzystanie na cele zgodne z przepisem ustawy o ochronie gruntów rolnych i leśnych nie znajduje szerszego znaczenia. Ponadto ochrona prawna gleby jest ujęta m.in. w ustawie Prawo ochrony środowiska (Dz.U. z 2013 r. poz. 1232 z późn. zm.), ustawie o lasach (Dz.U. z 2011 r. Nr 12, poz. 59 z późn.zm.), ustawie Prawo wodne (Dz.U. z 2012 r., poz.145 z późn.zm.).

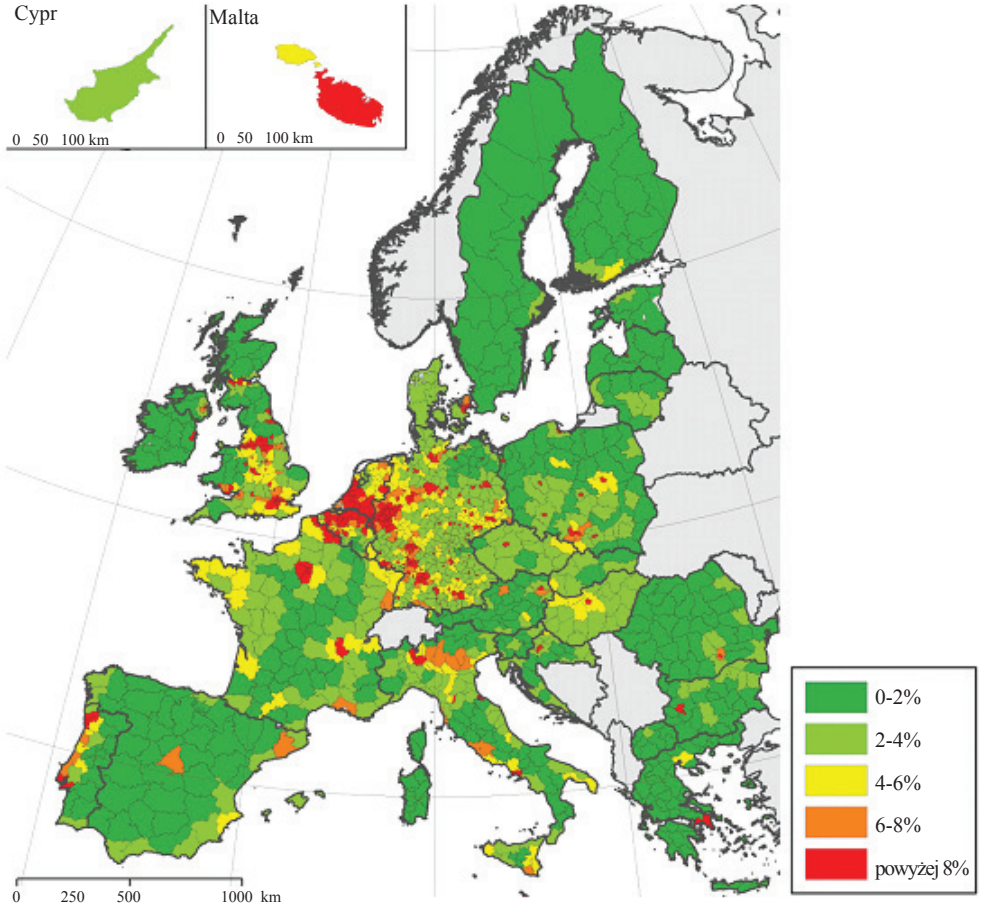
Straty gleb w procesach urbanizacji w Europie

Na poziomie Unii Europejskiej ochrona i zrównoważone użytkowanie gleby określone zostały w dokumencie „Strategia ochrony gleby" ogłoszonym 22 września 2006 r. (KOM(2006)231). Jednak brak konsensusu w Radzie Europy w sprawie przyjęcia ramowej dyrektywy w zakresie zrównoważonego użytkowania i ochrony gleb nie doprowadził do zharmonizowania prawnej ochrony gleby w skali całej Unii Europejskiej.

Europa jest najbardziej zurbanizowanym kontynentem na świecie. Co roku kolejne 1 000 km² (tj. powierzchnia większa od miasta Berlin) jest przekształcane na potrzeby ludzi, z czego duża część zostaje zasklepiona (3).

Zgodnie z mapą zasklepiania Europejskiej Agencji Ochrony Środowiska (EAA) (EAA, 2013) 2,3% terytorium Unii Europejskiej było zasklepionych w 2006 r., a 4,4% terytorium zostało zabudowane (4). Rys. 1 przedstawia procent zasklepienia powierzchni zagregowany do poziomu regionu NUTS 3 w oparciu o mapę zasklepienia EAA. W Unii Europejskiej obszary zabudowane są zasklepione średnio w 51%, ale udział powierzchni zasklepionej jest bardzo zróżnicowany w poszczególnych państwach członkowskich, w zależności od dominujących struktur osadniczych (4). Według bazy danych CORINE obejmującej dane o użytkowaniu ziemi, obszary

zabudowane objęły odpowiednio 4,1%, 4,3% i 4,4% terytorium UE w latach 1990, 2000 i 2006. Odpowiada to zwiększeniu o 8,8% powierzchni zabudowanej w UE w okresie 1990-2006. W tym samym okresie liczba mieszkańców wzrosła tylko o 5%. W 2006 r. na jednego mieszkańca UE przypadało 389 m² powierzchni zabudowanej, co stanowiło o 3,8% lub 15 m² więcej niż w 1990 r. (4).



Rys 1. Procent zasklepienia gleby zgodnie z danymi EAA, rok 2006

Źródło: Prokop i in., 2011(4)

Dane dotyczące wykorzystania gruntów na poziomie europejskim można uzyskać z przestrzennych baz danych CORINE, dotyczących pokrycia terenu. Należy zauważyć, że istnieją pewne niespójności pomiędzy poszczególnymi krajami, związane z niejednorodnymi metodologiami stosowanymi w różnych krajach. W latach 1990-2006 zaobserwowano nieznaczny spadek tempa przyrostu zabudowy na poziomie Europy, z 100 640 hektarów rocznie w latach 1990-2000 do 92 016 ha w latach 2000-2006. W Belgii, Republice Czeskiej, Niemczech, Luksemburgu, Polsce i Słowacji można było zaobserwować dość znaczne spadki tempa przyrostu zabudowy, a bardziej umiarkowane spadki były widoczne w Irlandii, Włoszech, Łotwie, Holandii i Portugalii. We wszystkich pozostałych państwach członkowskich tempo zabudowy wzrosło w 21 wieku (4).

Bardziej precyzyjna analiza przyrostu terenów zasklepionych (ciągła zabudowa mieszkalna, komercyjna/przemysłowa i obiekty transportowe) została przeprowadzona dla wybranych miast Europy Środkowej (5). W pracy dokonano oceny jakości gleb utraconych w wyniku niekontrolowanego rozwoju miast. Mapy zmian użytkowania gruntów przygotowano w oparciu o spójne dane pochodzące z zobrazowań satelitarnych a następnie wykorzystano je do określenia jakości gleb utraconych w wyniku urbanizacji. Analizę przeprowadzono dla Bratysławy, Pragi, Wiednia, Stuttgartu, Mediolanu, Salzburga i Wrocławia. Mapy użytkowania terenu o rozdzielczości 10 metrów zostały opracowane dla okresów 1990-1992 i 2006-2007. Obszar zasklepiony w ciągu 15 lat w obszarach testowych wynosił od 160 do 780 ha. Podane tutaj dane mogą nieco różnić się od oficjalnych statystyk wykorzystujących inne metodologie gromadzenia danych. Jednak zaletą zastosowanego podejścia było to, że umożliwiło ono analizę zmian użytkowania gruntów według tej samej metody dla wszystkich miast i ich powiązanie z informacjami o jakości gleby. Gleby w każdym mieście zostały sklasyfikowane zgodnie z dostępnymi informacjami, zwykle na podstawie krajowych systemów waloryzacji gleb. Najwartościowsze gleby były skutecznie chronione w Bratysławie. Udział najlepszych gleb w obszarach nowo zasklepionych był w Bratysławie 5 razy mniejszy niż ich udział w ogólnej powierzchni. Założono, że regulacje obowiązujące na Słowacji w pewnym stopniu przyczyniły się do ochrony najcenniejszych gleb pod względem potencjału produkcyjnego. Gleby sklasyfikowane jako najcenniejsze są tam chronione między innymi przez system opłat (klasy 1-4 z 9). Przekształcenie tych gruntów rolnych w inne rodzaje użytkowania wiąże się z obowiązkowymi płatnościami w wysokości od 6 do 15 EUR za metr kwadratowy. Oceny przeprowadzone dla innych miast wykazały negatywne tendencje w postaci preferencyjnego przekształcania najcenniejszych gleb.

Skala przekształcania i zasklepiania użytków rolnych o określonej przydatności rolniczej na cele urbanizacji w Polsce

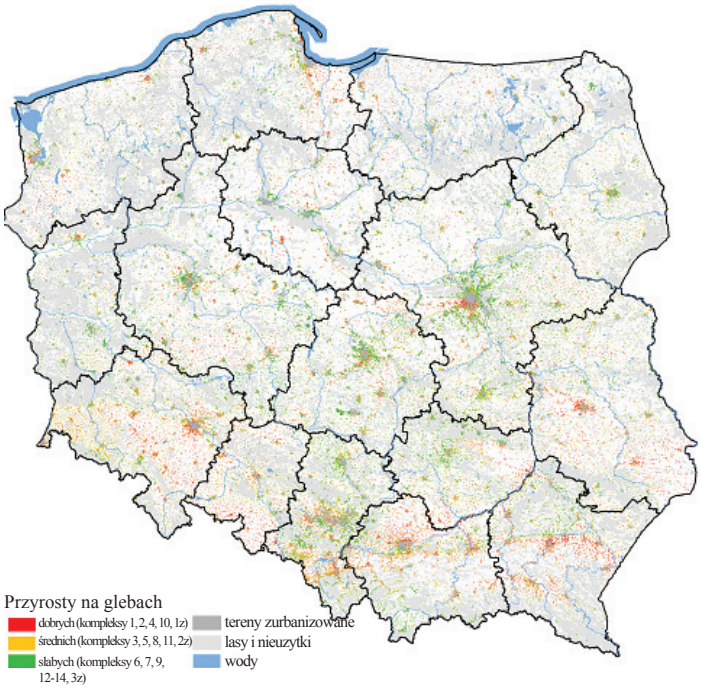
Metodyka badań

W pracy dokonano oceny ilościowo-jakościowej przekształcania gleb użytkowanych rolniczo w Polsce na potrzeby urbanizacji od lat 70- ubiegłego wieku do roku 2012 oraz w latach 2000-2012. Ocena jakościowa siedliska glebowego określona została ą na podstawie kompleksów przydatności rolniczej gleb.

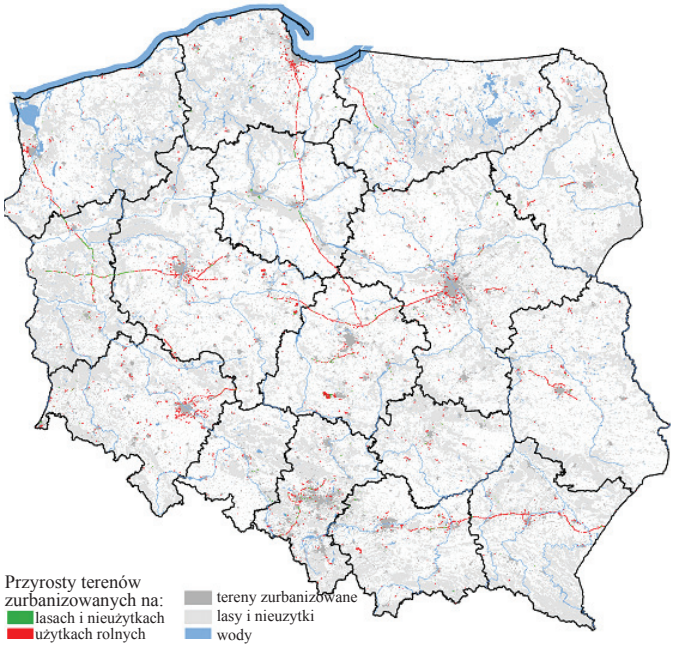
Ocenę przekształceń gleb użytków rolnych na cele urbanizacji przeprowadzono w oparciu o mapę glebowo-rolniczą w skali 1:25 000 (MGR 1:25 000) oraz klasyfikację kategorii użytków gruntowych w latach 2000 i 2012 zrealizowaną w ramach projektu „CORINE". Mapa glebowo-rolnicza w skali 1:25 000 jest pochodną, zgeneralizowaną wersją tej mapy w skali podstawowej 1:5 000 (MGR 1: 5 000). Materiałem źródłowym do opracowania mapy glebowo-rolniczej były wyniki prac klasyfikacyjnych wykonanych na potrzeby bonitacji gleb i dodatkowe badania uzupełniające. Podkład kartograficzny stanowiły mapy ewidencji gruntów w skali 1:5 000 oraz podkład mapy topograficznej w skali 1:25 000 (2). Struktura użytków gruntowych zarejestrowana na podkładach kartograficznych z lat 70. ubiegłego wieku była podstawą do oceny zmian ilościowych, a dane charakteryzujące kompleksy przydatności rolniczej gleb podstawą do oceny zmian jakościowych. Powierzchnię użytków rolnych w latach 2000 oraz 2012 określono w oparciu o dane CORINE opracowane na podstawie klasyfikacji zdjęć satelitarnych z rozdzielczością 100x100 m. Na potrzeby oceny jakościowej zmian gleb użytków rolnych w analizowanych okresach dokonano grupowania kompleksów przydatności rolniczej gleb na mapie MGR 1:25 000 na trzy grupy:

1) Gleby dobre – kompleksy przydatności rolniczej gleb 1, 2, 4, 10 i 1z,
2) Gleby średnie - kompleksy przydatności rolniczej gleb 3, 5, 8, 11 i 2z,
3) Gleby słabe i bardzo słabe - kompleksy przydatności rolniczej gleb 6, 7, 9, 12-14 i 3z.

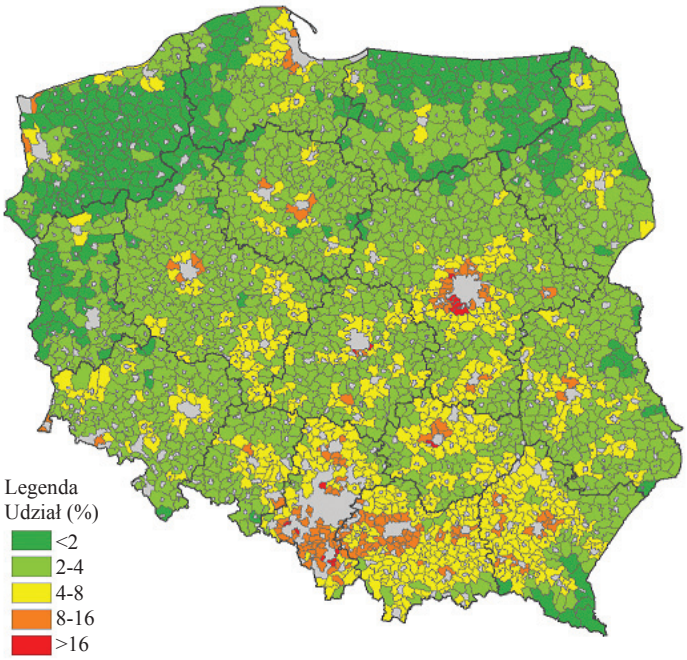
Następnie na mapie MGR 1: 25 000 z lat 70. obliczono w skali kraju powierzchnie terenów zabudowanych (Tz) oraz powierzchnie poszczególnych grup gleb (1, 2, 3) i ich udział w stosunku do ogółu gleb użytków rolnych w skali kraju i poszczególnych województw. Na podstawie różnicowania powierzchni terenów zabudowanych/ zurbanizowanych na mapach CORINE z lat 2000 i 2012 oraz na mapie MGR 1: 25 000 dokonano wyliczenia wskaźnika transformacji jakościowej gleb (TI – Transition Index) który jest podstawą oceny jakościowej przekształcenia gleb użytków rolnych na tereny zurbanizowane w analizowanych okresach (6). Wskaźnik na poziomie równym jedności oznacza, że dana grupa gleb jest przekształcana na potrzeby urbanizacji proporcjonalnie do ich udziału w strukturze użytków. Wartość większa od jedności wskazuje na zwiększony udział grupy gleb w transformacji w stosunku do istniejącego stanu. Obliczenia powierzchni zmian w strukturze użytków gruntowych oraz terenów zurbanizowanych przeprowadzono na mapach cyfrowych z rozdzielczością piksela 100x100 m. Wyniki przeprowadzonych analiz przedstawiono na mapach oraz w wykazie tabelarycznym.



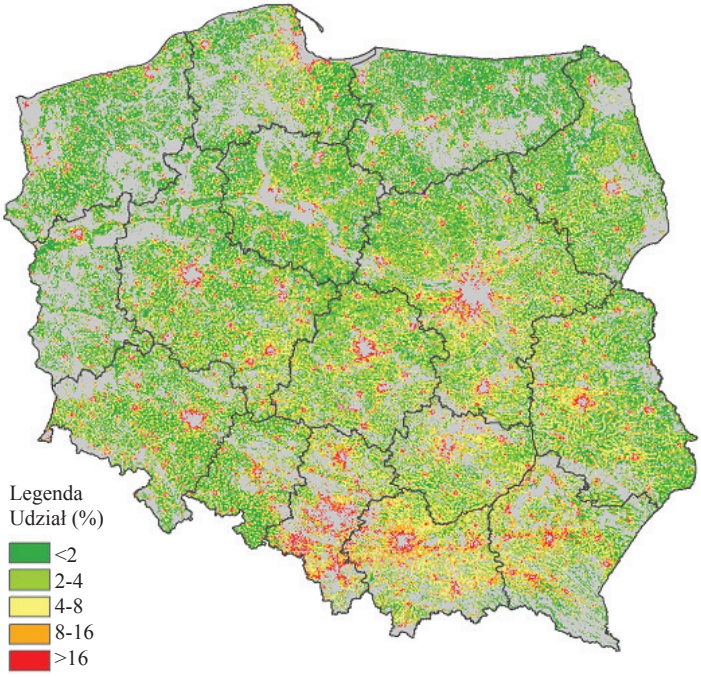
Rys. 2. Przyrosty terenów zurbanizowanych w Polsce do roku 2012
Źródło: opracowanie własne



Rys. 3. Przyrosty terenów zurbanizowanych w Polsce w okresie 2000-2012
Źródło: opracowanie własne



Rys. 4. Średnie zagęszczenie obszarów zabudowanych w gminie
Źródło: opracowanie własne



Rys. 5. Rozkład przestrzenny zagęszczenia zabudowy na obszarach wiejskich
Źródło: opracowanie własne

Omówienie i dyskusja wyników

Opracowane analizy przestrzenne w zakresie struktury użytkowania gruntów w oparciu o materiały kartograficzne z różnych okresów pozwoliły na ocenę jakościową przekształcania gleb użytkowanych rolniczo na potrzeby urbanizacji. Ocenę zmian przeprowadzono na podstawie grupowania kompleksów przydatności rolniczej gleb na mapie glebowo-rolniczej na trzy grupy jakościowe: gleby dobre, średnie oraz bardzo słabe i słabe. Powierzchniowe przyrosty terenów zurbanizowanych w Polsce do roku 2012 kosztem gleb użytków rolnych zobrazowano na rysunku 2. W kolorze czerwonym przedstawiono gleby dobre o bardzo dużej i dużej przydatności do uprawy roślin rolniczych, w kolorze żółtym gleby średnie oraz w kolorze zielonym gleby słabe i bardzo słabe o małej przydatności. W latach 1970-2012 przyrost terenów zurbanizowanych w skali kraju miał charakter rozproszony, z widoczną koncentracją wokół większych aglomeracji miejskich, takich jak Warszawa, Łódź, Poznań, Wrocław, Kraków i aglomeracja śląska. Rozwój terenów zurbanizowanych w południowej części kraju w obrębie województwa lubelskiego, podkarpackiego, małopolskiego, opolskiego i dolnośląskiego zrealizowany został głównie na glebach najlepszych i dobrych, które dominują w strukturze użytków rolnych. Dane zawarte w tabeli 1 wskazują na prawie równomierne wykorzystanie gleb pod względem jakościowym na cele urbanizacji w skali kraju w stosunku do stanu posiadania. Świadczy o tym średni wskaźnik transformacji jakościowej (TI) do roku 2012 zbliżony do wartości 1 (tab. 1). I tak dla gleb dobrych wynosi on 1,00, dla gleb średnich 1,02, a dla gleb najsłabszych 0,99. Regionalnie zaznaczają się już znaczące różnice jakościowe w przekształcaniu gleb na tereny zurbanizowane. W województwie podkarpackim wskaźnik TI dla gleb dobrych osiągnął wartość 1,22, a w województwie małopolskim 1,13, co oznacza ich zwiększony udział w nowych terenach zurbanizowanych odpowiednio o 22 i 13 % w stosunku do stanu posiadania. Nieco lepsza sytuacja w tej grupie jakościowej gleb występuje w województwie lubelskim, pomorskim i śląskim, gdzie wskaźnik TI wynosi odpowiednio 1,10, 1,10 i 1,09 (tab. 1). Bardziej racjonalną gospodarkę gruntami i oszczędne przekształcanie gleb najlepszych na cele urbanizacji odnotowano w województwach kujawsko-pomorskim, świętokrzyskim oraz wielkopolskim, w których wskaźnik TI dla gleb dobrych wynosi odpowiednio 0,83, 0,85, 0,88. Cechy racjonalnej gospodarki przestrzennej, gdzie gleby słabe i bardzo słabe (wskazane ustawowo na potrzeby urbanizacji) były w największym stopniu przekształcane na potrzeby urbanizacji odnotowano w województwach: kujawsko-pomorskim, warmińsko-mazurskim oraz opolskim. Wskaźnik TI do roku 2012 dla tych województw wynosił odpowiednio 1,40, 1,31 oraz 1,20 (tab. 1).

Tabela 1

Wartości TI w trzech grupach jakości gleby na UR zabudowanych od momentu powstania map glebowo-rolniczych do roku 2012 oraz w latach 2000-2012.

Województwo	Gleby dobre		Gleby średnie		Gleby słabe	
	do 2012	2000-2012	do 2012	2000-2012	do 2012	2000-2012
Dolnośląskie	0,99	**1,19**	1,09	0,76	0,82	1,21
Kujawsko-pomorskie	0,83	1,12	0,86	0,95	**1,40**	0,93
Lubelskie	**1,10**	**1,38**	0,93	0,54	0,97	1,10
Lubuskie	1,04	0,80	0,85	0,90	1,12	1,14
łódzkie	0,99	0,58	1,09	0,72	0,96	**1,38**
Małopolskie	**1,13**	0,80	1,02	1,03	0,79	**1,33**
Mazowieckie	0,92	1,11	0,99	0,93	1,05	1,00
Opolskie	0,88	0,74	**1,10**	**1,26**	1,20	1,06
Podkarpackie	**1,22**	1,00	0,92	0,94	0,78	1,09
Podlaskie	1,09	1,08	1,01	0,42	0,95	**1,43**
Pomorskie	**1,10**	**1,22**	0,96	0,90	0,93	0,82
Śląskie	1,09	**1,26**	**1,10**	0,94	0,84	0,88
Świętokrzyskie	0,85	0,43	1,02	1,12	1,10	1,27
Warmińsko-mazurskie	0,90	0,86	0,91	0,81	1,31	**1,37**
Wielkopolskie	0,88	0,85	0,97	1,08	1,09	1,04
Zachodniopomorskie	1,01	**1,30**	0,94	0,69	1,07	1,03
Polska	1,00	0,98	1,02	0,83	0,99	**1,20**

Źródło: opracowanie własne

W latach 2000-2012 bilans przekształcania gleb na potrzeby urbanizacji pod względem jakościowym w skali kraju jest prawidłowy, tzn. ochronie podlegają gleby zaliczone do grupy gleb dobrych i średnich. Średni wskaźnik transformacji TI dla gleb dobrych wynosi 0,98, dla gleb średnich 0,83, a największy o wartości 1,20 jest w grupie gleb bardzo słabych i słabych (tab. 1). Oznacza to, że na cele urbanizacji przeznacza się o 20 % więcej gleb najmniej przydatnych dla rolnictwa w stosunku do stanu ich posiadania. Jednak przekształcenia gleb użytków rolnych pod względem jakości w tym okresie cechują się bardzo dużym zróżnicowaniem regionalnym. Najmniejszą ochronę gleb dobrych odnotowano w województwie lubelskim, zachodniopomorskim, śląskim oraz pomorskim, w których wskaźnik TI przekracza 1,20 a maksymalnie w województwie lubelskim wynosi nawet 1,38. W efekcie wyłączenia gleb najlepszych z rolniczego użytkowania w wymienionych województwach są nieproporcjonalnie duże w stosunku do stanu ich posiadania. Niekorzystne proporcje w transformacji dla tej grupy gleb wystąpiły również w województwie dolnośląskim, kujawsko-pomorskim, mazowieckim oraz podlaskim, w których wskaźnik TI zawiera się w przedziale 1,08-1,19 (tab. 1). Gleby średnie w analizowanym okresie są w znacznie większym stopniu chronione w porównaniu do gleb dobrych. Wskaźnik TI tylko w czterech województwach przekroczył wartość 1, w tym

w województwach małopolskim i wielkopolskim jest mniejszy od wartości 1,1, a jedynie w województwie opolskim wynosi 1,26, oraz świętokrzyskim 1,12. Zgodnie z zaleceniem ustawy o ochronie gleb gruntów rolnych i leśnych grunty w grupie gleb bardzo słabych i słabych były w największym stopniu przeznaczane na cele urbanizacji w większości województw. Największy udział w tej grupie gleb odnotowano w województwach podlaskim, łódzkim, warmińsko-mazurskim oraz małopolskim, w których wskaźnik TI przekroczył wartość 1,3 (tab. 1). Znacznie zwiększony udział gleb najsłabszych przekształcanych na cele urbanizacji świadczy o racjonalnej gospodarce gruntami i ochronie najcenniejszych zasobów glebowych w większości województw.

Wykonane analizy uwidoczniły w latach 2000-2012 znacznie większą koncentrację nowych terenów zurbanizowanych wokół dużych aglomeracji miejskich oraz wzdłuż głównych szlaków komunikacyjnych w porównaniu do pozostałych obszarów (rys. 3).

Obszary wiejskie o największej gęstości zabudowy

Proces wyznaczenia obszarów wiejskich o największej urbanizacji został wykonany poprzez określenie udziału obszarów zabudowanych w promieniu 1 km na użytkach rolnych. Tereny zabudowane i użytki rolne zostały wybrane na podstawie zaktualizowanej mapy glebowo-rolniczej. Wartości zostały uśrednione do gminy, co oznacza że średnio na UR w promieniu 1km, określony procent stanowią obszary zabudowane. Analiza została wykonana tylko dla gmin wiejskich i części wiejskich gmin wiejsko-miejskich (Rys. 4). W tabeli 2 przedstawiono natomiast średnie zagęszczenie zabudowy na obszarach wiejskich w poszczególnych województwach a na rysunku 5 rozkład przestrzenny średniego zagęszczenia zabudowy na użytkach rolnych.

Tabela 2

Charakterystyka obszarów wiejskich pod względem gęstości i udziałów w poszczególnych klasach obszarów zabudowanych.

Województwo	Średnia gęstość (%)	Udział UR w klasach gęstości zabudowy (%)				
		< 2	2 - 4	4 - 8	8 - 16	> 16
dolnośląskie	3,36	44,81	26,04	20,89	6,74	1,51
kujawsko-pomorskie	2,84	46,60	37,18	12,09	3,21	0,92
lubelskie	3,42	38,73	29,90	24,04	6,52	0,82
lubuskie	2,36	60,80	20,42	13,81	4,14	0,83
łódzkie	3,7	28,71	41,85	22,88	5,30	1,25
małopolskie	6,31	13,84	20,72	38,82	22,74	3,87
mazowieckie	3,77	32,45	37,85	21,83	6,10	1,77
opolskie	3,48	45,29	22,19	22,20	8,85	1,47
podkarpackie	4,92	29,62	22,11	29,53	15,84	2,89
podlaskie	2,56	50,12	32,83	13,96	2,53	0,56
pomorskie	2,95	50,65	27,49	15,54	5,01	1,32
śląskie	6,65	19,15	19,68	31,69	22,37	7,11

Tabela 2 cd.

świętokrzyskie	4,36	23,95	32,11	33,66	8,75	1,53
warmińsko-mazurskie	2,05	66,14	22,59	8,55	2,12	0,60
wielkopolskie	3,39	41,89	31,22	19,54	5,88	1,47
zachodniopomorskie	2,08	65,80	19,82	10,79	2,80	0,78
Polska	3,47	41,77	29,52	20,28	6,89	1,53

Źródło: opracowanie własne

Średnia gęstość zabudowy terenów wiejskich w Polsce wynosi 3,47%, przy czym występuje spore zróżnicowanie pomiędzy poszczególnymi województwami. Najbardziej gęstą zabudową użytków rolnych charakteryzują się tereny wiejskie województw małopolskiego i śląskiego (oba województwa powyżej 6%) oraz podkarpackiego i świętokrzyskiego (powyżej 4%). Ponadto w województwach śląskim i małopolskim ponad 25% użytków rolnych stanowią obszary o gęstości zabudowy ponad 8%. Najniższą gęstość zabudowy użytków rolnych wykazano dla województw warmińsko-mazurskiego, zachodniopomorskiego i lubuskiego.

Podsumowanie i wnioski

Wykonane analizy przestrzenne w zakresie zmian w strukturze użytkowania gruntów i przeznaczania gleb na cele urbanizacji w latach 1970 - 2012 oraz 2000 – 2012 umożliwiły przeprowadzenie oceny praktycznego stosowania ustawy o ochronie gruntów rolnych i leśnych. Uzyskane wyniki prac wskazują na skuteczność działania ustawy w zakresie ochrony gleb dobrych i średnich w skali całego kraju. Regionalnie występują jednak obszary, w których ochrona gleb najlepszych jest mało skuteczna, tzn. na cele urbanizacji przeznacza się ich procentowo więcej w stosunku do stanu posiadania. Uwidoczniona większa skuteczność ustawy w latach 2000-2012 w porównaniu do okresu 1970 – 2012 może wynikać z samego okresu działania/obowiązywania ustawy, pierwsza jej edycja została uchwalona w roku 1982. Analiza zmian w ostatnim okresie 2000 – 2012 wskazuje na wyraźną koncentrację nowych terenów zurbanizowanych wokół istniejących aglomeracji miejskich oraz ciągów transportowych.

Literatura

1. European Environment Agency (2013): EEA Fast Track Service Precursor on Land Monitoring - Degree of soil sealing (www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eea-fast-track-service-precursor-on-land-monitoring-degree-of-soil-sealing)
2. Jadczyszyn J., Smreczak B.: Mapa glebowo-rolnicza w skali 1:25 000 i jej wykorzystanie na potrzeby współczesnego rolnictwa. Studia i raporty IUNG-PIB, 2017, **51(5)**: 8-27.
3. Komisja Europejska, 2012: Komunikat prasowy - Środowisko: Wytyczne w celu ograniczenia zasklepiania gleby. http://europa.eu/rapid/press-release_IP-12-361_pl.htm
4. Prokop G., Jobstmann H., A. Schonbauer (2011): Report on best practices for limiting soil sealing and mitigating its effects. Publisher: European Commission, Brussels, Technical Report - 2011+050, 2011, ss. 231.

5. Siebielec G., Lopatka A., Stuczyński T., Kozak M., Gluszynska M., Koza J., Zurek A., Korzeniowska-Puculek R.: Assessment of soil protection efficiency and land use change. Urban SMS project: Deliverable number: 6.1.2, 2010, pp. 42.
6. Stuczyński T.: Assessment an modeling of land use change in Europe in the context of soil protection. Pulawy, 2007.
7. Ustawa ochronie gruntów rolnych i leśnych (t.j. Dz.U. z 2013 r., poz. 1205 z poźn. zm.).

Adres do korespondencji:

dr Jan Jadcyzsyzn
Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. 81 4786 779
e-mail: janj@iung.pulawy.pll

S T U D I A I R A P O R T Y IUNG-PIB

ZESZYT 58(12): 47-55 **2018**

Jacek Niedźwiecki, Artur Łopatka

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach

FIZYCZNA JAKOŚĆ GLEB UŻYTKÓW ROLNYCH POLSKI*

Słowa kluczowe: wskaźniki S, funkcje pedotransferu, retencja wodna gleb

Wstęp

Jakość gleby jest stałym przedmiotem zainteresowania wielu badaczy zajmujących się ochroną gleby, szczególnie w aspekcie zrównoważonej gospodarki rolnej. Właściwości fizyczne odgrywają ważną rolę w określaniu przydatności gleby do rożnych funkcji, takich jak, produkcyjne (rolnicze), środowiskowe czy też związane inżynierią lądową.

Właściwości fizyczne gleb decydują m.in. o retencji oraz dostępności wody i składników odżywczych dla roślin, ruchu wody w glebie, wpływają na łatwość penetracji korzeni roślin i przepływu ciepła oraz powietrza glebowego. Właściwości fizyczne także mają wpływ na właściwości chemiczne i biologiczne gleb.

W gleboznawstwie stosowane są różne podejścia do pojęcia jakości gleb, zwykle są oparte o kombinację fizycznych, chemicznych i biologicznych właściwości, które zapewniają warunki zarówno do produkcji roślinnej i zwierzęcej, wpływają na przepływ wody w środowisku czy też decydują o ograniczaniu degradacji środowiska glebowego (14, 33). Cechy fizyczne, chemiczne i biologiczne gleby określają również zdolność gleby do kształtowania obiegu składników odżywczych, czy filtracji bądź retencji wody (8 10). Z kolei inni autorzy wspominają o jakości gleb w kontekście różnorodności biologicznej i sekwestracji węgla (12, 26). Właściwości chemiczne, biologiczne i fizyczne decydujące o jakości gleb mogą ulec niekorzystnym zmianom w wyniku np. nadmiernego zagęszczenia (28, 31), erozji (21, 22, 27) lub strat węgla organicznego w glebie (SOC) (9).

W ostatnich latach coraz bardziej rośnie zainteresowanie pomiarami jakości gleby w oparciu o funkcje glebowe (17, 24).

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.2 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

Gleby w środowisku spełniają szereg funkcji m.in. produkcyjnych (rolniczych), jak i ekologicznych np. związanych z sekwestracją węgla czy bioróżnorodnością. Funkcje glebowe określają zdolność gleby do dostarczania i wspierania usług ekosystemowych często w powiązaniu z aspektami zdrowotnymi człowieka, jednak funkcje te nie są zazwyczaj skwantyfikowane.

Gleby również wchodzą w interakcje z innymi elementami środowiskami przyrodniczego takimi jak (powietrze i woda), stanowić również mogą podstawę dla rozwoju infrastruktury. Lepsze zrozumienie właściwości gleby i związanych z nią funkcji może dostarczyć informacji dla lepszej wyceny usług ekosystemowych dostarczanych przez glebę. Jednak zdolność gleby do pełnienia określonych funkcji i dostarczania usług ekosystemowych może być zagrożona poprzez procesy degradacji gleb. Procesy te obejmują erozję gleb, zagęszczenie, utrata zawartości materii organicznej, utrata różnorodności biologicznej, zasklepianie gleb, zakwaszanie i zasolenie (7). Te procesy mogą być zarówno naturalne lub powodowane przez działalność człowieka. Degradacja gleby powoduje zmiany właściwości fizycznych, biologicznych i chemiczne, które mają wpływ na funkcje gleb i jej jakość.

Aby zmierzyć jakość gleby i jej funkcje, stosuje się różnego rodzaju wskaźniki. Wskaźniki jakości gleby są wymagane m.in. do monitorowania i raportowania stanu środowiska glebowego czy też do oceny skuteczności prowadzonej polityki rolnej (20, 2). Wskaźniki jakości gleb pomagają ocenić antropogeniczne lub naturalne oddziaływania na gleby, w tym procesy degradacji procesy oraz określenie skuteczności praktyk zrównoważonego gospodarowania gruntami (11, 25).

Fizyczne wskaźniki jakości gleb powinny odzwierciedlić zmianę stanu jakości gleby w dowolnym miejscu i czasie (1, 17, 23).

Wskaźnik S

Jednym ze wskaźników fizycznej jakości, gleb integrującym różne właściwości glebowe jest zaproponowany przez Dextera (4, 5, 6) wskaźnik fizycznej jakości gleby (S). Wskaźnik jakości S został zdefiniowany przez autora jako tangens kąta nachylenia krzywej retencji wodnej gleby w punkcie jej przegięcia do osi potencjału wody glebowej. Jest łatwo mierzalny przy pomocą standardowego wyposażenia laboratoryjnego. Zgodnie z tą teorią, wskaźnik S jest miarą mikrostruktury gleby, która ma wpływ na wiele fizycznych właściwości gleby, w tym na zmiany stanu zagęszczenia gleb, zawartości materii organicznej (6).

Dexter przyjął następujące kategorie jakości fizycznej gleby według obliczonej wartości wskaźnika *S*: <0,020 – jakość bardzo słaba, 0,020-0,035 – jakość słaba, 0,035-0,050 – jakość dobra, >0,050 – jakość bardzo dobra (4). W celu oszacowania krzywych powszechnie korzysta się z równania opisującego zależność zawartości wody od potencjału wodnego gleby równania van Genuchtena (29). Parametry do tego równania mogą być obliczane na podstawie dostępnych i stosowanych w warunkach klimatu umiarkowanego funkcje pedotransferu (PTF) (34,35).

Wskaźnik S, posłużył m. in ocenie fizycznej jakości poziomów powierzchniowych i podpowierzchniowych w glebach płowych wytworzonych z glin zwałowych (19). Dzięki swojej uniwersalności wskaźnik S jest stale używany w ocenie fizycznej jakości gleb w różnych warunkach glebowo klimatycznych (2, 15, 32).

Głównym celem opracowania jest przedstawienie aktualnego stanu fizycznej jakości gleb, ocenionej na podstawie wskaźnika S.

Metodyka przestrzennego wyznaczenia wskaźnika S

Wartość bezwzględną indeksu *S* obliczono ze wzoru (4) zapisanego dla wilgotności objętościowych (15):

$$S = \frac{D_a}{D_b} n(\theta_s - \theta_r)\left(\frac{2n-1}{n-1}\right)^{\frac{1}{n}-2}$$

gdzie D_b (Mg m^{-3}) jest gęstością objętościową gleby, $D_a \approx 1$ Mg m^{-3} jest gęstością wody, θ_s (m^3 m^{-3}) jest wilgotnością odpowiadająca pełnemu nasyceniu gleby wodą, θ_r (m^3 m^{-3}) wilgotnością odpowiadającą zawartości wody związanej siłami niekapilarnymi a *n* jest parametrem równania retencji van Genuchtena (29).

Podjęto próbę znalezienia empirycznych relacji pomiędzy parametrami gleb z powyższego równania: D_b, θ_s, θ_r i *n* a udziałami frakcji ilastej *clay* i materii organicznej *OM*. Wykorzystano w tym celu dane pochodzące z trzech opublikowanych baz danych gleb Polski. Pierwszą z nich była baza zawierająca 522 próbki pobrane z różnych poziomów profilu glebowego na obszarze Niżu Polskiego (13), z której do dalszych analiz wybrano 99 próbek z warstwy ornej gleby (górny poziom próbki maksymalnie na głębokości 10cm, dolny poziom maksymalnie na 30cm). Drugą była baza zawierająca 90 próbek z trzech poziomów profilu glebowego (16), z której do dalszych analiz wybrano 31 próbek pochodzących z warstwy ornej. Trzecia baza danych zawierała 16 próbek pobranych z warstwy ornej (18). Właściwości gleb z warstwy ornej wymienionych trzech baz (łącznie 146 próbek) wykorzystano do estymacji zależności pomiędzy parametrami równania a udziałami *clay* i *OM*.

Na potrzeby wyznaczenia D_b dokonano próby estymacji parametrów równania postaci (3):

$$1/D_b = a + bOM + c\,clay$$

Okazało się jednak że parametr c związany z iłem koloidalnym jest statystycznie nieistotny. Istotne statystycznie ($p<0,05$) okazały się parametry ograniczonego równania:

$$1/D_b = 0.64 + 0.024\,OM$$

gdzie R^2=0,23.

W celu wyznaczenia θ_s estymowano je jako zależne od porowatości ϕ i frakcji ilastej *clay* przy ustalonej zerowej wartości stałej (30). Przyjęto że porowatość ϕ zależy od stosunku gęstości objętościowej gleby D_b (Mg m^{-3}) do gęstości fazy stałej gleby D_p ustalonej na typowym poziomie 2,65 Mg m^{-3}:

$$\phi = 1 - \frac{D_b}{D_p}$$

Zależność od udziału frakcji ilastej okazała się być nieistotna statystycznie i ostatecznie uzyskano następujące równanie:

$$\theta_s = 0.9\phi$$

gdzie R^2=0,36.

Przyjęto często stosowane założenie że $\theta_r=0$ (30) które było przyjmowane na etapie wyznaczania parametrów równania retencji (13).

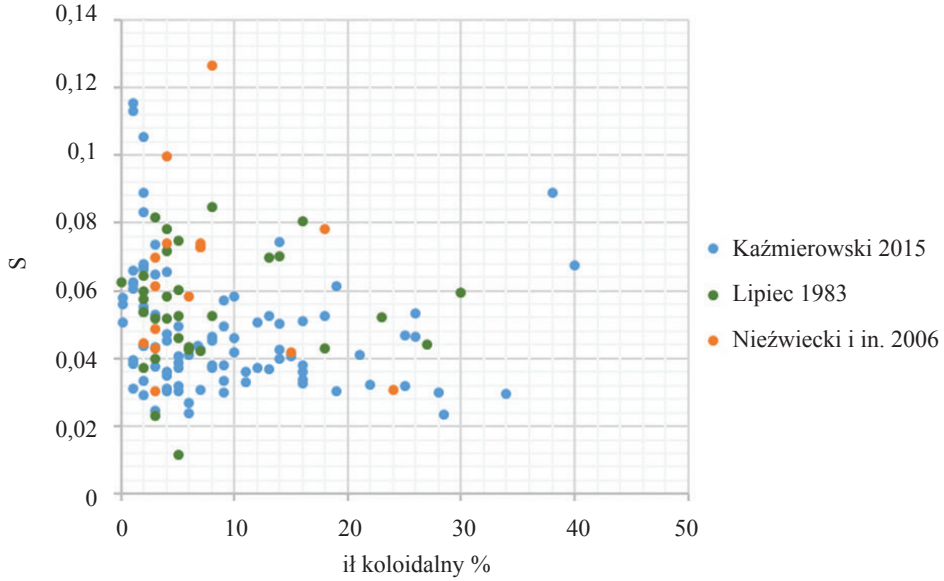
Zależności współczynnika *n* występującego we wzorze na indeks *S* i charakteryzującego kształt krzywej retencji w równaniu van Genuchtena od zawartości frakcji ilastej i materii organicznej poszukiwano w formie zależności liniowej po zlogarytmowaniu wartości *n-1* uzyskując równanie:

$$\ln(n-1) = -0.89 - 0.04OM - 0.016clay$$

gdzie R^2=0,14.

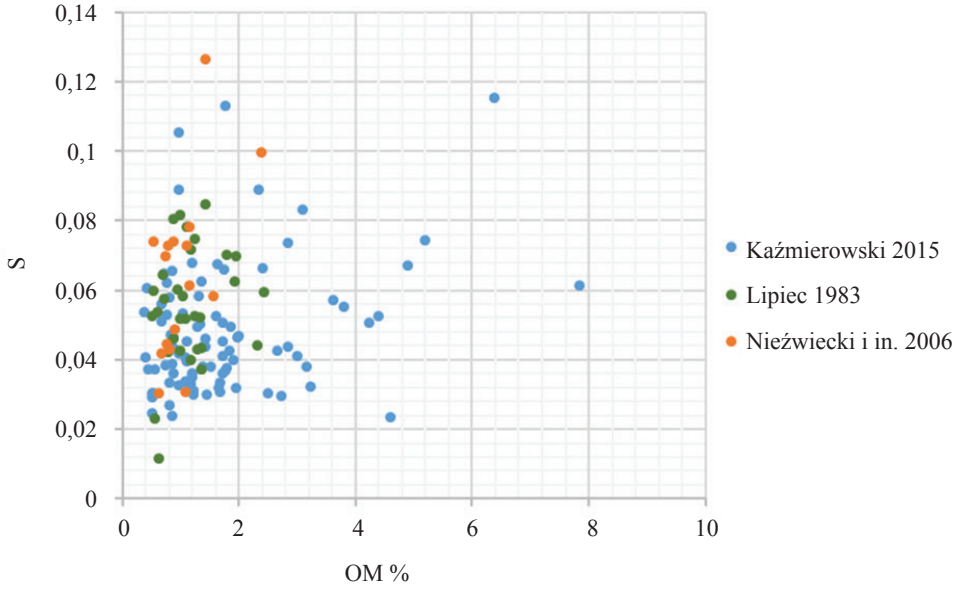
Wartość wskaźnika S w glebach Polski

Na poniższych wykresach przedstawiono zależność wartości bezwzględnej S obliczonej bezpośrednio w oparciu o mierzone wartości D_b, θ_s i *n* od zawartości iłu koloidalnego i materii organicznej:



Rys. 1. Zależność między indeksem S i zawartością frakcji koloidalnej

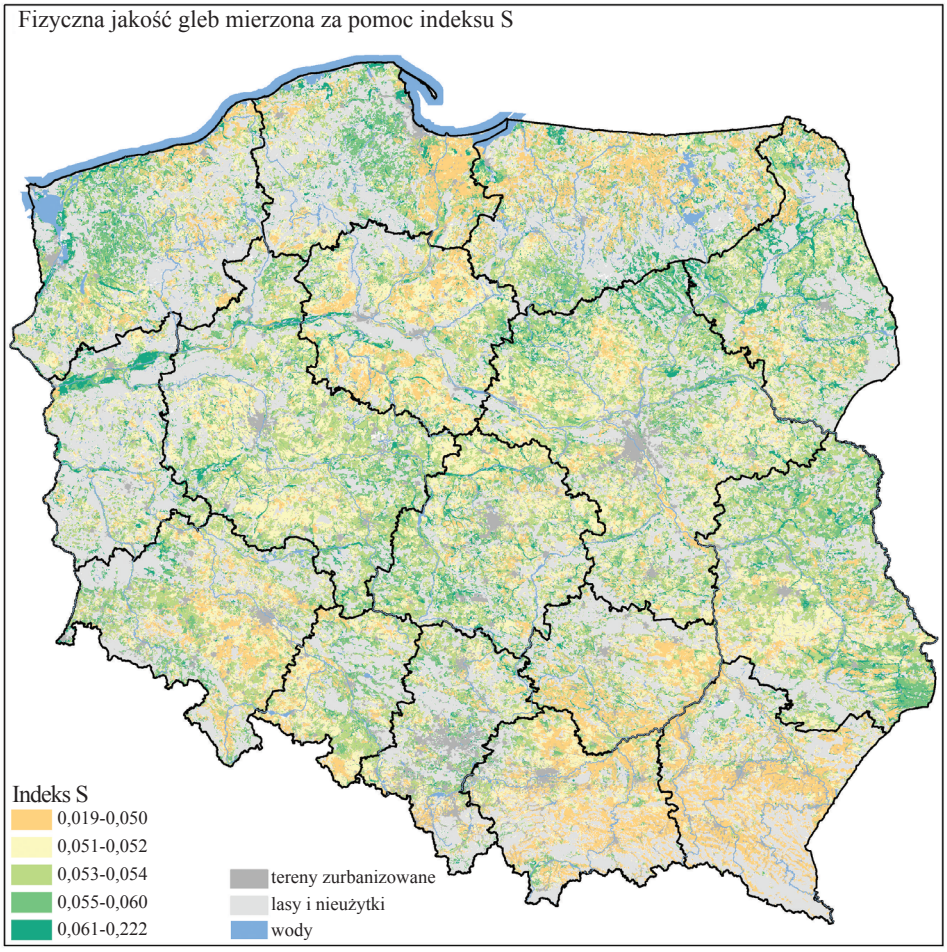
Źródło: opracowanie własne



Rys. 2. Zależność między indeksem S i zawartością materii organicznej

Źródło: opracowanie własne

Na podstawie otrzymanych wartości indeksu S można stwierdzić, bardzo korzystny wpływ materii organicznej na fizyczną jakość gleb. Co jest również zgodne z teorią zaproponowaną przez Dextera (4, 5, 6) odnośnie indeksu S. Uzyskane wartości indeksu S (tab. 1.) wskazują, że największym udziałem gleb o najlepszej fizycznej jakości gleb charakteryzują się województwa podlaskie i lubuskie (rys. 3). Można to tłumaczyć stosunkowo dużym odsetkiem występowania gleb organicznych w tych województwach. W pozostałych województwach stwierdzono nieco mniejszy udział gleb o najwyższej fizycznej jakości. Województwa małopolskie i podkarpackie charakteryzowały się najniższym udziałem gleb o najwyższej fizycznej jakości (rys. 3).



Rys. 3. Mapa fizycznej jakości gleb Polski

Źródło: opracowanie własne

Tabela 1

Średnie wartości bezwzględne indeksu S dla województw

Województwo	Indeks S
dolnośląskie	0,052
kujawsko-pomorskie	0,053
l ubelskie	0,053
lubuskie	0,056
łódzkie	0,054
małopolskie	0,049
mazowieckie	0,054
opolskie	0,052
podkarpackie	0,048
podlaskie	0,058
pomorskie	0,054
śląskie	0,053
świętokrzyskie	0,051
warmińsko-mazurskie	0,054
wielkopolskie	0,054
zachodniopomorskie	0,055
Polska	0,053

Źródło: opracowanie własne

Podsumowanie

Stwierdzona w toku przeprowadzonych badań zależność funkcyjna pomiędzy wskaźnikiem S, a materią organiczną jest niezwykle istotna z punktu widzenia planowania działań zapobiegających procesom degradacyjnym gleb np. związanych z ubytkiem materii organicznej w glebie. Wskaźnik fizycznej jakości S może być pomocny przy ocenie kluczowych funkcji glebowych, związanych ze zmianami zawartości glebowej materii organicznej, co jest zgodne z aktualną polityką środowiskową. Wycofanie unijnej dyrektywy ramowej w sprawie gleb, w połączeniu z odnowionym zobowiązaniem państw członkowskich do ochrony gleby pod względem ich jakości, oznacza, że obecnie istnieje przestrzeń dla rozwoju wskaźników jakościowych gleb. Wskaźnik S mógłby potencjalnie ułatwić ocenę ogólnego stanu jakościowego gleb, szczególnie pod kątem oceny wpływu zmian zawartości materii organicznej w glebach.

Literatura

1. Burger J. A. Ketling D. L.: Using soil quality indicators to assess forest stand management, Forest Ecol. Manage., 1999, **122**: 155-166.
2. Corstanje R., Mercer T. G., Rickson J. R., Deeks L. K., Newell-Price P., Holman I., Kechavarsı C., Waine T. W.: Physical soil quality indicators for monitoring British soils. Solid Earth, 2017, **8**: 1003-1016.
3. Czyż E.A., Dexter A.R., Siebielec G., Stanek-Tarkowska J., Reszkowska A.: Materia organiczna w glebie, w: Wademekum Klasyfikatora Gleb, red. Woch F., IUNG-PIB, 2015: 135-161.

4. Dexter A.R. Soil physical quality: Part II. Friability, tillage, tilth and hard-setting. Geoderma, v.**120**, 2004b: 215-225.
5. Dexter A.R. Soil physical quality: Part III. Unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about S-theory. Geoderma, v.120, 2004c: 227-239.
6. Dexter A.R.: Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density and organic matter, and effects on root growth. Geoderma, v.120, 2004a: 201-214.
7. European Commission (EC). Thematic Strategy for Soil Protection COM(2006)231 Final". European Commission, Brussels, 2006.
8. Fenton O., Healy M.G., Henry T., Khalil M.I., Grant J., Baily A., Richards K.G.: Exploring the relationship between groundwater geochemical factors and denitrification potentials on a dairy farm in southeast Ireland. Ecological Engineering, 2011, **37**: 1304-1313.
9. Grandy A.S., Robertson G.P.: Land-use intensity effects on soil organic carbon accumulation rates and mechanisms. Ecosystems, 2007, **10**: 58-73.
10. Jahangir M.M.R., Johnston P., Barrett M., Khalil M.I., Groffman P.M., Boeckx P., Fenton O., Murphy J.B. Richards K.: Denitrification and indirect N_2O emissions in groundwater: Hydrologic and biogeochemical influences. Journal of Contaminant Hydrology, 2013, **152**: 72-80.
11. Karlen D., Stott D.: A Framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality, in: Defining soil quality for a sustainable environment; Proceedings of a symposium, Doran, J., Leman, D., Bezdicek, D., and Stewart, B., Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, 1994: 53-72.
12. Karlen D.L., Maausbach M.J., Doran J.W., Cline R.G., Harris R.F., Schuman G.E.: Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. Soil Sci. Soc. Am. J., 1997, **61**: 4-10.
13. Kaźmierowski C.: Estymacja właściwości hydraulicznych gleb Niżu Polskiego, uiam w Poznaniu, Seria Geografia, 2015, **96**: ss. 224.
14. Larson W. E., Pierce F. J.: The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. W: J. W. Doran, D. C. Coleman, D. F. Bezdicek, & B. A. Stewart (Eds.), Defining soil quality for the sustainable environment. Soil Science Society of America (Publication Special, 35). Madison: American Society of Agronomy, 1994.
15. Lier Q. De Jong: Revisiting the S-index for soil physical quality and its use in Brazil. R. Bras. Ci. Solo, 2014, **38**: 1-10.
16. Lipiec J.: Możliwości oceny przewodnictwa wodnego gleb na podstawie ich niektórych właściwości. Probl. Agrofiz., 1983, **40**: 5-64.
17. Loveland P., Thompson T.: Identification and development of a set of national indicators for soil quality, Environment Agency, randd Project Report P5-053/PR/02, 2002.
18. Niedźwiecki J., Czyż E.A., Dexter A.R. : Przewodność hydrauliczna warstwy ornej w zależności od parametrów fazy stałej gleby, Pam. Puł., 2006, **142**: 297-307.
19. Paluszek J.: Zależność jakości fizycznej gleb płowych wytworzonych z glin zwałowych od ich przydatności rolniczej. Acta Agrophysica, 2013, **20(4)**: 651-663.
20. Pulleman M., Creamer R., Hamer U., Helder J., Pelosi, C., Pérès G., Rutgers, M.: Soil biodiversity, biological indicators and soil ecosystem services – an overview of European approaches, Curr. Opin. Environ. Sustain., 2012, **4**: 529-538.
21. Regan J.T., Fenton O., Healy M.G.: A review of phosphorus and sediment release from Irish tillage soils, the methods used to quantify losses and the current state of mitigation practice. Proceedings of the Royal Irish Academy. Biol. Environ., 2012, **112**: 157-183.
22. Regan J.T., Rodgers M., Healy M.G., Kirwan L., Fenton O.: Determining phosphorus and sediment release rates from five Irish tillage soils. J. Environ. Qual, 2010, **39**: 185-192.

23. Rickson R., Deeks L., Corstanje R., Newell-Price P., Kibblewhite M., Chambers B., Bellamy P., Holman I., James I., Jones R., Kechavarsi C., Mouazen A., Ritz K., Waine T.: Indicators of soil quality – physical properties (SP1611), Final Report to DEFRA, 2012, available at: http://randd.defra.gov.uk/Document.aspx?Document=11182_SP1611finalreport.pdf
24. Ritz K., Black H. I. J., Campbell C. D., Harris J. A., Wood C.: Selecting biological indicators for monitoring soils: A framework for balancing scientific and technical opinion to assist policy development, Ecol. Indic., 2009, **9**: 1212-1221.
25. Schipper L. A., Sparling G. P.: Performance of Soil Condition Indicators Across Taxonomic Groups and Land Uses, Soil Sci. Soc. Am. J., 2000, **64**: 300-311.
26. Schulte R.P.O., Simo I., Creamer R.E. Holden N.M.: A note on the Hybrid Soil Moisture Deficit Model v2.0. Irish Journal of Agricultural and Food Research, 2015, **54**: 126-131.
27. Sherriff S.C., Rowan J.S., Melland A.R., Jordan P.: Identifying the controls of soil loss in agricultural catchments using ex situ turbidity-based suspended sediment monitoring. Hydrol. Earth Syst. Sc, 2015, **12**: 2707-2740.
28. Soane B.D. van Ouwerkerk C.: Soil compaction: a global threat to sustainable land use. Advances in geoecology, 1998, **31**: 517-525.
29. Van Genuchten M.Th.: A closed form equation for predicting hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci Soc Am J, 1980, **44**: 892-898.
30. Vereecken H., Maes J., Feyen J., Darius P.: Estimating the soil moisture characteristic from texture, bulk density and carbon content, Soil Science, 1989, **148**: 389-403.
31. Vero S.V., Antille D.L., Lalor S.T.J., Holden N.M.: Field evaluation of soil moisture deficit thresholds for limits to trafficability with slurry spreading equipment on grassland. Soil Use and Management, 2013, **30**: 69-77.
32. Vizitiu O., Calciu I., Panoiu I., Simota C.: Soil physical quality as quantified by S index and hidrophysical indices of some soils from arges hydrographic basin. Research Journal of Agricultural Science, 2011, **43(3)**: 249-256
33. Wilson M.J., Maliszewska-Kordybach B.: NATO advanced research workshop on soil quality in relation to sustainable development of agriculture and environmental security in Central and Eastern Europe. In: "Soil Quality, Sustainable Agriculture and Environmental Security in Central and Eastern Europe". 2000. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
34. Wösten J.H.M., Lilly A., Nemes A., Le Bas C.: Development and use of a database of hydraulic properties of European soil. Geoderma, 1999, v.90, p.169-185.
35. Wösten J.H.M., Pachepski Ya.A., Rawls W.J.: Pedotransfer functions: bridging the gap between available basic data and missing soil hydraulic properties. Journal of Hydrology, 2001, **251**: 123-150.

Adres do korespondencji:

dr Jacek Niedźwiecki
Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. 81 4786 780
e-mail: jacekn@iung.pulawy.pl

S T U D I A I R A P O R T Y IUNG-PIB

ZESZYT 58(12): 57-79 **2018**

Rafał Wawer, Eugeniusz Nowocień

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach

EROZJA WODNA I WIETRZNA W POLSCE*

Słowa kluczowe: erozja wodna, zagrożenie erozją, erozja wietrzna, erozja wąwozowa, mapa zagorżenia erozją, erozja w gminach

Wstęp

Badania erozyjne w Polsce rozpoczął prof. Stanisław Bac w 1926 roku. Ponownie zostały wznowione po drugiej wojnie światowej w 1946r. Początkowo skupiały się w PINGW w Puławach, a następnie zaczęły się dynamicznie rozwijać w wielu ośrodkach naukowych pod inspiracją takich uczonych jak: Bac (1, 2), Ostromęcki (39), Reniger (43, 44), Ziemnicki (61, 62, 63), Niewiadomski (31), Figuła (7, 8, 9), Prochal (40, 41), Starkel (47, 48), Gerlach (15), Maruszczak (29, 30) i innych.

Badania przeprowadzone w latach 80. ubiegłego stulecia w wielu ośrodkach naukowych wykazały, że na wszystkich kontynentach obniża się wydajność gleb użytkowanych rolniczo (60). Tę niepokojącą prognozę zmian środowiska przyrodniczego podjęła i upowszechniła organizacja FAO (10). Za jedną z głównych przyczyn obniżania się produkcyjności gleb uznano erozję wodną, a w krajach tropikalnych erozję wietrzną (14). W różnych strefach geograficznych na kuli ziemskiej podejmowane są odpowiednie kierunki działań zapewniające rolnictwu trwałość i produkcyjność. W strefach klimatycznych zagrożonych suszą i erozją wietrzną upowszechnia się zadrzewienia przydrożne i śródpolne (3, 6, 20, 21, 22, 44, 63) a w terenach degradowanych przez erozję wodną stosuje się zabiegi techniczne (22, 63), fitomelioracyjne (3, 21, 22, 41, 58, 60, 63), agromelioracyjne (3, 21, 28, 63), agrotechniczne (9, 21, 63) i urządzeniowo-rolne (21, 22, 57,) ukierunkowane zwłaszcza na zwiększenie retencyjności gruntów i ograniczanie powierzchniowych spływów wody ze stoków.

O rozmiarach degradowania świadczą średnie roczne straty gleby, które dla Polski oszacowano na 76 $t \cdot km^{-2}$ wobec 84,7 $t \cdot km^{-2}$ w Europie (18, 19), przy regionalnym

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.9 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

zróżnicowaniu od 2,7 t·km^{-2} na Nizinach Środkowpolskich do 280 t·km^{-2} w Karpatach Fliszowych (29). Dla porównania straty te na innych kontynentach przedstawiają się następująco: Afryka, Południowa Ameryka i Antyle około 700 t·km^{-2}, Azja około 600 t·km^{-2}, Północna i Środkowa Ameryka około 500 t·km^{-2}, Australia około 300 t·km^{-2} (18).

W Polsce najbardziej negatywne skutki przyrodnicze i gospodarcze są powodowane przez erozję wodną powierzchniową i erozję wąwozową (16, 18, 19, 27, 38). Erozja wietrzna chociaż występuje powszechnie to w znacznie mniejszym stopniu degraduje gleby, niż erozja wodna (16, 18, 19, 38). Lokalnie dewastację gruntów powodują również ruchy mas ziemnych, zwłaszcza osuwiska (21, 22, 34, 35, 36, 37, 52, 53, 54, 63).

Erozja wodna powierzchniowa (Nowocień, Wawer)

Erozja wodna jest jednym z czynników degradujących środowisko przyrodnicze, zwłaszcza rolniczą przestrzeń produkcyjną. Jej skutki przejawiają się w niekorzystnych, przeważnie trwałych zmianach warunków przyrodniczych (rzeźby, gleb, stosunków wodnych, naturalnej roślinności) i warunków gospodarczo-organizacyjnych (deformowanie granic i rozczłonkowanie pól, pogłębianie dróg, niszczenie urządzeń technicznych). Zmiany takie prowadzą do obniżenia potencjału produkcyjnego i walorów ekologicznych terenów podlegających erozji.

Zagrożenie gruntów erozją wodną powierzchniową i erozją potencjalną opracowano z uwzględnieniem głównych kryteriów przyrodniczych: nachylenia terenu, podatności gleb na zmywy powierzchniowe i wielkości opadu rocznego (17, 18).

Zagrożenie erozją aktualną opracowano z uwzględnieniem nachylenia terenu, podatności gleb na zmywy powierzchniowe, wielkości opadu rocznego oraz sposobu użytkowania ziemi (54).

Potencjalne zagrożenie erozją wodną powierzchniową

Zagrożenie gruntów erozją wodną powierzchniową opracowano według metody Józefaciuków (17, 18, 19) wyznaczenia stopni erozji wodnej potencjalnej, gdzie głównymi kryteriami przyrodniczymi wpływającymi na potencjalne nasilenie erozji wodnej są: nachylenie terenu, podatność gleb na zmywy powierzchniowe i wielkość opadu rocznego. W przeprowadzonych analizach zagrożenia nie uwzględniono sposobu użytkowania ziemi, które stanowi jedno z kryteriów rzeczywistego zagrożenia. Oznacza to, że do obszarów potencjalnie zagrożonych powierzchniową erozją wodną gleb włączono również obszary zajęte przez tereny zalesione.
Wyróżnia się 5 stopni nasilenia erozji, które wyznacza się według kryteriów podanych w tabeli 1.

Tabela 1

Metoda wyznaczania stopni zagrożenia erozją wodną powierzchniową

Gleby według podatności na zmywy powierzchniowe	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 600mm.
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.

Źródło: Józefaciuk i Józefaciuk, 1992 (18)

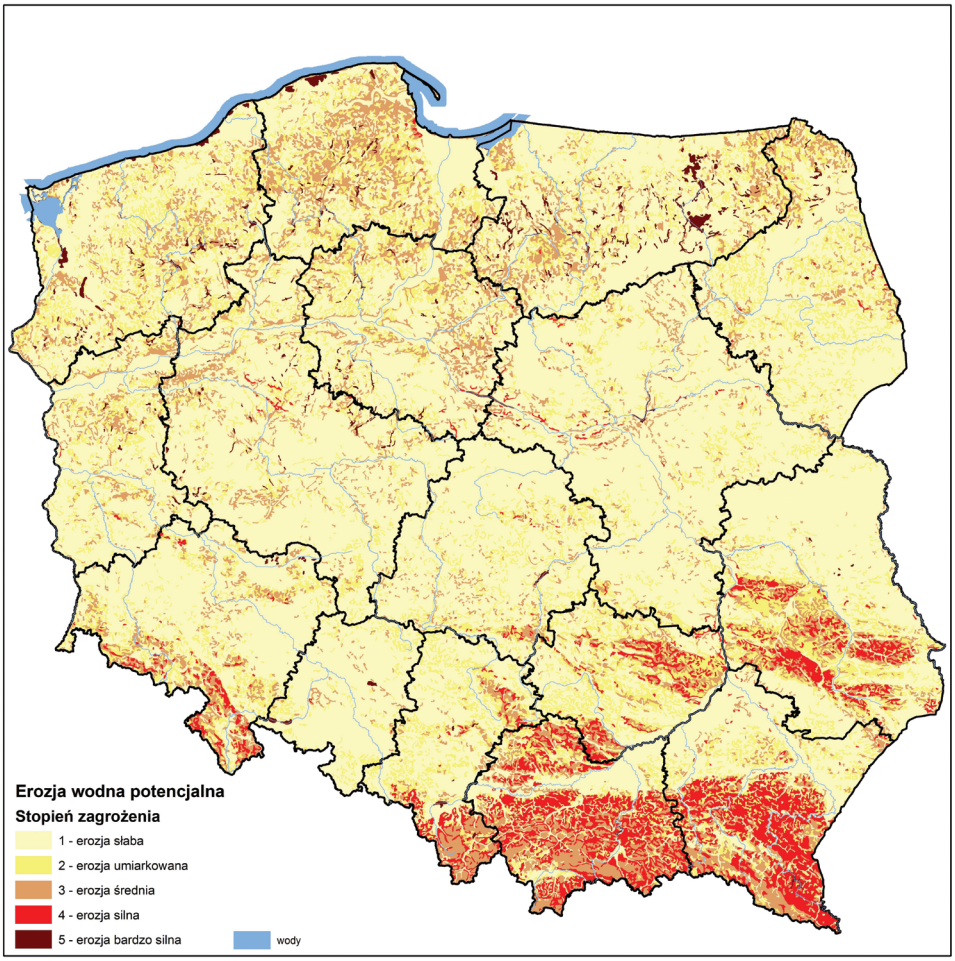
Ze względu na czytelność opracowań kartograficznych w małych skalach zagregowano klasy potencjalnego zagrożenia erozją, otrzymując w miejsce pięciu klas nasilenia:

1. erozja słaba;
2. erozja umiarkowana;
3. erozja średnia;
4. erozja silna;
5. erozja bardzo silna.

trzy klasy:

1. erozja słaba (zagregowane klasy 1 i 2);
2. erozja średnia (klasa 3);
3. erozja silna (zagregowane klasy 4 i 5).

Przeprowadzone analizy wykazały, że około 29% obszaru Polski, w tym 21% użytków rolnych, głównie gruntów ornych i około 8% powierzchni lasów jest zagrożonych erozją wodną (rys. 1, tab. 2), w tym silną - 4%, średnią - 11%, a słabą -14% (18).



Rys. 1. Potencjalne zagrożenie gleb Polski erozją wodną powierzchniową

Źródło: Józefaciuk i in., 2014 (23)

Najsilniej zagrożone krainy fizjograficzne to: Beskid Żywiecki w woj. śląskim, Góry Świętokrzyskie i Wyżyna Sandomierska w woj. świętokrzyskim, Roztocze i centralny pas Wyżyny Lubelskiej w woj. lubelskim oraz Sudety w województwie dolnośląskim. Wymienione województwa są objęte drugim stopniem pilności ochrony przeciwerozyjnej gruntów – ochrona pilna. Taki sam stopień pilności ochrony występuje także w woj. pomorskim i zachodniopomorskim. W tych województwach erozja średnia przeważa lub zajmuje takie same powierzchnie jak erozja słaba, od 13% do 23% ogólnego obszaru. W sześciu pozostałych województwach: lubuskim, łódzkim, mazowieckim, opolskim, podlaskim i wielkopolskim o równinnym charakterze rzeźby

terenu, erozja średnia występuje na kilku procentach ogólnej powierzchni, a silna na poniżej 1%. Są to województwa o najmniej pilnej ochronie przed erozją (rys. 1, tab. 2). Biorąc pod uwagę warunki regionalne (5, 26), można wyróżnić cztery rozległe obszary - regiony o różnym stopniu zagrożenia erozją gleb.

Region górski. Bardzo silnie zagrożone erozją wodną są wszystkie górzyste krainy karpackie, znajdujące się w południowej części województw podkarpackiego, małopolskiego i śląskiego (7, 11, 12, 13). Potencjalna erozja gleb o stopniu silnym i średnim występuje na powierzchni krain: od około 80% (Tatry, Beskidy Zachodnie), około 60% (Bieszczady i Podhale) do około 50% (Beskidy Środkowe). Silnie zagrożone są Sudety (4, 6), gdzie erozja silna i średnia występuje na 45% całości obszaru. Takie zagrożenie przez erozję wodną regionu karpackiego i sudeckiego determinują bardzo duże wysokości względne (do ok. 2600 m n.p.m.), duże nachylenia stoków oraz wysokie roczne sumy opadów atmosferycznych, od 800 do 1800 mm, najczęściej powyżej 1000 mm.

Region pogórzy. Silnie zagrożone erozją wodną jest Pogórze Beskidzkie (42), gdzie erozja silna i średnia występuje na około 45% obszaru. Jest to uwarunkowane bardzo urozmaiconą rzeźbą terenu i dużymi spadkami stoków, rocznymi sumami opadów od 600 do 1000 mm oraz znaczną powierzchnią, pokrytą najbardziej podatnymi na zmywanie powierzchniowe glebami lessowymi. W północnej części regionu występują gleby pseudobielicowe i gleby bielicowe wytworzone z lessów i utworów lessowatych, kompleksu pszennego górskiego. W części południowej wprawdzie przeważa typ gleb pseudoblielicowych i gleb brunatnych wyługowanych wytworzonych z glin słabo podatnych na zmywy i należących do kompleksu zbożowego górskiego, lecz już w części zachodniej duży udział mają gleby lessowe.

Pogórze Sudeckie natomiast jest średnio zagrożone. Erozja silna i średnia występuje na powyżej 10% obszaru tej krainy.

Region wyżyn. Wyżyna Lubelska wraz z Roztoczem (22, 32, 33, 54, 55, 59), Niecka Nidziańska i Wyżyna Krakowsko-Częstochowska są silnie, a Wyżyna Kielecko-Sandomierska średnio zagrożone erozją wodną. Istotnie wysokie zagrożenie erozją wodną powierzchniową występuje również na lessowym obszarze Wzgórz Trzebnickich w woj. Dolnośląskim (45, 46, 49, 50). Jest to wynikiem urozmaiconej rzeźby terenu, bardzo dużej podatności gleb lessowych na zmywy powierzchniowe, generalnie małej powierzchni lasów (w znacznej części zlewni zaledwie po kilka procent) i trwałych użytków zielonych oraz przewagi wzdłużstokowego układu działek.

Region pojezierzy. Obejmuje Pojezierza Wschodniobałtyckie oraz Pojezierza i Pobrzeża Południowobałtyckie (46, 51). Generalnie jest to obszar zagrożony erozją wodną w stopniu średnim, a tylko Pojezierze Suwalskie i Wschodniopomorskie w stopniu silnym.

Potencjalnie najbardziej zagrożone erozją wodną powierzchniową jest woj. małopolskie**,** około 57% ogólnego obszaru, w tym dominuje erozja silna (26% obszaru) nad średnią (21% obszaru). Również w woj. podkarpackim przeważa zagrożenie erozją silną, 17% ogólnego obszaru. Erozja o stopniu średnim występuje w nim na około 11%, a słabym na 8% obszaru województwa.

Tabela 2

Potencjalne zagrożenie powierzchniową erozją wodną gleb w Polsce wg województw

Lp.	Województwo	Pow. ogólna km²	Zagrożenie erozją w stopniu																Stopień pilności przeciwerozyjnej ochrony
			1 – słabym				2 – średnim				3 – silnym				2 – 3				
			UR		Ls		UR		Ls		UR		Ls		UR		Ls		
			km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	
1.	Dolnośląskie	19947,8	1924,4	9,6	990,0	5,0	1361,5	6,8	754,2	3,8	289,7	1,5	346,1	1,7	1651,2	8,3	1100,3	5,5	2
2.	Kujawsko-pomorskie	17969,7	2116,2	11,8	520,3	2,9	1773,6	9,9	671,2	3,7	57,0	0,3	3,6	0,0	1830,6	10,2	674,8	3,8	2
3.	Lubelskie	25114,5	3386,7	13,5	456,4	1,8	1927,3	7,7	280,7	1,1	1307,3	5,2	219,6	0,9	3234,6	12,9	500,3	2,0	2
4.	Lubuskie	13984,4	807,2	5,8	842,9	6,0	587,3	4,2	847,8	6,1	12,9	0,1	14,9	0,1	600,2	4,3	862,7	4,9	3
5.	Łódzkie	18219,1	2139,9	11,7	442,1	2,4	771,0	4,2	287,2	1,6	78,9	0,4	16,8	0,1	849,9	4,7	304,0	1,7	3
6.	Małopolskie	15144,1	1198,5	7,9	256,5	1,7	1712,5	11,3	1440,5	9,5	3116,0	20,6	848,2	5,6	4828,5	31,9	2288,7	15,1	1
7.	Mazowieckie	35597,8	2641,1	7,4	539,4	1,5	1232,8	3,5	745,6	2,1	147,2	0,4	50,6	0,1	1380,0	3,9	796,2	2,2	3
8.	Opolskie	9412,5	676,3	7,2	156,9	1,7	200,8	2,1	116,9	1,2	8,1	0,1	1,2	0,0	208,9	2,2	118,1	1,3	3
9.	Podkarpackie	17926,3	1168,2	6,5	349,6	2,0	1084,0	6,0	832,4	4,6	2015,6	11,2	1052,3	5,9	3099,6	17,3	1884,7	10,5	1
10.	Podlaskie	20179,6	2836,1	14,0	692,5	3,4	1488,9	7,4	479,2	2,4	51,2	0,2	13,2	0,1	1540,1	7,6	492,4	2,4	3
11.	Pomorskie	18292,9	2235,9	12,2	1023,4	5,6	2409,0	13,2	1789,0	9,8	29,2	0,2	20,9	0,1	2439,2	13,2	1809,9	9,9	2
12.	Śląskie	12294,4	1914,8	1,6	560,2	4,6	831,6	6,8	840,8	6,8	658,9	5,4	199,1	1,6	1490,5	12,1	1039,9	8,5	2
13.	Świętokrzyskie	11672,3	2269,9	19,4	500,3	4,3	982,9	8,4	192,7	1,7	829,8	7,1	92,0	0,8	1812,7	15,5	284,7	2,4	2
14.	Warmińsko-mazurskie	24203,0	2863,8	11,8	756,8	3,1	2566,9	10,6	872,0	3,6	10,0	0,0	9,5	0,0	2576,9	10,6	881,5	3,6	2
15.	Wielkopolskie	29825,6	1977,1	6,6	650,4	2,2	1416,9	4,8	885,0	3,0	45,1	0,2	49,3	0,2	1462,0	4,9	934,3	3,1	3
16.	Zachodniopomorskie	22901,5	2724,5	11,9	1401,1	6,1	1717,8	7,5	1355,0	5,9	4,0	0,0	2,3	0,0	1721,8	7,5	1357,3	5,9	2
Polska		312685,0	32980,6	10,5	10138,8	3,2	22064,8	7,1	12390,2	4,0	8660,9	2,8	2939,6	0,9	30725,7	9,8	15329,8	4,9	2

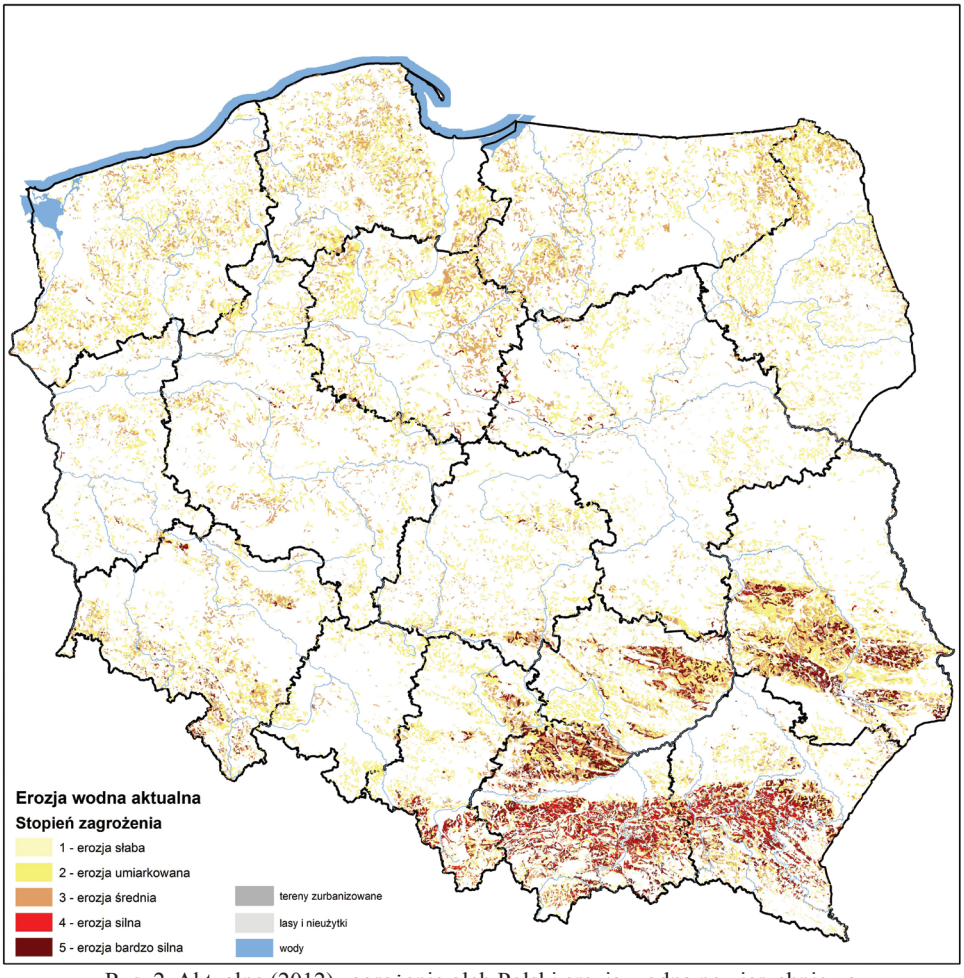
Do 1-go stopnia pilności przeciwerozyjnej ochrony w poszczególnych województwach należą powiaty:
Dolnośląskim - Jelenia Góra, Kłodzko, Lubań, Wałbrzych;
Lubelskim - Hrubieszów, Janów Lubelski, Krasnystaw, Kraśnik, Lublin, Świdnik, Zamość; Małopolskim - Bochnia, Chrzanów, Gorlice, Kraków, Limanowa, Miechów, Myślenice, Nowy Sącz, Nowy Targ, Olkusz, Proszowice, Sucha Beskidzka, Tarnów, Tatrzański, Wadowice, Wieliczka; Podkarpackim - Bieszczadzki, Brzozów, Dębica, Jasło, Krosno, Przemyśl, Ropczycko-Sędziszowski, Rzeszów, Sanok, Strzyżów;
Podlaskim - Suwałki; Pomorskim - Bytów, Gdynia, Kartuzy, Kościerzyna, Lębork, Sopot, Wejherowo; Śląskim - Bielsko Biała, Bytom, Cieszyn, Jastrzębie Zdrój, Jaworzno, Wodzisław Śląski, Żywiec;
Świętokrzyskim - Kazimierza Wielka, Opatów, Ostrowiec Świętokrzyski, Sandomierz, Starachowice; Warmińsko-Mazurskim - Nowe Miasto Lubawskie, Olecko.

Źródło: Józefaciuk i Józefaciuk 1998 (21), Józefaciuk i in. 2014 (23)

Głównie jest zagrożona cała południowa część województwa, przy czym w Bieszczadach i na pogórzu przeważa zagrożenie o stopniu silnym. W obu wymienionych województwach występuje pierwszy stopień pilności przeciwdziałania erozji − ochrona bardzo pilna. Poważny problem, chociaż występujący bardziej lokalnie, stwarza erozja wodna w województwach śląskim, świętokrzyskim, lubelskim i dolnośląskim, gdzie erozja silna łącznie ze średnią zagraża takiej samej lub nawet większej powierzchni województwa, niż erozja słaba.

Aktualne zagrożenie erozją wodną powierzchniową

Aktualne zagrożenie erozją wodną powierzchniową (erozja wodna aktualna) opracowano w oparciu o mapę zagrożenia erozją wodną powierzchniową (erozja wodna potencjalna) poprzez zmniejszenie stopnia zagrożenia w zależności od przeciwerozyjnej funkcji poszczególnych typów użytkowania terenu oraz sposobu uprawy (21; 56); (rys. 2).



Rys. 2. Aktualne (2012) zagrożenie gleb Polski erozją wodną powierzchniową

Źródło: Wawer i Nowocień, 2006 (56)

Tabela 3

Metoda wyznaczania aktualnego zagrożenia erozją wodną powierzchniową

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	tarasy	wzdłuż i skośno-stokowy	poprzeczno-stokowy	tarasy			
Bardzo silnie podatne lessowe i lessowate)ls), pyłowe (pł), pyłowe wodnego pochodzenia (płw)	do 3°	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	3– 6°	2	0	0	1	0	0	0	0	0
	6–10°	3	1	1	2	0	0	0	1	0
	10–15°	4	2	2	3	1	1	1	2	1
	>15°	5	3	3	4	2	2	2	3	2
Silnie podatne piaski luźne (pl), piaszczyste (p), rędziny kredowe (k), rędziny jurajskie (j)	do 3°	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	3– 6°	1,2	0	0	0,1	0	0	0	0	0
	6–10°	2,3	1	0,1	1,2	0	0	0	0,1	0
	10–15°	3,4	1,2	1,2	2,3	0,1	0,1	0,1	1,2	0,1
	>15°	5	3	3	4	2	2	2	2	2
Średnio podatne piaski słbogliniaste (ps), piaski gliniaste (pg), kompleks piasków gliniastych i słabogliniastych (pgs), żwirowe (ż), rędziny trzeciorzędowe (tr), rędziny starszych formacji geologicznych (ts)	do 3°	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0
	3– 6°	1,2	0	0	0,1	0	0	0	0	0
	6–10°	2,3	0,1	0,1	1,2	0	0	0	0,1	0
	10–15°	3,4	1,2	1,2	2,3	0,1	0,1	0,1	1,2	0,1
	>15°	4,5	2,3	2,3	3,4	1,2	1,2	1,2	2,3	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°	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3– 6°	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6–10°	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	10–15°	3	1	1	2	0	0	0	0	0
	>15°	4,5	2,3	2,3	3,4	1,2	1,2	1,2	2,3	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°	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3– 6°	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0
	6–10°	1,2	0	0	0,1	0	0	0	0	0
	10–15°	2,3	0,1	0,1	1,2	0	0	0	0,1	0
	>15°	3,4	1,2	1,2	2,3	0,1	0,1	0,1	1,2	0,1

Źródło:Józefaciuk i Józefaciuk, 1992 (18)

Erozja wąwozowa (Nowocień, Wawer)

Metodyka oceny erozji wąwozowej – analiza gęstości wąwozów

Ocena zawierać powinna mapę z zasięgiem powierzchni o różnym stopniu nasilenia erozji wąwozowej, opracowaną na podkładzie mapy topograficznej w skali 1:10 000 lub 1:25 000 w zapisie cyfrowym oraz dane liczbowe wydzielonych powierzchni.

Przed opisem metody inwentaryzowania wyjaśnić należy, że termin wąwóz odnosi się do wszystkich form rozcięć terenu uwidocznionych na mapie topograficznej, które w fachowym nazewnictwie określa się jako wąwozy, parowy, debrze, wąwozy drogowe a także jary (w tym przypadku, krótkie, głębokie i silnie rozcięte odcinki dolin rzek i potoków okresowych).

Sposób inwentaryzowania wąwozów jest następujący: na mapie topograficznej w zapisie cyfrowym wyznacza się powierzchnie (nie mniejsze od 1 km^2) o zbliżonej koncentracji wąwozów. Na każdej, z wyróżnionych powierzchni numeruje się wąwozy (1...n), mierzy się ich długości (wraz z odgałęzieniami) i zestawia w tabeli roboczej. Po zsumowaniu długości poszczególnych wąwozów dla danej powierzchni oblicza się wskaźnik gęstości wąwozów, jako iloraz ogólnej długości wąwozów (km) i danej powierzchni (km^2). Mając tak obliczone wskaźniki kwalifikuje się poszczególne powierzchnie do określonego stopnia nasilenia erozji wąwozowej według tabeli 4.

Tabela 4

Wyznaczenie stopni nasilenia erozji wąwozowej

Stopień erozji wąwozowej	Określenie erozji wąwozowej	Współczynnik gęstości sieci wąwozowej ($km \cdot km^{-2}$)
1	słaba	0,01 – 0,1
2	umiarkowana	0,1 – 0,5
3	średnia	0,5 – 1,0
4	silna	1,0 – 2,0
5	bardzo silna	Powyżej 2,0

Źródło:Józefaciuk i Józefaciuk, 1992 (19)

Następnie klasyfikuje się badane powierzchnie do określonego stopnia pilności przeciwdziałania erozji wąwozowej w sposób następujący:

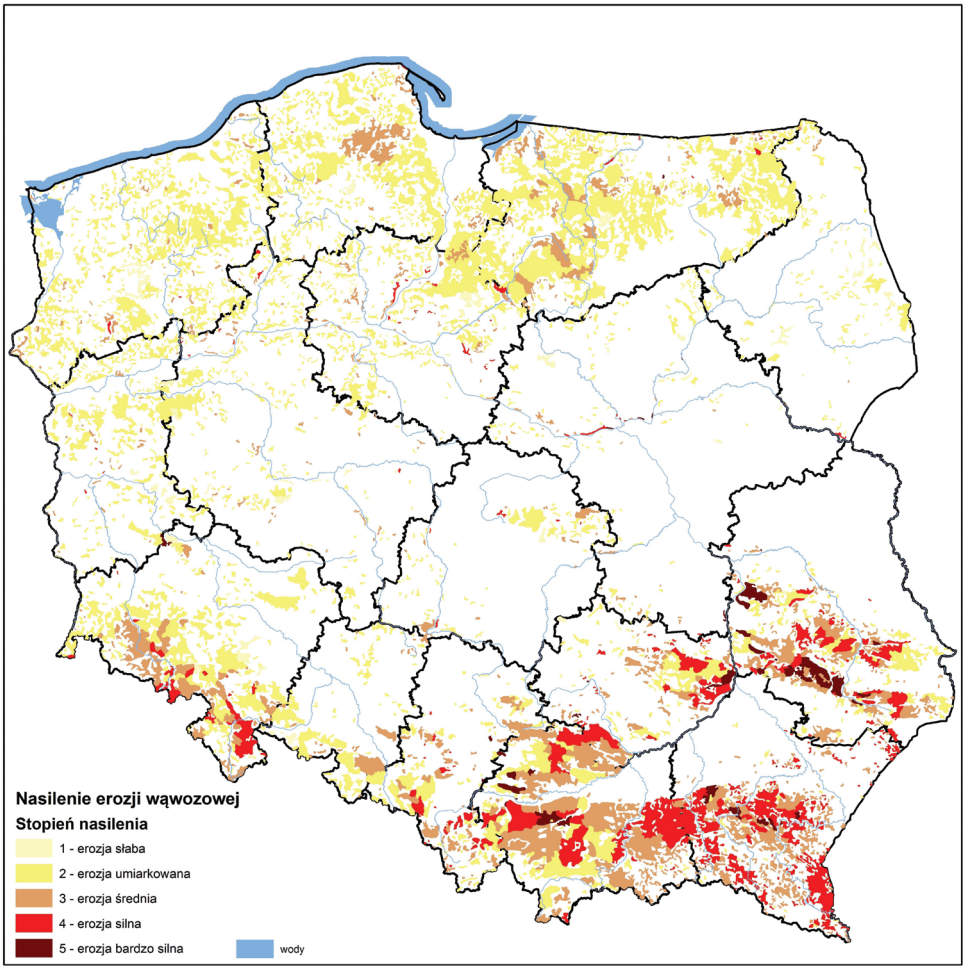
- stopień 1 – przeciwdziałanie bardzo pilne – erozja wąwozowa o stopniach nasilenia 3, 4, 5, występuje na więcej, niż 25% ogółu badanego obszaru;
- stopień 2 – przeciwdziałanie średnio pilne - erozja wąwozowa o stopniach nasilenia 3, 4, 5, występuje na 10 - 25% ogółu obszaru;
- przeciwdziałanie wskazane lokalnie - erozja wąwozowa o stopniach nasilenia 3, 4, 5, występuje na mniej, niż 10% ogółu obszaru.

Wyniki badań

Rozpoznanie struktury sieci wąwozów umożliwia ocenę stopnia nasilenia erozji wąwozowej w różnych jednostkach przyrodniczych i gospodarczych - krainach fizjograficznych, zlewniach hydrograficznych, województwach i gminach. To daje podstawę dla programowania działań w zakresie rekultywacji i zagospodarowania gruntów zdewastowanych wąwozami.

Struktura przestrzenna sieci wąwozowej w jednostkach administracyjnych

Erozja wąwozowa występuje na około 18% powierzchni Polski (rys. 3, tab. 5), w tym największy obszar, około 11% (2,5 mln ha gruntów rolnych i 0,8 mln ha gruntów leśnych) zajmuje erozja słaba o gęstości wąwozów 0,1-0,5 km·km^{-2} (19). Znacznie mniejszy obszar, około 4% (1 mln ha gruntów rolnych i 0,3 mln ha gruntów leśnych) przypada na erozję średnią o gęstości wąwozów 0,5-1,0 km·km^{-2}. Obszar, około 2% (0,6 mln ha gruntów rolnych i 0,15 mln ha leśnych) zajmuje erozja silna o gęstości wąwozów 1,0-2,0 km·km^{-2}. Na najmniejszym obszarze, poniżej 1% (0,1 mln ha gruntów rolnych i 25 tys. ha leśnych) występuje erozja bardzo silna o gęstości wąwozów powyżej 2,0 km·km^{-2}. Łączna długość wąwozów w Polsce wynosi około 40 tys. km (18, 19, 20, 21, 38).



Rys. 3. Nasilenie erozji wąwozowej w Polsce
Źródło: Józefaciuk i in., 2016 (24)

Najbardziej rozwiniętą sieć wąwozów ma województwo małopolskie, gdzie wąwozy występują na około 53% obszaru. Wprawdzie największy obszar (25%) zajmuje erozja wąwozowa średnia o gęstości wąwozów 0,5-1 km·km^{-2}, to jednak na 14% obszaru występuje erozja silna o gęstości wąwozów 1-2 km·km^{-2}, a na powyżej 1% obszaru, erozja bardzo silna o gęstości wąwozów powyżej 2 km·km^{-2}. Województwo to zaliczono do pierwszego stopnia pilności ochrony - zagospodarowanie wąwozów bardzo pilne. Silnie rozczłonkowane wąwozami jest województwo podkarpackie, w którym 24% obszaru ma gęstość wąwozów powyżej 0,5 km·km^{-2}, w tym aż 14% ma gęstość wąwozów 1-2 km·km^{-2} (podobnie jak w małopolskim). Szczególny problem stwarza erozja wąwozowa w województwie lubelskim. Ma ona bowiem największy (spośród wszystkich województw) obszar (około 3%) rozczłonkowany wąwozami o gęstości powyżej 2 km·km^{-2}. Oprócz tego powyżej 4% obszaru ma gęstość wąwozów 1-2 km·km^{-2}, 7% obszaru gęstość 0,5-1 km·km^{-2}, a tylko 6% obszaru gęstość poniżej 0,5 km·km^{-2}.

Duża gęstość wąwozów występuje także w woj. świętokrzyskim. Wąwozy występują tam na podobnym obszarze jak w lubelskim - około 20%. Również podobny obszar - 14% (jak w lubelskim) jest rozczłonkowany siecią wąwozów o gęstości powyżej 0,5 km·km^{-2}, z tym że gęstość wąwozów powyżej 2 km·km^{-2} zajmuje niecałe 1% obszaru. Trzy województwa: podkarpackie, lubelskie i świętokrzyskie zostały zaliczone do drugiego stopnia pilności zagospodarowania wąwozów −zagospodarowanie pilne.

Tabela 5

Erozja wąwozowa w Polsce wg województw

Lp.	Województwo	Pow. ogólna wojew.	Erozja wąwozowa w stopniu																		Stopień pilności zagospodarowania wąwozów
			słabym				średnim				silnym				bardzo silnym				średnim-bardzo silnym				
			UR		Ls		UR		Ls		UR		Ls		UR		Ls		UR		Ls		
		km²	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	
1	Dolnośląskie	19947,8	2646,1	13,3	720,0	3,6	928,5	4,7	398,0	2,0	358,7	1,8	228,6	1,1	14,8	0,1	4,1	0,0	1302,0	6,6	630,7	3,2	3
2	Kujawsko-pomorskie	17969,7	1924,8	10,7	394,8	2,2	191,7	1,1	26,7	0,1	66,6	0,4	20,3	0,1	-	-	-	-	258,3	1,4	47,0	0,3	3
3	Lubelskie	25114,5	1276,3	5,1	130,0	0,5	1576,8	6,3	177,8	0,7	949,5	3,8	124,4	0,5	546,4	2,2	143,5	0,6	3072,7	12,2	445,7	1,8	2
4	Lubuskie	13984,4	1007,6	7,2	851,6	6,1	46,8	0,3	21,0	0,2	2,3	0,0	5,5	0,0	4,7	0,0	-	-	53,8	0,4	26,5	0,2	3
5	Łódzkie	18219,1	527,3	2,9	96,9	0,5	109,7	0,6	9,3	0,1	18,3	0,1	4,7	0,0	-	-	-	-	128,0	0,7	14,0	0,1	3
6	Małopolskie	15144,1	1422,4	9,4	499,6	3,3	2756,2	18,2	952,2	6,3	1770,4	11,7	343,2	2,3	172,9	1,1	48,9	0,3	4699,5	31,0	1344,3	8,9	1
7	Mazowieckie	35597,8	358,6	1,0	115,1	0,3	80,4	0,2	24,0	0,1	23,7	0,1	1,0	0,0	17,7	0,0	-	-	121,8	0,3	25,0	0,1	3
8	Opolskie	9412,5	606,1	6,4	154,2	1,6	313,5	3,4	23,2	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	313,5	3,4	23,2	0,2	3
9	Podkarpackie	17926,3	74,3	0,4	23,2	0,1	1215,1	6,8	432,1	2,4	1835,6	10,2	634,0	3,5	168,7	0,9	23,4	0,1	3219,4	18,0	1089,5	6,1	2
10	Podlaskie	20179,6	515,4	2,6	177,7	0,9	18,3	0,1	1,4	0,0	5,2	0,0	4,0	0,0	-	-	-	-	23,5	0,1	5,4	0,0	-
11	Pomorskie	18292,9	3126,5	17,1	1053,6	5,8	609,1	3,3	156,6	0,9	7,6	0,0	0,7	0,0	-	-	-	-	616,7	3,4	157,3	0,9	3
12	Śląskie	12294,0	584,5	4,8	286,5	2,3	585,9	4,8	133,0	1,1	230,2	1,9	37,4	0,3	-	-	-	-	816,1	6,6	170,4	1,4	3
13	Świętokrzyskie	11672,3	747,2	6,4	64,8	0,6	742,7	6,4	57,5	0,5	715,6	6,1	44,5	0,4	70,9	0,6	1,1	0,0	1529,2	13,1	103,1	0,9	2
14	Warmińsko-mazurskie	24203,0	6096,3	25,2	1302,5	5,4	1014,8	4,2	251,2	1,0	27,1	0,1	1,7	0,0	-	-	-	-	1041,9	4,3	252,9	1,0	3
15	Wielkopolskie	29825,6	1045,3	3,5	497,7	1,7	117,7	0,4	40,4	0,1	17,2	0,1	8,3	0,0	-	-	-	-	134,9	0,5	48,7	0,2	3
16	Zachodniopomorskie	22901,5	3023,6	13,2	1381,4	6,0	192,9	0,8	90,7	0,4	10,1	0,0	7,9	0,0	-	-	-	-	203,0	0,9	98,6	0,4	3
Polska		312685,0	24982,3	8,0	7749,6	2,5	10500,1	3,4	2795,1	0,9	6038,1	1,9	1466,2	0,5	996,1	0,3	221,0	0,1	17534,3	5,6	4482,3	1,4	2

Do 1-go stopnia pilności zagospodarowania wąwozów w poszczególnych województwach należą Powiaty: Dolnośląskim -Jelenia Góra, Kamienna Góra, Kłodzko, Lwówek Śląski, Ząbkowice Śląskie; **Lubelskim -** Janów Lubelski, Krasnystaw, Kraśnik, Lublin, Świdnik, Zamość; **Małopolskim -** Bochnia, Gorlice, Kraków, Limanowa, Miechów, Myślenice, Nowy Sącz, Proszowice, Sucha Beskidzka, Tarnów, Tatrzański, Wadowice, Wieliczka; **Opolskim-** Kędzierzyn Koźle; **Podkarpackim -** Bieszczadzki, Brzozów, Dębica, Jasło, Krosno, Przemyśl, Ropczycko-Sędziszowski, Strzyżów; **Pomorskie -** Kartuzy; **Śląskim -** Cieszyn, Jastrzębie Zdrój, Wodzisław; **Świętokrzyskim -** Kazimierza Wielka, Ostrowiec Świętokrzyski, Pińczów, Sandomierz.

Źródło:Józefaciuk i Józefaciuk, 1998 (21)

Pozostałe województwa mają trzeci stopień pilności przeciwdziałania erozji wąwozowej - zagospodarowanie wąwozów pilne lokalnie. W tych województwach wąwozy o gęstości powyżej 0,5 km·km^{-2} występują na poniżej 10% powierzchni (18, 19, 20, 21, 24).

Połowę ogólnej sieci wąwozowej w Polsce stanowią wąwozy drogowe, których łączna długość wynosi 19100 km, a powierzchnia około 17% ogólnej powierzchni wąwozów. Najwięcej wąwozów drogowych występuje w południowo-wschodniej, południowo-zachodniej części kraju, zwłaszcza w wyżynnych terenach lessowych. Największą gęstością wąwozów drogowych, powyżej 0,5 km·km-2 charakteryzują się województwa: podkarpackie, małopolskie, dolnośląskie i świętokrzyskie.

Struktura przestrzenna sieci wąwozowej w krainach fizjograficznych

Bardzo silnie rozczłonkowane siecią wąwozów są takie krainy jak: Pogórze Beskidzkie, Sudety Wschodnie i Roztocze. Gęstość wąwozów powyżej 0,5 km·km^{-2} występuje tam na powierzchni krain od 64% (Pogórze Zachodniobeskidzkie) do 32% (Sudety Wschodnie) użytków rolnych oraz od 22% (Sudety Wschodnie) do 9% (Pogórze Beskidzkie) powierzchni leśnych (18, 19, 24).

Tą największą gęstość sieci wąwozowej w omawianych krainach determinują: silnie wykształcona rzeźba terenu z dużymi deniwelacjami, występowanie na znacznym obszarze gleb wytworzonych z lessów (Pogórze Beskidzkie, Roztocze) oraz duże opady roczne, ze znaczną częstotliwością ulew letnich.

Silnie rozczłonkowane wąwozami są takie jednostki górskie jak Beskidy, Tatry i Sudety (Środkowe i Zachodnie) oraz jednostki wyżynne jak Niecka Nidziańska, Wyżyna Lubelska i Zachodniowołyńska. Wielkość obszarów z gęstością wąwozów powyżej 0,5 km·km^{-2} waha się tam w granicach od 40% (Beskidy Zachodnie) do 25% (Wyżyna Zachodniowołyńska). Wąwozy rozcinają od 39% (Niecka Nidziańska) do 20% (Bieszczady) użytków rolnych i od 26% (Beskidy Zachodnie), 12% (Beskidy Środkowe) do kilku procent (Niecka Nidziańska i Wyżyna Lubelska) powierzchni leśnych.

Czynnikami wąwozotwórczymi w wymienionych krainach górskich są duże opady roczne oraz duże deniwelacje i spadki terenu, a w krainach wyżynnych przewaga gleb wytworzonych z lessów i zróżnicowana rzeźba terenu.

Średnio rozczłonkowane wąwozami są: Pogórze Zachodniosudeckie, Kotlina Ostrawska i Brama Krakowska, Wyżyny: Krakowsko-Częstochowska i Kielecko-Sandomierska oraz Pojezierze Wschodniopomorskie.

Obszary z gęstością wąwozów powyżej 0,5 km·km^{-2} wynoszą tam od 23% (Kotlina Ostrawska) do 10% (Pojezierze Wschodniopomorskie). Wąwozy występują na użytkach rolnych od 40% (Pojezierze Wschodniopomorskie, Kotlina Ostrawska i Pogórze Zachodniosudeckie) do około 13% (Brama Krakowska), a na gruntach leśnych od około 10% (Pojezierze Wschodniopomorskie) do 2% (Brama Krakowska, Wyżyna Kielecko-Sandomierska i Kotlina Ostrawska).

Powstawaniu wąwozów sprzyjają na terenach pogórza, kotlin karpackich i pojezierzy: zróżnicowana rzeźba i znaczne opady, a na terenach wyżyn występowanie gleb wytworzonych z lessów i zróżnicowana rzeźba.

Słabo rozczłonkowany wąwozami jest pozostały teren Polski środkowej. Wąwozy o gęstości powyżej 0,5 km·km^{-2} występują w kilkunastu krainach na powierzchni, co najwyżej do 10%, a w pozostałych sporadycznie.

Rozpatrując nasilenie erozji wąwozowej w Polsce należy pamiętać, że tak jak w innych rejonach świata oprócz czynników przyrodniczych (rzeźba, gleba, opady atmosferyczne) poważny udział w powstawaniu wąwozów będzie miał czynnik pochodzenia antropogenicznego. Wyraża się on nieodpowiednim rozmieszczeniem użytków rolno-leśnych w terenach stokowych, ornym użytkowaniem stromych zboczy, niewłaściwym usytuowaniem w rzeźbie terenu dróg rolniczych i nie umocnieniem odcinków erodowanych oraz nie stosowaniem agrotechniki przeciwerozyjnej.

Struktura przestrzenna sieci wąwozowej w zlewniach hydrograficznych

Najbardziej rozbudowaną siecią wąwozów charakteryzuje się dorzecze Wisły, głównie jego część górna i środkowa do ujścia rzeki Wieprz.

Pierwszy stopień pilności ochrony przed erozją wąwozową występuje w 21 zlewniach rzek dorzecza Wisły. Prawie połowa tych zlewni znajduje się w całości lub w znacznej części w górskich krainach beskidzkich lub na pogórzach beskidzkich. W zlewniach Raby, Skawy, Ropy i Białej gęstość wąwozów powyżej 0,5 km·km^{-2}, występuje na około 60% obszaru, w zlewniach Popradu, Mleczki, Wisłoka, Wisłoki, Dunajca i Osławy na około 35% obszaru, a w zlewniach Jasiołki i Wiaru na około 25% obszaru.

Wszystkie wymienione rzeki i potoki karpackie są intensywnie przekształcane procesami erozyjnymi zachodzącymi zarówno na obszarach zlewni jak i w samych ciekach. Pogłębianiu rzek sprzyjają ich bardzo duże spadki podłużne i transportowanie znacznych ilości rumowiska 80-200 t·km^{-2}·rok^{-1} oraz podłoże fliszowe o różnej odporności na wietrzenie. Pogłębianie się dna wynosi, co najmniej kilka cm rocznie, a lokalnie nawet około 10 cm (20). Duże nasilenie ma również erozja brzegowa, w wyniku której intensywne podcinanie brzegów dostarcza bezpośrednio do cieków znacznych ilości zwietrzelin. Dostawa rumoszu poza korytowego (z obszaru zlewni) do rzek i potoków górskich ma miejsce, zwłaszcza podczas wezbrań roztopowych i z ulew letnich. Jej głównym źródłem są wąwozy i erodowane drogi gruntowe.

Roczne ilości unoszonego materiału przez rzeki i potoki górskie wahają się od 50 do 130 t·km^{-2} (Prochal 1987). Miarą intensywności erozji potoków mogą być również rozmiary rumowiska osadzanego za zaporami przeciwrumowiskowymi, którego średnią roczną wartość ocenia się na 10,5-122,5 m^3·km^{-2}.

Do wyjątkowo negatywnych skutków erozji potoków należy zamulanie zbiorników wodnych np. w latach 1937-1957 wynosiło: 75 m^3·km^{-2} w zbiorniku w Porąbce, 67 m^3·km^{-2} w zbiorniku w Rożnowie, 26 m^3·km^{-2} w Czchowie. Problem stwarzają również

procesy agradacyjne. Na przykład niektóre potoki o zlewni do 10 km^2 akumulowały w łożyskach 200-600 m^3·km^{-1} biegu, o zlewni około 40 km^2 powyżej 7000 m^3·km^{-1}, a o zlewni 70-230 km^2 około 11000 m^3·km^{-1} biegu. Miejscem akumulacji są również ujściowe odcinki potoków, gdzie tworzą się rozległe stożki napływowe o objętości osadzanego rumowiska od kilku tysięcy do 0,5 mln m^3.

Pozostałe zlewnie rzek dorzecza Wisły, również o pierwszym stopniu pilności ochrony przed erozją wąwozową znajdują się w wielu krainach fizjograficznych, lecz wszystkie, z wyjątkiem Raduni na Pojezierzu Kaszubskim są położone na wyżynnych terenach lessowych - Szreniawa i Nidzica na Płaskowyżu Proszowskim i Wyżynie Miechowskiej, Koprzywnica na Wyżynie Opatowskiej, Por i Rata na Roztoczu, Wyżnica i Bystrzyca na Wyżynie Lubelskiej a Sanna na krawędzi Wyżyny Lubelskiej z Kotliną Sandomierską. Najsilniej porozcinane wąwozami o gęstości > 0,5 km·km^{-2} są zlewnie Szreniawy, Nidzicy i Poru - około 60% obszaru, a następnie zlewnie Sanny, Wyżnicy, Raty i Koprzywnicy od 31 do 39% obszaru i na koniec zlewnia Bystrzycy - 28% obszaru. Największa koncentracja wąwozów występuje na stokach dolin rzecznych, a zatem stanowią one bezpośrednie źródło rumowiska rzecznego. Ilości rumowiska wyerodowanego z wąwozów są bardzo duże. Na przykład ogólną objętość rumowiska wąwozowego dla obszaru Lubelszczyzny szacuje się na 250 mln m^3, co daje 19239 m^3·km^{-2}, a rozłożone równomiernie stanowi warstwę 2 cm grubości (Maruszczak, 1973). Średni wskaźnik kubatury rumowiska wymytego z wąwozów na Roztoczu Zachodnim określono na 176380 m^3·km^{-2} (16), a wspólnie na Roztoczu Zachodnim i zachodniej części Płaskowyżu Nałęczowskiego (na łącznym obszarze około 850 km^2) na 156000 m^3·km^{-2} - warstwa grubości około 16 cm. Rozmiary rumowiska wąwozowego i tempo jego transportowania przez pojedyncze wąwozy lessowe kształtuje się różnie: 235 m^3·2 lata^{-1}, 317 m^3·3 lata^{-1}, 624 m^3·10 lat^{-1}, 1085 m^3·23 lata^{-1}, 3760 m^3·32 lata^{-1} (16) i kilkanaście tys. m^3·km^{-2} podczas jednej ekstremalnej ulewy.

Rzeki wyżynne również podlegają pogłębianiu 2-4 cm w roku. Przewagę mają w nich procesy akumulacji powodujące pionową nadbudowę dolin i tworzenie się rozległych stożków napływowych u ujścia rzek (24).

Drugi stopień pilności ochrony przed erozją wąwozową w dorzeczu Wisły ma kilkanaście zlewni, w których gęstość wąwozów powyżej 0,5 km·km^{-2} występuje na 23-11% obszarów. Większość z nich znajduje się na wyżynach lessowych (zlewnia Tanwi, Łady, Bukowej, Huczwy, Łabuńki, Wieprza, Nidy, Mierzawy i Kamiennej) dwie na terenach górskich (zlewnia Sanu i Soły) a trzy na pojezierzach (zlewnia Welu, Śmiałej i Martwej Wisły).

W pozostałych, podstawowych dorzeczach Polski (Odry i rzek wypływających z Polski lub uchodzących do Morza Bałtyckiego) dominują zlewnie o bardzo słabej gęstości wąwozów lub w ogóle bez wąwozów.

Erozja wietrzna (Wawer, Nowocień)

Metodyka wyznaczania użytków ornych zagrożonych erozją wietrzną

Nasilenie erozji wietrznej zależy ściśle od odporności gleby na deflację, zależnej od zawartości frakcji piasku oraz aktualnej wilgotności, pokrycia terenu oraz siły i czasu działania wiatru (25). Z praktycznego punktu widzenia analizy ilościowe erozji wietrznej dla obszaru całego kraju są bardzo trudne do wykonania i zastosowania w praktyce zapobiegania erozji. Wymagają olbrzymiej mocy obliczeniowej oraz szczegółowych danych przestrzennych, dlatego też od lat stosuje się w szacowaniu zagrożenia erozją proste wskaźniki jakościowe. Jednym z takich wskaźników jest wskaźnik zagrożenia erozją wietrzną (tab. 1), opracowany przez Annę i Czesława Józefaciuków (16).

Wskaźnik ten bazuje na 3 typach danych:

- podatność gleb na erozję, uszeregowującą gleby w 5 klasach podatności;
- położenie terenu w rzeźbie;
- lesistość danej jednostki przestrzennej.

Metoda ta bardzo dobrze sprawdzała się w opracowaniach kartograficznych bazujących na mapach analogowych, gdzie wydzielano obszary form rzeźby terenu i na podstawie tych wydzieleń określano lesistość poligonów mapy glebowo-rolniczej. Nowoczesne systemy GIS umożliwiają bezpośrednie nakładania na siebie różnych warstw informacji przestrzennej, włącznie z filtrowaniem obszarów w locie. Przystosowując wyżej wymienioną metodę do współczesnych możliwości systemów informatycznych, zmodyfikowano wyznaczanie wartości wskaźnik zagrożenia erozji wietrznej poprzez eliminacje indeksu lesistości i uwarunkowań położenie jednostki przestrzennej w rzeźbie terenu.

Tabela 6

Wyznaczanie potencjalnego zagrożenia użytków rolnych erozją wietrzną

Grupa podatności gleb na erozję	Potencjalne zagrożenie erozją wietrzną Stopień zagrożenia
Piaski luźne drobnoziarniste (w tym wydmowe), mursze na torfach, mursze na podłożu mineralnym, gleby murszowate	5. erozja bardzo silna; dotycząca terenów rozwydmianych
Piaski luźne gruboziarniste, piaski gliniaste lekkie silnie pylaste, piaski słobogliniaste (różne), lessy i utwory lessowate	4. erozja silna, prowadząca do trwałych zmian morfologii gleb, tzn. do ubytku profilu wskutek deflacji lub do jego narastania w wyniku akumulacji eolicznej. Powoduje duże zanieczyszczenie atmosfery, zdzieranie lub zasypywanie upraw polowych, występowanie burz pyłowych i piaskowych oraz „czarnych zim" (nawiewanie ziemi na śnieg). Na większych obszarach piasków sandrowych lub starych tarasach rzecznych mogą się tworzyć wydmy
Piaski gliniaste lekkie (z wyątkiem silnie pylastych), gleby pyłowe zwykłe (z wyjątkiem wymienionych w wierszu powyżej)	3. erozja średnia, powodująca wyraźne zmniejszenie miąższości poziomu orno-próchnicznego. Oprócz zapylenia atmosfery może też powodować szkody w uprawach - odsłaniać system korzeniowy, uszkadzać mechanicznie lub zasypywać rośliny
Piaski gliniaste mocne (różne), gleby pyłowe ilaste	2. erozja umiarkowana. Zapoczątkowuje już ona proces redukowania miąższości poziomu orno-próchniczego wskutek wywiewania cząstek mineralnych i organicznych. Powoduje też zapylenie atmosfery materiałem glebowym
Gliny i iły	1. erozja słaba powodująca tylko wywiewanie niewielkiej ilości cząstek glebowych i minimalnie degradująca glebę

Źródło:Józefaciuk i Józefaciuk, 1979 (16)

Najnowsze dane przestrzenne CORINE CLC 2012 umożliwiają wykluczenie lasów i użytków, których pokrycie roślinnością zapewnia wysoki poziom ochrony gleby przed deflacją i pozwalają skupić się na użytkach rolnych: gruntach ornych, sadach, plantacjach rzędowych, upraw rolno-leśnych itp. Tak zastosowane podejście do sposobów użytkowania pozwala uwzględnić również łąki i użytki zielone. Co prawda użytki te, dzięki gęstemu pokryciu gleby runią, nie podlegają bezpośrednio deflacji, jednak mogą ulegać transformacji do innych użytków rolnych , co przy wrażliwej na wywiewanie pokrywie glebowej również może doprowadzić do degradacji tych gleb. W tabeli 7 przedstawiono klasy użytkowania terenu wg CORINE CLC2012 z zaznaczonymi pogrubieniem użytkami, które zostały wzięte pod uwagę w niniejszym opracowaniu.

Tabela 7

Formy pokrycia terenu wyróżnione w bazie danych CORINE Land Cover (Wawer 2005).

Poziom pierwszy	Poziom drugi	Poziom trzeci
1 Tereny antropogeniczne	11 Zabudowa miejska	111 Zabudowa miejska zwarta 112 Zabudowa miejska luźna
	12 Tereny przemysłowe, handlowe i komunikacyjne	121 Tereny przemysłowe lub handlowe 122 Tereny komunikacyjne oraz tereny związane z komunikacją drogową i kolejową 123 Porty 124 Lotniska
	13 Kopalnie, wyrobiska i budowy	131 Miejsca eksploatacji odkrywkowej 132 Zwałowiska i hałdy 133 Budowy
	14 Miejskie tereny zielone i wypoczynkowe	141 Tereny zielone 142 Tereny sportowe i wypoczynkowe
2 Tereny rolne	21 Grunty orne	211 Grunty orne poza zasięgiem urządzeń nawadniających 212 Grunty orne stale nawadniane 213 Pola ryżowe
	22 Uprawy trwałe	221 Winnice 222 Sady i plantacje 223 Gaje oliwne
	23 Łąki i pastwiska	231 Łąki, pastwiska
	24 Obszary upraw mieszanych	241 Uprawy jednoroczne i trwałe 242 Złożone systemy upraw i działek 243 Tereny zajęte głównie przez rolnictwo z dużym udziałem terenów naturalnych 244 Tereny rolno-leśne
3 Lasy i ekosystemy seminaturalne	31 Lasy	311 Lasy liściaste 312 Lasu iglaste 313 Lasy mieszane
	32 Zespoły roślinności drzewiastej i krzewiastej	321 Murawy i pastwiska naturalne 322 Wrzosowiska i zakrzaczenia 323 Roślinność sucholubna (śródziemnomorska) 324 Lasy i roślinność krzewiasta w stanie zmian

Tabela 7 cd.

Poziom pierwszy	Poziom drugi	Poziom trzeci
	33 Tereny otwarte, pozbawione roślinności, lub z rzadkim pokryciem roślinnym	331 Plaże, wydmy, piaski 332 Odsłonięte skały 333 Roślinność rozproszona 334 Pogorzeliska 335 Lodowce i wieczne śniegi
4 Obszary podmokłe	41 Śródlądowe obszary podmokłe	411 Bagna śródlądowe 412 Torfowiska
	42 Przybrzeżne obszary podmokłe	421 Bagna słone (solniska) 422 Saliny 423 Osuchy
5 Obszary wodne	51 Wody śródlądowe	511 Cieki 512 Zbiorniki wodne
	52 Wody morskie	521 Laguny 522 Estuaria 523 Morza i oceany

Źródło: Wawer, 2005 (54)

Zmodyfikowany wskaźnik zagrożenie erozją wietrzną należy rozumieć jako potencjalne zagrożenie, tj. zagrożenie, jakim podlegałaby pokrywa glebowa, gdyby cała jej powierzchnia znalazłaby się pod uprawami ornymi.

W studium zagrożenia obszaru kraju wykorzystano następujące dane przestrzenne:

- Mapę glebowo-rolniczą w skali 1:25.000;
- CORINE Land Cover 2012 w skali referencyjnej 1:250.000 (poligony generalizowane do min. 25ha)
- Mapę podziału administracyjnego otrzymana z Centralnego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej (CODGiK).

Wyniki badań

Przeprowadzone badania wykazały (25), że ok. 36% obszaru Polski, w tym 51,8% użytków rolnych w najsilniejszych stopniach 3–5 jest zagrożonych erozją wietrzną, w stopniu silnym i bardzo silnym – 37,5%, średnim – 14,3%, a w stopniu słabym – 24,1% (rys. 4, tab. 8).

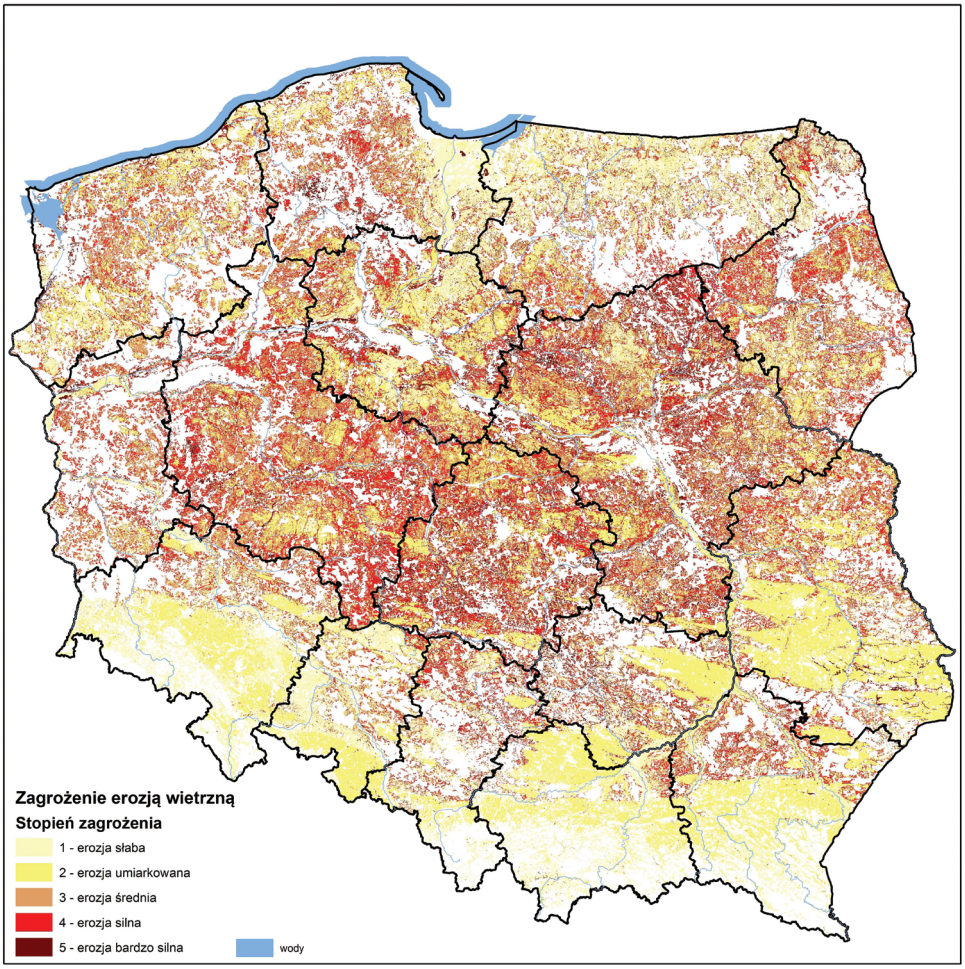
Najbardziej zagrożone erozją wietrzną są województwa: wielkopolskie – ok. 77,6% ogólnego obszaru, w tym dominuje erozja silna (51,4% obszaru) nad średnią (22,2% obszaru); łódzkie – ok. 70,2% ogólnego obszaru, w tym erozja silna (44,3% obszaru) i średnia (15,1% obszaru) oraz mazowieckie – ok. 70,1% ogólnego obszaru, w tym erozja silna (41,6% obszaru) i średnia (17,9% obszaru). Znacznie zagrożone erozją wietrzną w najsilniejszych stopniach 3–5 są również województwa: lubuskie w 64,4% – przeważa zagrożenie erozją silną (41,4% ogólnego obszaru); podlaskie w 58,3% – przeważa zagrożenie erozją silną (41,0% ogólnego obszaru); zachodniopomorskie w 56,5% – przeważa zagrożenie erozją silną (34,3% ogólnego obszaru); pomorskie w 54,5% – przeważa zagrożenie erozją silną (32,4% ogólnego obszaru); kujawsko-pomorskie w 52,5% – przeważa zagrożenie erozją silną (32,0% ogólnego obszaru).

Tabela 8

Zagrożenie erozją wietrzną w województwach w stopniach od 1 do 5 z wyróżnieniem zagrożenia w stopniach od 3 do 5 (25)

Województwo		Zagrożenie erozją wietrzną - stopnie													
	UR	0		1		2		3		4		5		3-5	
	ha	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Dolnośląskie	1259343	439347	34.9	125261	9.9	391887	31.1	100279	8.0	196567	15.6	6002	0.5	302848	24.0
Kujawsko-pomorskie	1421647	228361	16.1	90964	6.4	355923	25.0	199657	14.0	455174	32.0	91568	6.4	746399	52.5
Lubelskie	1927895	80047	4.2	221981	11.5	897866	46.6	213392	11.1	475489	24.7	39120	2.0	728001	37.8
Lubuskie	762272	93976	12.3	89829	11.8	87829	11.5	143380	18.8	315658	41.4	31602	4.1	490640	64.4
Łódzkie	1468426	32219	2.2	92668	6.3	313194	21.3	221073	15.1	650934	44.3	158338	10.8	1030345	70.2
Małopolskie	894452	267827	29.9	148379	16.6	392188	43.8	29143	3.3	53703	6.0	3212	0.4	86058	9.6
Mazowieckie	2864924	158188	5.5	216257	7.5	482440	16.8	513957	17.9	1192167	41.6	301915	10.5	2008039	70.1
Opolskie	663461	249367	37.6	37718	5.7	199339	30.0	66044	10.0	102647	15.5	8345	1.3	177037	26.7
Podkarpackie	887868	183766	20.7	53317	6.0	430384	48.5	44376	5.0	164038	18.5	11987	1.4	220402	24.8
Podlaskie	1438026	150617	10.5	193479	13.5	255619	17.8	205231	14.3	588972	41.0	44107	3.1	838310	58.3
Pomorskie	1167056	227509	19.5	148368	12.7	155397	13.3	202346	17.3	377960	32.4	55477	4.8	635783	54.5
Świętokrzyskie	776739	90735	11.7	106379	13.7	276951	35.7	68769	8.9	177167	22.8	56737	7.3	302674	39.0
Śląskie	641191	129103	20.1	103026	16.1	138390	21.6	67614	10.5	176710	27.6	26348	4.1	270671	42.2
Warmińsko-mazurskie	1595297	500703	31.4	197536	12.4	258354	16.2	191980	12.0	412523	25.9	34202	2.1	638705	40.0
Wielkopolskie	2521666	73327	2.9	186483	7.4	304752	12.1	560967	22.2	1295180	51.4	100956	4.0	1957103	77.6
Zachodniopomorskie	1447427	156482	10.8	179019	12.4	294324	20.3	273381	18.9	495883	34.3	48338	3.3	817602	56.5
UR	21737691	3061575	14.1	2190664	10.1	5234837	24.1	3101593	14.3	7130776	32.8	1018260	4.7	11250629	51.8
Polska	31267900		9.8		7.0		16.7		9.9		22.8		3.3		36.0

Źródło: Józefaciuk i in., 2018 (25)



Rys. 4. Zagrożenie erozją wietrzną użytków rolnych w Polsce
Źródło: Józefaciuk i in., 2018 (25)

Najmniej zagrożone najsilniejszymi stopniami (3–5) erozji wietrznej są województwa: dolnośląskie – 24,0% ogólnego obszaru, w tym erozją silną 15,6%, a erozją w stopniu średnim 8%; podkarpackie – 24,8% ogólnego obszaru, w tym erozją silną 18,5%, a średnią 5%; opolskie – 26,7% ogólnego obszaru, w tym erozją silną 15,5%, a średnią 10%.

Szczegółowe mapy i dane tabelaryczna zagrożenia poszczególnymi typami erozji dla gmin, powiatów i województwa znajdują się w następujących monografiach, dostępnych za darmo na fanpage Puławskiego Ośrodka Badań Erozyjnych:

1. Józefaciuk A., Nowocień E., Wawer R., 2014. Erozja gleb w Polsce – skutki środowiskowe i gospodarcze, działania zaradcze. Monografie i rozprawy naukowe IUNG-PIB, nr 44, ss.: 263.

2. Józefaciuk A., Nowocień E., Wawer R., 2016. Rozwój, skutki i występowanie erozji wąwozowej w Polsce oraz metody zagospodarowania wąwozów. Monografie i rozprawy naukowe – 48, ISBN 978-83-7562-208-9, IUNG-PIB Puławy, 2016, ss: 376
3. Józefaciuk A., Nowocień E., Wawer R., 2018. Erozja wietrzna w Polsce - występowanie, skutki, działania zaradcze. Monografie i rozprawy naukowe – 57, ISBN 978-83-7562-286-7, IUNG-PIB Puławy, ss: 224.

Literatura

1. Bac S.: Przyczynek do badań nad zmianą położenia powierzchni ornych gruntów loesowych. Rocz. Nauk Rol. i Leś., Poznań, 1928, **19(3)**: 28.
2. Bac S.: Słowo o badaniach nad erozją gleb w Polsce. W: Procesy erozyjne i problemy ochrony gleb w Polsce. WSR Lublin, PWRiL, 1968, **2**: 20-25.
3. Bennet H.H.: Elements of soil conservation. Mc Graw-Hill Book Company, Inc. New York, Toronto, Londyn, 1955, ss: 256.
4. Czamara W.: Prognoza erozji powierzchniowej w zlewniach zbiorników wodnych zlokalizowanych na przedgórzu sudeckim. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, 1992, **271**: 79-89.
5. Dylikowa A.: Geografia Polski. Krainy Geograficzne. Państw. Zakład Wyd. Szkol., ss: 125.
6. Fatyga J.: Kształtowanie granic rolno-leśnej i darniowo-polowej w Sudetach w systemie ochrony gleby przed erozją wodną. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1973, **487**: 67-77.
7. Figuła K.: Wstępna charakterystyka zjawisk erozji na terenie kilku powiatów województwa krakowskiego. Rocz. Nauk Rol., 1955, **71-F-1**: 111-148.
8. Figuła K.: Erozja w terenach górskich. Wiad. Inst. Melior., 1960, **1(4)**: 190-197.
9. Figuła K.: Badania transportu rumowiska w ciekach górskich i podgórskich o różnej budowie geologicznej i użytkowaniu. Wiad. Inst. Melior., 1966, **6(3)**: 131-145.
10. Fischer G., van Velthuizen H., Shah M, Nachtergaele F. Global Agro-ecological Assessment for Agriculture in the 21 Century. FAO/IIASA Research Report. IIASA, Laxenburg, 2002, ss.: 259.
11. Froehlich W., Słupik J.: Importance of splash in erosion process within a small flysh catchment basin. Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica, 1980a, vol. **XIV**: 77-111.
12. Froehlich W., Słupik J.: Drogi polne jako źródło dostawy wody i zwietrzeliny do koryta cieku. Zesz. Prob. Post.Nauk Rol., 1980b, **225**: 257-268.
13. Froehlich W.: Monitoring bed load transport using acoustic and magnetic devices, [w:] Jim Bogen and Des E. Walling (red.) Erosion and Sediment Transport Measurement in Rivers. Technological and Methodological Advances. Proceedings of the Oslo Workshop (19–21 June 2002), IAHS Publication, 2003, **283**: 201-210.
14. Gentile A. R. (Red.): Down to earth: Soil degradation and sustainable development in Europe -A challenge for the 21st century. EEA, 2000, **32**: 241-255.
15. Gerlach T. : Współczesny rozwój stoków w dorzeczu Górnego Grajcarka (Beskid Wysoki – Karpaty Zachodnie). Prac. Geogr., 1966, **52**, ss: 52.
16. Józefaciuk A., Józefaciuk Cz.: Próba oceny zagrożenia gruntów w Polsce erozją wietrzną. Pam. Puł., **71,** 1979.: 12-21.
17. Józefaciuk Cz., Józefaciuk A., Barbaś S., Budzyńska K.: Metoda opracowania mapy potencjalnej erozji wodnej gleb w Polsce. Rocz. Gleb., 1985, **XXXVI(1)**: 177-183.
18. Józefaciuk Cz., Józefaciuk A.: Struktura zagrożenia erozją wodną fizjograficznych krain Polski. Pam. Puł., 1992a, **101**: 23-50.
19. Józefaciuk Cz., Józefaciuk A.: Gęstość sieci wąwozowej w fizjograficznych krainach Polski. Pam. Puł. 1992, **101**: 51-66.
20. Józefaciuk A., Józefaciuk Cz.: Agrotechnika przeciwerozyjna. Bibl. Monit. Srod., Warszawa, 1998a, ss: 89.
21. Józefaciuk A., Józefaciuk Cz.: Erozja i melioracje przeciwerozyjne. Terminologia. BN-88/9100-07. Znowelizowana jako Pr PN-R-04152, 1998b, ss: 113.

22. Józefaciuk C., Józefaciuk A., Nowocień E., Wawer R.: Przeciwerozyjne zagospodarowanie zlewni wyżynnej potoku Grodarz z uwzględnieniem ograniczania powodzi. Wyd. IUNG, Monografie i Rozprawy Naukowe, 2002, **4**, ss: 65.
23. Józefaciuk A., Nowocień E., Wawer R.: Erozja gleb w polsce – skutki środowiskowe i gospodarcze, działania zaradcze. Monografie i Rozprawy Naukowe IUNG-PIB, 2014, **44**, ss: 264.
24. Józefaciuk A., Nowocień E., Wawer R.: Rozwój, skutki i występowanie erozji wąwozowej w polsce oraz metody zagospodarowania wąwozów. Monografie i Rozprawy Naukowe IUNG-PIB, 2016, **48**, ss: 374.
25. Józefaciuk A., Nowocień E., Wawer R.: Erozja wietrzna w Polsce. Monografie i Rozprawy Naukowe IUNG-PIB, 2018, **57**, ss: 224.
26. Kondracki J.: Geografia Polski. Mezoregiony fizyczno-geograficzne. PWN, Warszawa, 1994, ss. 635.
27. Koreleski K., Żurek E.: Analiza potrzeb w zakresie przeciwerozyjnego zabezpieczenia gruntów w Polsce. Rocz. AR w Poznaniu CCXCIV, Melioracje i Inżynieria Środowiska, 1997, **19**, cz. **I**: 177-184.
28. Kosturkiewicz A., Szafrański C., Fiedler M.: Agromelioracje jako czynnik ograniczający erozję wodną gleb terenów bogato rzeźbionych. Roczn. AR w Poznaniu CCLXVI, Melioracje i Inżynieria Środowiska, 1994, **14**: 281-293.
29. Maruszczak H.: Warunki geologiczno-geomorfologiczne rozwoju erozji gleb w południowej części województwa lubelskiego. Wiad. Inst. Melior., 1963, **4**: 19-44.
30. Maruszczak H.: Erozja wąwozowa we wschodniej części pasa wyżyn południowopolskich. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1973, **151**: 15-30.
31. Niewiadomski W.: Badania nad erozją gleb północy Polski (okres 1950-1967). PWRiL, Warszawa, 1968, **2**: 29-49.
32. Nowocień E.: Dynamika rozwoju wąwozów drogowych na obszarach lessowych.Pam.Puł., 1996a.,**107**,: 101-111.
33. Nowocień E.: Umacnianie rowów i ścieków dróg rolniczych w terenach lessowych zagrożonych erozją. IUNG Puławy, 1996b, K(11/1): 313-319.
34. Nowocień E.: Badania nad planowaniem i projektowaniem wybranych elementów dróg rolniczych na wyżynnych obszarach chronionego krajobrazu. Pam. Puł., 1999a, **119**: 93-100.
35. Nowocień E. : Podstawy geometrycznego projektowania wybranych elementów dróg rolniczych na obszarach wyżynnych. Zesz. Nauk. AR Kraków, 1999b, **68**: 325-333.
36. Nowocień E.: Wstępne wyniki badań nad technologią utwardzania dróg rolniczych w terenach erodowanych na przykładzie gminy Wąwolnica. Pam. Puł., 1999c, **119**: 83-93.
37. Nowocień E.: Technologia utwardzania dróg rolniczych w terenach lessowych. Wytyczne. Wyd. IUNG. 1999d, ss: 22.
38. Nowocień E.: Wybrane zagadnienia erozji gleb w Polsce. Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy, 2008, **10**: 9-38.
39. Ostromęcki J.: Erozja gleb jako zagadnienie melioracyjne. Gospodarka wodna, 1947, **4** i **5**: 1-20.
40. Prochal P.: Badania nad erozją gleb w terenach górskich. PWRiL, Warszawa, 1968, ss: 50-90.
41. Prochal P. (red.): Podstawy melioracji rolnych, t. 2. PWRiL, Warszawa, 1987, 264-342.
42. Rajda W., Ostrowski K., Kowalik T., Marzec J.: Erozja chemiczna w mikrozlewniach rolniczych na terenie podgórskim. Roczn. AR w Poznaniu CCLXVI, Melioracje i Inżynieria Środowiska, 1994, **14**: 139–152.
43. Reniger A.: Próba oceny nasilenia i zasięgów potencjalnej erozji gleb w Polsce. Rocz. Nauk. Rol., 1950a, **54**: 1-59.
44. Reniger A.: Zalesienia i zadrzewienia śródpolne jako czynnik ochrony gleb Polski przed erozją. Rocz. Nauk Rol., 1950b, **54(1)**, ss: 54.
45. Sasik J., Szewrański S., Żmuda R.: Rola zbiornika małej retencji wodnej w kształtowaniu denudacji odpływowej i chemizmu odpływu. Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis 217, Agricultura, 2001, **87**: 209-212.
46. Stasik R., Szafrański C.: Zmiany w pokrywie glebowej erodowanych terenów Pojezierza Gnieźnieńskiego. Acta Agrophysica, 2005, **5(2)**: 447-454.
47. Starkel L.: Studia nad typologią i oceną środowiska geograficznego Karpat i Kotliny Sandomierskiej. Prace geogr., 1978, ss: 35.

48. Starkel. L.: Erozja gleb a gospodarka wodna w Karpatach. Zesz. Prob. Post. Nauk Rol., 1980, **235**: 103-118.
49. Szewrański Sz., Sasik J., Wawer R., Żmuda R.: Propozycje rolnośrodowiskowego zagospodarowania przestrzennego zlewni w aspekcie ochrony gruntów rolnych przed erozją wodną. Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska, 2008a, **2(40)**: 34–42.
50. Szewrański Sz., Szabla K., Wawer R., Żmuda R.: Ocena przedsięwzięć rolnośrodowiskowych w aspekcie ochrony gleb przed erozją wodną. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2008b, **526**: 235–242.
51. Szpikowski J.: Wzajemne relacje rozbryzgu i spłukiwania jako przejaw zmienności erozji wodnej gleb na stokach o zróżnicowanym użytkowaniu rolniczym (Zlewnia Chwalimskiego Potoku, Górna Parsęta). Folia Univ. Agric. Stetin. 217 Agricultura, 2001, **87**: 221-226.
52. Wawer R.: Zastosowanie cyfrowego modelowania obszaru zlewni Grodarza dla celów zagospodarowania przeciwerozyjnego. Rozprawa doktorska. IUNG, 2003, ss: 91.
53. Wawer R., Nowocień E.: Application of Sinmap terrain stability model in Grodarz stream watershed. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities. Environmental Development Series. 2003. **6(1)**: 33-42.
54. Wawer R.: Cyfrowy model zlewni jako podstawa do planowania melioracji przeciwerozyjnych w zlewniach rolniczych. Acta Agrophysica 2005, **115**, **5(1)**: 201–209.
55. Wawer R., Nowocień E., Budzyńska K., Podolski B.: Cyfrowa mapa podatności gleb uzytków rolnych na erozję wodna powierzchniowa. Skala referencyjna 1:500000. Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu, CCCLXXV, Rolnictwo, 2006, **65**: 223-227.
56. Wawer R., Nowocień E.: Mapa erozji wodnej aktualnej w oparciu o CORINE Land Cover 2000. Pam. Puławski, 2006, **142**: 537-546.
57. Wawer R., Nowocień E., Podolski B., Szewrański Sz., Żmuda R.: Analiza sieci dróg rolniczych pod kątem ochrony przed erozją wodną powierzchniową. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2008, **526**: 257–264.
58. Wawer R., Nowocien E., Podolski B., Kozyra J., Pudełko R.: Protective role of grassland against soil water erosion caused by extreme rainfall events as compared to black follow. Journal of Food Agriculture and Environment, 2013, **11(1)**:1069-1071.
59. Wawer R., Podolski B., Nowocień E.: Analiza zmian użytkowania w zlewni potoku Grodarz w kontekście zagrożenia erozją wodną powierzchniową z wykorzystaniem systemów GIS i teledetekcji. Pam. Puł., 2004, **137**: 163-175.
60. Zachar D.: Soil erosion. Developments in soil science 10, Elsevier scientific publishing company, Amsterdam, Oxford, New York, 1982, ss: 450.
61. Ziemnicki S.: Zapobieganie I zwalczanie erozji na lessach. Rocz. Nauk rol., 1955, **54(1),** ss: 155-188.
62. Ziemnicki S.: Zasięgi erozji gleb w południowej części województwa lubelskiego. Biul. Lub. TN, 1964, B **3-4**: 21-29.
63. Ziemnicki S Ochrona gleb przed erozją. PWRiL, Warszawa, 1978, ss: 250.

Adres do korespondencji:

dr Rafał Wawer
Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. 81 47 86 773
email: huwer@iung.pulawy.pl

S T U D I A I R A P O R T Y IUNG-PIB

ZESZYT 58(12): 81-95 **2018**

Bożena Smreczak, Grzegorz Siebielec, Aleksandra Ukalska-Jaruga, Agnieszka Klimkowicz-Pawlas

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach

OCENA ZAWARTOŚCI KADMU, CYNKU I OŁOWIU ORAZ BENZO(a)PIRENU W GLEBACH UŻYTKOWANYCH ROLNICZO – DWADZIEŚCIA LAT MONITORINGU CHEMIZMU GLEB ORNYCH POLSKI*

Słowa kluczowe: obszary rolnicze, zanieczyszczenie, Zn, Cd i Pb, BaP, gleba

Wstęp

Jednym z wyzwań współczesnego rolnictwa jest produkcja dobrej jakości płodów rolnych o wysokich walorach użytkowych. Warunkiem osiągnięcia tego celu jest m.in. uprawa roślin konsumpcyjnych i paszowych na glebach niezanieczyszczonych. Do substancji szkodliwych dla właściwego funkcjonowania środowiska glebowego oraz zdrowia człowieka zalicza się różne grupy zanieczyszczeń organicznych i nieorganicznych. Wartości dopuszczalne dla tych związków w glebach ustala się na podstawie szeregu badań toksykologicznych i ekotoksykologicznych, których wyniki najczęściej odnosi się do całkowitej zawartości zanieczyszczeń (9). W niektórych przepisach uwzględnia się dodatkowe czynniki wpływające na oddziaływanie zanieczyszczeń lub ich mobilność jak na przykład głębokość występowania (6), właściwości gleby: wartość pH (6), wodoprzepuszczalność gruntów (5, 6) oraz zawartość materii organicznej (2, 6).

Do substancji szkodliwych, które są często spotykane w środowisku przyrodniczym zalicza się pierwiastki śladowe (PS) oraz wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA). PS i WWA występują w niewielkich ilościach we wszystkich glebach nie powodując niekorzystnych skutków ekologicznych. W przypadku, gdy ich zawartość przekracza dopuszczalne poziomy są traktowane jak substancje szkodliwe dla prawidłowego funkcjonowania środowiska glebowego. Nadmierna zawartość PS i WWA w glebach może wywoływać m.in. hamowanie kiełkowania nasion oraz

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.3 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

wzrostu i rozwoju siewek (15, 27), ograniczenie aktywności mikrobiologicznej wpływając negatywnie na przemiany azotu w glebach (15, 27) oraz nadmierną akumulację w organizmach glebowych m.in. bezkręgowcach (21, 38).

Wspomniane grupy zanieczyszczeń charakteryzują się odmiennymi właściwościami. Metale występują w glebach w formie jonowej i/lub w różnych formach związania z komponentami gleby. Mogą tworzyć sole kwasów organicznych i nieorganicznych, tlenki oraz połączenia z materią organiczną (12, 13). WWA to związki o właściwościach hydrofobowych, wykazujące silne powinowactwo do materii organicznej i tylko w nieznacznym stopniu rozpuszczają się w roztworze glebowym (16, 17, 18).

PS i WWA mogą pochodzić z podobnych źródeł tj. naturalnych i antropogenicznych oraz dostawać się do gleby w wyniku przemysłowej i rolniczej działalności człowieka (16, 17, 34). Wysokie stężenia niektórych metali w glebach są wynikiem budowy geologicznej skał zasobnych w te pierwiastki. Na przykład gleby brunatne wytworzone na serpentynitach zawierają wysokie stężenia niklu, a rędziny wytworzone na triasowych wapieniach i dolomitach diploporowych charakteryzują się wysoką zawartością kadmu, cynku, ołowiu oraz arsenu (14, 36). WWA, takie jak fenantren, chryzen czy perylen mogą powstawać w torfach i innych osadach organicznych na drodze biochemicznych przemian i diagenezy tych utworów (26). Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne tworzą się w warunkach naturalnych, we wszystkich procesach niepełnego spalania materii organicznej, w tym podczas pożarów lasów i prerii oraz wybuchów wulkanów (17, 18, 20). Procesy te są także źródłem niektórych PS.

Substancje z omawianych grup są uwalnianie do atmosfery również w trakcie spalania paliw stałych i płynnych stosowanych w procesach przemysłowych. Nadmierna zawartość PS w glebach jest związana z działalnością górniczą i hutniczą, przemysłem chemicznym, garbarskim i in. Bogate w PS i WWA są różne rodzaje odpadów poprzemysłowych, żużli i popiołów, które zdeponowane na hałdach mogą być rozwiewane (14) i wraz z masami powietrza przenoszone na duże odległości powodując wtórne zanieczyszczenie obszarów przyległych (14). Wśród ważnych antropogenicznych źródeł obu grup zanieczyszczeń należy wymienić również transport samochodowy, systemy grzewcze i paleniska domowe, wykorzystujące jako opał węgiel kamienny o zróżnicowanej jakości i niejednokrotnie odpady komunalne przeznaczone do segregacji. PS i WWA emitowane do atmosfery ulegają adsorpcji na cząsteczkach pyłów i wraz z nimi trafiają do gleb w postaci suchego opadu oraz z opadami deszczu i śniegu. Pierwiastki śladowe i wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne mogą osadzać się również na powierzchni liści, szczególnie roślin pokrytych dużą ilością wosków. Pozostałości takich roślin stanowią dodatkowe źródło zanieczyszczenia gleb (37).

Działalność rolnicza również może wpływać na wzrost zawartości zanieczyszczeń w glebach. Stosowanie niektórych rodzajów kompostów produkowanych z wykorzystaniem zanieczyszczonych roślin czy przetworzonych materiałów, jak kolorowe gazety czy farbowane drewno oraz komunalnych osadów ściekowych powoduje dodatkowe wprowadzenie różnych ilości PS i WWA do gleb. Metale do gleb wnoszone są też ze środkami ochrony roślin (np. Cu zawarta w siarczanie

miedzi) wraz z kopalinami stosowanymi do wapnowania gleb, niektórymi nawozami fosforanowymi i nawozami naturalnymi (m.in. obornikiem); (9, 12).

Pierwiastki śladowe pochodzące ze źródeł naturalnych i antropogenicznych podlegają w glebach cyklom biogeochemicznym (12, 13). Ich transport w profilach glebowych, przemieszczanie do wód gruntowych, oddziaływanie na organizmy żywe zależy przede wszystkim od właściwości gleb, m.in. zawartości frakcji ilastej i węglanów, odczynu, zawartości materii organicznej oraz wieku zanieczyszczenia i chemicznego charakteru pierwiastka. Porównanie udziału różnych form wybranych pierwiastków w glebie wskazuje, że niektóre z nich są mniej (Cr, Ni, Pb), natomiast inne są bardziej mobilne (Cd, Zn, Mn); (13). Związki z grupy WWA występują głównie w poziomie powierzchniowym gdzie ulegają sorpcji przez materię organiczną (41) i tylko w niewielkich ilościach mogą przemieszczać się w głąb profilu glebowego. Należy podkreślić, że właściwości gleb i zanieczyszczeń oraz czynniki klimatyczne i działalność człowieka w dużym stopniu modyfikują transport tych substancji w glebach (34).

WWA i PS wykazują zróżnicowaną szkodliwość dla ludzi i innych organizmów żywych. Do pierwiastków śladowych najbardziej istotnych dla ochrony zdrowia człowieka należą: kadm (Cd), ołów (Pb), arsen (As) i rtęć (Hg), a wśród WWA - benzo(a)piren (BaP). Szkodliwość PS wynika z ich podatności m.in. na łatwą absorpcję z przewodu pokarmowego i bioakumulację w różnych tkankach oraz uszkodzenia budowy łańcucha kwasów nukleinowych. Dla przykładu, Cd występujący w nadmiernych ilościach w organizmie człowieka może być przyczyną dysfunkcji nerek, odwapnienia kości i nadciśnienia. Nadmiar ołowiu negatywnie oddziałuje na ośrodkowy układ nerwowy i krwionośny, a wysokie stężenie cynku powoduje zmiany skórne i niedokrwistość (45). O ile dla kadmu i ołowiu nie stwierdzono istotnej pozytywnej roli dla funkcjonowania organizmu ludzkiego, to niedobór cynku odpowiada za poważne dysfunkcje organizmu ludzkiego, do których należy zaliczyć problemy dermatologiczne i ograniczenie funkcji rozrodczych (13, 45).

Benzo(a)piren jest przedstawicielem grupy pięciopierścieniowych WWA i został uznany przez Międzynarodową Agencję do Badań nad Rakiem za związek o udokumentowanym oddziaływaniu rakotwórczym. Ze względu na budowę przestrzenną cząsteczki posiadają tzw. „bay region", dzięki czemu BaP łatwo ulega przemianom do formy epoksydowej. Forma ta jest bardzo nietrwała, ale łączy się z DNA powodując nieodwracalne zmiany w budowie kwasu nukleinowego, które w konsekwencji prowadzą do powstawania zmian mutagennych, teratogennych i nowotworowych (18).

Ocenia się, że ponad 90% zanieczyszczeń dostaje się do organizmu człowieka z pożywieniem (17), dlatego dbałość o jakość gleb, w których są uprawiane rośliny konsumpcyjne i paszowe powinna stanowić jedno z najważniejszych działań w zakresie ochrony środowiska przyrodniczego, a zawartość substancji szkodliwych podlegać stałej kontroli. W Polsce monitoring zawartości zanieczyszczeń w glebach użytkowanych rolniczo jest prowadzony od dwudziestu lat. W latach 1993-2016

zmieniły się również kryteria wydzielania gleb określanych jako zanieczyszczone. Celem opracowania jest ocena zawartości kadmu, cynku i ołowiu oraz benzo(a)-pirenu – zanieczyszczeń najbardziej istotnych dla zdrowia ludzkiego − w glebach użytkowanych rolniczo na przestrzeni ostatnich dwudziestu lat. W treści pracy opisano też systemy stosowane w naszym kraju do wyodrębniania gleb zanieczyszczonych oraz program *Monitoring chemizmu gleb ornych Polski* zapoczątkowany w 1995 r., służący do kontroli jakości i stopnia zanieczyszczenia gleb z obszarów rolniczych.

Kryteria oceny zawartości Zn, Pb, Cd i BaP w glebach

Dopuszczalne stężenia zanieczyszczeń w glebach użytkowanych rolniczo odnoszą się do zawartości całkowitej (pseudo całkowitej) tych związków. W opinii niektórych naukowców, szczególnie akcentowanej w ostatnich latach, zawartość całkowita nie jest wyznacznikiem rzeczywistego narażenia środowiska i ludzi na szkodliwe oddziaływanie tych związków (28, 32), ale stanowi wiarygodną informację do wydzielenia terenów, na których istnieje prawdopodobieństwo wystąpienia szkodliwych efektów (1, 34).

W Polsce limity uwzględniające całkowitą zawartość Zn, Pb i Cd oraz WWA w glebach użytkowanych rolniczo zostały wprowadzone odpowiednio w latach 1993 i 1996 (10), 2012 (5) oraz 2016 (6). Pierwsze propozycje kryteriów oceny stopnia zanieczyszczenia gleb PS i WWA były opracowane w Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa (IUNG) w Puławach. Dopuszczalne zawartości dla metali oraz zalecane użytkowanie gleb z obszarów rolniczych zaklasyfikowanych do zanieczyszczonych zostały przedstawione przez zespół pod kierunkiem prof. dr hab. A. Kabaty-Pendias (10, 11). Propozycje te dotyczyły zawartości pięciu pierwiastków: kadmu, cynku, ołowiu, miedzi i niklu w warstwie 0-20 cm użytków rolnych. Liczby graniczne w tym systemie oceny zaproponowano na podstawie analizy zawartości pierwiastków śladowych w glebach naszego kraju i szacunku przenoszenia metali w łańcuchu żywieniowym człowieka (11). Dane o zawartości PS w glebach Polski pochodziły z programu zleconego przez ówczesne Ministerstwo Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej, realizowanego w latach 1992-1997 przez IUNG i stacje chemiczno-rolnicze (10). O pracach z tego zakresu szerzej pisali też Smreczak i Jadczyszyn (35).

W propozycji kryteriów dla pierwiastków śladowych (10, 11), gleby zostały podzielone na trzy grupy: „a", „b" i „c" z uwzględnieniem zwartości frakcji spławialnej o średnicy cząstek < 0,02 mm, wartości pH-KCl i materii organicznej. Na przykład grupa „a" obejmowała mineralne gleby bardzo lekkie zawierające do 10% frakcji spławialnej, niezależnie od odczynu oraz gleby lekkie (od 10% do 20% frakcji spławianej) o odczynie od bardzo kwaśnego do lekko kwaśnego. W grupie „b" uwzględniono gleby lekkie o odczynie obojętnym, gleby średnie (20-35% frakcji spławialnej) i gleby ciężkie (> 35% frakcji spławialnej) o odczynie od bardzo kwaśnego do kwaśnego oraz gleby mineralno-organiczne bez względu na odczyn. Do grupy „c" zaliczono gleby średnie i ciężkie charakteryzujące się odczynem słabo

kwaśnym i obojętnym oraz gleby organiczne. Każdą z grup gleb podzielono na stopnie zanieczyszczenia od 0º do Vº i przypisano im wartości dopuszczalne, zróżnicowane dla poszczególnych metali. Stopień 0 odpowiadał glebom niezanieczyszczonym, a stopień V glebom bardzo silnie zanieczyszczonym. Dla grupy gleb „a" dopuszczalna zawartość przy 0 stopniu zanieczyszczenia wynosiła 0,3 $mg \cdot kg^{-1}$; 50 $mg \cdot kg^{-1}$ i 30 $mg \cdot kg^{-1}$, a dla stopnia V > 5 $mg \cdot kg^{-1}$; > 3000 $mg \cdot kg^{-1}$ oraz > 2500 $mg \cdot kg^{-1}$, odpowiednio dla kadmu, cynku i ołowiu (10, 11).

Pierwsza propozycja kryteriów oceny stopnia zanieczyszczenia gleb przez WWA i rolniczego wykorzystania gleb zawierających zróżnicowane stężenia tych związków była opracowana przez prof. dr hab. B. Maliszewską-Kordybach (19). Liczby graniczne w tej propozycji odnosiły się do sumy 13 WWA uwzględniającej węglowodory z listy Amerykańskiej Agencji Ochrony Środowiska (43) z wyjątkiem naftalenu, acenaftenu i acenaftylenu (19). Podobnie jak w przypadku metali propozycja ta obejmowała sześć stopni zanieczyszczenia gleb: od 0º do 5º, a zawartość WWA była obliczana z uwzględnieniem zawartości próchnicy i odnoszona do gleby zawierającej 2% frakcji organicznej. Zwartość dopuszczalna ∑13WWA w glebach niezanieczyszczonych (0º) wynosiła < 200 $\mu g \cdot kg^{-1}$, a w bardzo silnie zanieczyszczonych (5º) > 10 000 $\mu g \cdot kg^{-1}$ (19). Szczegółowe informacje dotyczące przedstawionych systemów oceny stopnia zanieczyszczenia gleb PS i WWA zawiera publikacja Terelak i in. (39, 40). Przedstawione kryteria, szczególnie w odniesieniu do PS były do 2002 r. szeroko stosowane do określania stopnia zanieczyszczenia gleb w naszym kraju, ale nie miały rangi przepisów prawnych.

W 2002 roku ukazało się Rozporządzenie Ministra Środowiska (5), które było aktem wykonawczym do Ustawy Prawo Ochrony Środowiska (7). Przepisy te nie tylko ustalały liczby graniczne dla zanieczyszczeń w odniesieniu do różnych kategorii użytkowania gruntów, ale także zawierały element wskazujący na powiązanie pomiędzy ochroną gleb i wód. Nowymi rozwiązaniami, które zostały wprowadzone w tych przepisach było odniesienie do wszystkich kategorii gruntów naszego kraju i ich podział na trzy grupy: „A", „B" i „C" . W grupach „B" i „C" dodatkowo została uwzględniona głębokość poziomów występowania zanieczyszczeń oraz wodoprzepuszczalność warstw podpowierzchniowych. Zanieczyszczenia uznane za istotne dla ochrony gleb w naszym kraju były podzielone na sześć grup, a w obrębie tych grup znalazło się wiele pojedynczych związków. Pierwszą grupę stanowiły metale. Wykaz PS, w porównaniu do propozycji z 1993 r., został uzupełniony o siedem kolejnych pierwiastków: arsen, bor, chrom, cynę, kobalt, mangan i rtęć. Grupę III stanowiły zanieczyszczenia węglowodorowe, a do podgrupy III/D zaliczono wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne. Lista pojedynczych WWA uwzględniała dziewięć związków oraz dodatkowo ich sumę. W przepisach z 2002 r. zawartość kadmu, cynku i ołowiu w powierzchniowej 30 cm warstwie gleb z obszarów rolniczych zaliczonych do grupy „B" nie mogła przekraczać odpowiednio: 4 $mg \cdot kg^{-1}$, 300 $mg \cdot kg^{-1}$ i 100 $mg \cdot kg^{-1}$, natomiast dla benzo(a)pirenu została ustalona na 0,03 $mg \cdot kg^{-1}$ i była ponad trzykrotnie niższa od zawartości granicznej (0,1 $mg \cdot kg^{-1}$) dla pozostałych węglowodorów uwzględnionych w przepisach (5).

Rozporządzenie z 2002 r. miało wielu krytyków ze względu na ustalone arbitralnie dopuszczalne zawartości zanieczyszczeń oraz podział gleb tylko na dwie kategorie: niezanieczyszczone oraz zanieczyszczone. Wszystkie gleby zanieczyszczone musiały zostać poddane remediacji, a efektem tych zabiegów miało być zmniejszenie stężenia zanieczyszczeń do wartości poniżej liczby granicznej (5, 9).

Potrzeba aktualizacji tych przepisów spowodowała, że w 2016 r. ukazały się nowe regulacje prawne: Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 września 2016 r. (3). W przepisach tych, zaproponowano podział gleb na cztery grupy (I-IV) w zależności od kategorii użytkowania gruntów. Gleby użytkowane rolniczo zostały zaliczone do grupy II. Dla metali oraz metaloidu w glebach mineralnych (zawierających do 3,5% węgla organicznego) wprowadzono trzy podgrupy: II-1, II-2 i II-3 o zróżnicowanej zawartości frakcji spławialnej (średnica cząstek < 0,02 mm) oraz wartości pH-KCl. Zawartości dopuszczalne metali podano również dla gleb mineralno-organicznych i organicznych o zawartości węgla organicznego ≥ 3,5% (6), wzorując się na propozycjach z 1993 r. (11).

W przepisach tych pozostawiono, podobnie jak w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z 2002 r. (5), podział na warstwy, ale zróżnicowano ich głębokość w zakresach: 0-25 cm i 25-100 cm. Uwzględniono również wodoprzepuszczalność gruntów jako dodatkowy czynnik określania dopuszczalnych zawartości zanieczyszczeń w warstwie podpowierzchniowej. W świetle przepisów z 2016 (6) zawartość kadmu, cynku i ołowiu w warstwie do 25 cm gleb o zróżnicowanych właściwościach została ustalona odpowiednio w przedziałach : 2-5 mg·kg^{-1}; 300-1000 mg·kg^{-1}; 100-500 mg·kg^{-1} (tab. 1).

Tabela 1

Dopuszczalne zawartości kadmu, ołowiu i cynku oraz BaP w górnej warstwie (0-25 cm) gleb użytkowanych rolniczo, zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 1 września 2016 r., Dz.U. poz. 1395

Zawartość frakcji spławialnej <0,02 mm	Pierwiastki śladowe									BaP		
	Cd			Pb			Zn					
	≤5,5	≤6,5	>6,5	≤5,5	≤6,5	>6,5	≤5,5	≤6,5	>6,5	≤5,5	≤6,5	>6,5
	Zawartości dopuszczalne (mg kg^{-1})											
Gleby mineralne >3,5% węgla organicznego												
<10%	2			100			300			0,1		
10-20%	2		3	100		250	300		500			
20-35%	3	5		250	500		500	1000				
>35%	3	5		250	500		500	1000				
Gleby mineralno- organiczne 3,5-6% węgla organicznego												
	3			250			500			0,1		
Gleby mineralno- organiczne i organiczne >6% węgla organicznego												
	5			500			1000			0,1		

Źródło: Rozporządzenie Ministra Środowiska, 2016 (6)

Dla WWA podobnie jak w przepisach z roku 2002 nie uwzględniono właściwości gleb, ale podano listę 10 indywidualnych węglowodorów, wśród których przeważają

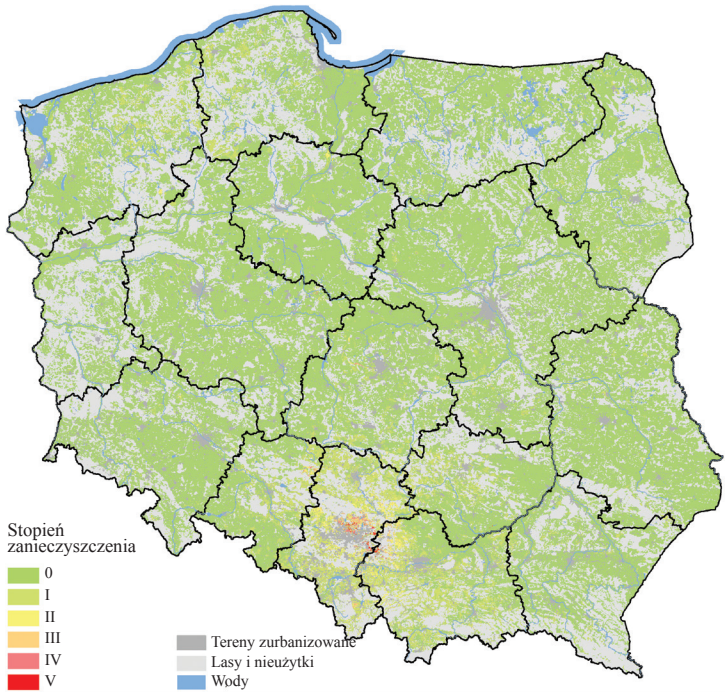
związki zawierające ≥ 4 pierścienie w cząsteczce. Niektóre z nich są uznane za rakotwórcze i potencjalnie rakotwórcze. Dopuszczalne zawartości całkowite poszczególnych WWA wymienionych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z 2016 r. (6) w glebach użytkowanych rolniczo nie mogą przekraczać 0,1 $mg \cdot kg^{-1}$ lub 0,2 $mg \cdot kg^{-1}$. Dla benzo(a)pirenu wartość tę ustalono na poziomie 0,1 $mg \cdot kg^{-1}$ i jest ona ponadtrzykrotnie wyższa od wprowadzonej w przepisach krajowych z 2002 r. (5).

Monitoring chemizmu gleb ornych Polski

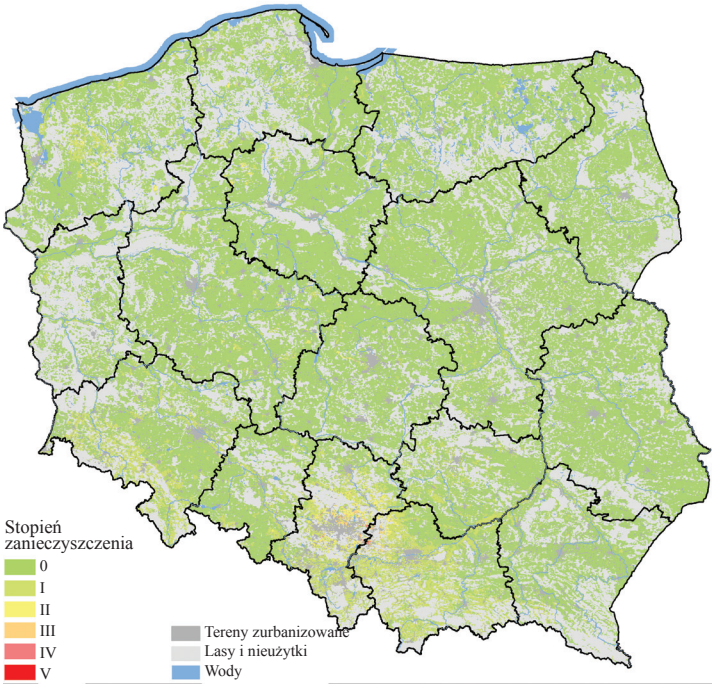
Od 1995 r. na terenie naszego kraju, w pięcioletnich odstępach czasu, są prowadzone badania właściwości gleb oraz zawartości różnych grup zanieczyszczeń. Pierwsza tura badań monitoringowych obejmowała analizę zawartości pięciu pierwiastków śladowych: Ni, Cd, Zn, Pb i Cu oraz sumę 13 WWA podczas gdy po dwudziestu latach od rozpoczęcia badań, w 2015 r. lista zanieczyszczeń oznaczanych w glebach użytkowanych rolniczo uwzględniała dwanaście metali i metaloid: Ba, Cr, Cd, Co, Sn, Zn, Mo, Pb, Ni, Cu, Hg i As, piętnaście indywidualnych WWA: naftalen, fluoren, fenantren, antracen, fluoranten, piren, bezno(a)antracen, chryzen, benzo(k)fluoranten, benzo(b)fluoranten, benzo(a)fluoranten, benzo(a)piren, dibenzo(a,h)antracen, indeno(1,2,3-c,d)piren oraz benzo(ghi)perylen; grupę pestycydów chloroorganicznych, w tym sumę p,p'DDE+p,p'DDD+p,p'DDT, a-HCH, b-HCH, g-HCH (lindan), aldrinę, deldrinę i endrinę oraz pestycydy związki nie chlorowe: maneb, atrazynę, carbofuran oraz carbaryl (29, 31).

Monitoring chemizmu gleb ornych Polski został ustanowiony po opublikowaniu mapy *World Map of the Status of Human-Induced Soil Degradation* (22), która wskazywała teren naszego kraju jako silnie zanieczyszczony pierwiastkami śladowymi. Przeprowadzone w latach 1992-1997 badania stanu zanieczyszczenia gleb użytkowanych rolniczo obejmujące ponad 48 600 próbek glebowych wykazały, że tylko około 2% z nich można uznać za silnie i bardzo silnie zanieczyszczone (rys. 1-3). Wykazano również, że występowanie wysokich stężeń m.in. Cd (rys. 1), Zn (rys. 2) i Pb (rys. 3) ma charakter lokalny i jest związane z działalnością przemysłową, w tym głównie górnictwem i hutnictwem metali nieżelaznych.

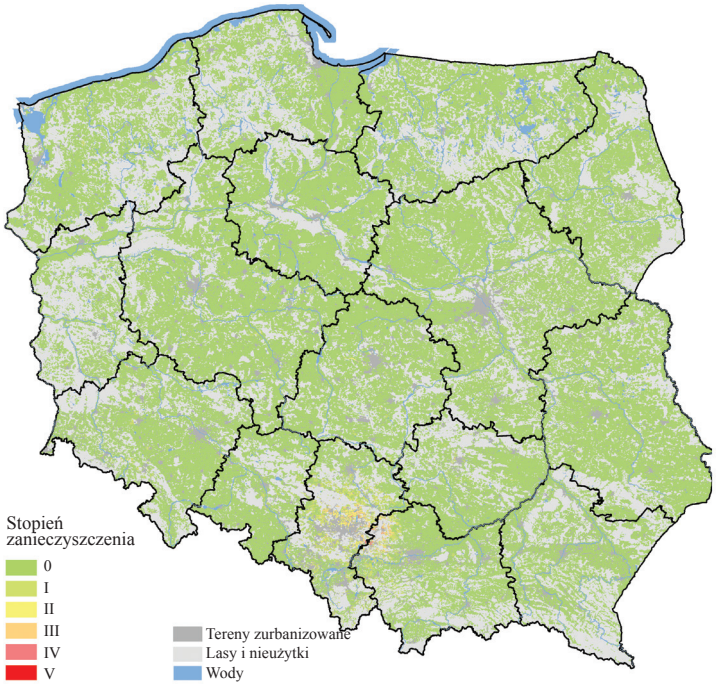
Na podstawie danych wynikowych z tego programu zlokalizowano na terenie kraju 216 punktów kontrolnych (rys. 4), z uwzględnieniem zróżnicowania pokrywy glebowej (typy, gatunki, rodzaje, kompleksy przydatności rolniczej, klasy bonitacyjne) oraz innych czynników środowiskowych, które mogą być przydatne w pozyskiwaniu informacji o stanie i zmianach właściwości zachodzących w glebach kraju (20, 30, 31, 39). Uwzględniono również rzeźbę terenu oraz występowanie obszarów ekologicznego zagrożenia, narażonych na gromadzenie się zanieczyszczeń w wyniku gospodarczej działalności człowieka.



Rys. 1. Przestrzenna ocena stanu zanieczyszczenia gleb użytkowanych rolniczo kadmem przeprowadzona na podstawie danych z lat 1992-1997 i kryteriów według Kabata-Pendias i in. (11)



Rys. 2. Przestrzenna ocena stanu zanieczyszczenia gleb użytkowanych rolniczo cynkiem przeprowadzona na podstawie danych z lat 1992-1997 i kryteriów według Kabata-Pendias i in. (11)



Rys. 3. Przestrzenna ocena stanu zanieczyszczenia gleb użytkowanych rolniczo ołowiem przeprowadzona na podstawie danych z lat 1992-1997 i kryteriów według Kabata-Pendias i in. (11)

Rys. 4. Przestrzenne rozmieszczenie 216 punktów pomiarowo-kontrolnych w programie Monitoring chemizmu gleb ornych Polski

Źródło: Siebielec i in., 2012 (31)

W każdym z ówczesnych 17 województw wyznaczono od 6 do 20 punktów kontrolnych (31, 39). W zdecydowanej większości przypadków lokalizacja tych punktów jest niezmienna od 1995 r. (30, 31). Procedura pobierania próbek glebowych oraz analizy chemiczne stosowane do oznaczeń zawartości pierwiastków śladowych i WWA są prowadzone w sposób jednolity dla całego kraju i nie uległy zasadniczej modyfikacji w okresie dwudziestu lat (30, 31).

Monitoring chemizmu gleb ornych Polski stanowi część składową i uzupełnia bazy danych o glebach gromadzone w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska (PMŚ). PMŚ ma m.in. systematycznie informować organy administracji i społeczeństwo o jakości elementów przyrodniczych i dotrzymywaniu standardów jakości środowiska określonych przepisami krajowymi.

Ocena zawartości Cd, Pb, Zn i BaP w roku 1995 i 2015

Porównania wartości średnich geometrycznych oraz wartości median analizowanych zanieczyszczeń oznaczonych w pierwszej turze oraz po upływie dwudziestu lat od ustanowienia Monitoringu chemizmu gleb ornych Polski wskazują, że stan zanieczyszczenia gleb użytkowanych rolniczo nie uległ zasadniczym zmianom. Zadawalający jest fakt, że z wyjątkiem Zn, w roku 2015 zanotowano niższe wartości maksymalne dla kadmu i ołowiu oraz BaP w porównaniu do roku 1995 (tab. 2). Jest to pozytywny wynik świadczący o skuteczności wdrażanych aktów prawnych w zakresie ochrony środowiska. Egzekwowanie tych przepisów spowodowało ograniczenie emisji przemysłowych do atmosfery, a tym samym dopływu niektórych grup zanieczyszczeń do gleb. Ważne znaczenie miały również przepisy dotyczące ograniczenia wprowadzania zanieczyszczeń w wyniku działalności rolniczej, w tym stosowania osadów ściekowych (3) czy środków ochrony roślin zawierających pierwiastki śladowe, tj. Zn i Pb, a także kontrola zawartości metali w nawozach i środkach poprawiających właściwości gleby i środkach wapnujących (4). Wyższą maksymalną zawartość Zn w 2015 r. w porównaniu z rokiem 1995 stwierdzono w próbce glebowej pobranej w Piekarach Śląskich (województwo śląskie) i interpretowano tę równicę (31) jako skutek historycznych emisji cynku przez przemysł hutniczy zlokalizowany na tym terenie.

Dla zmian zawartości BaP i innych WWA istotne znaczenie mają przepisy ograniczające niekontrolowane spalanie różnych rodzajów biomasy. Nie zostały jednak wprowadzone dodatkowe ograniczenia dopływu węglowodorów do gleb m.in. w wyniku działalności rolniczej na przykład kontrola zawartości tych związków w osadach ściekowych czy kompostach. Należy wspomnieć, że w środowisku glebowym zachodzą procesy rozkładu WWA przez drobnoustroje glebowe w drodze mineralizacji i kometabolizmu, co prowadzi do samooczyszczania się gleb z substancji szkodliwych. Spadek zawartości WWA w glebach, może być również spowodowany trwałym wbudowaniem tych związków w struktury materii organicznej i powstawaniem tzw. „pozostałości związanej zanieczyszczeń" (41, 42).

Tabela 2

Statystyczna ocena wyników zawartości kadmu, cynku i ołowiu oraz benzo(a)pirenu w powierzchniowej warstwie (0-20 cm) gleb ornych Polski w roku 1995 oraz 2015

Parametr oceny statystycznej	kadm		cynk		ołów		BaP	
	mg kg^{-1}						mg kg^{-1}	
	rok badań							
	1995	2015	1995	2015	1995	2015	1995	2015
mediana	0,24	0,15	33,3	32,0	12,4	11,8	0,028	0,023
średnia geometryczna	0,26	0,17	36	35,6	14,5	14,2	0,029	0,027
odchylenie standardowe	5,5	4,7	333	461	76,8	66,6	0,115	0,061
dolny kwartyl	0,17	0,11	23,2	21,7	9,6	9,4	0,015	0,014
górny kwartyl	0,36	0,24	49,2	52,1	19,1	18,8	0,063	0,044
minimum	0,07	0,02	7,8	5,9	3,9	4,6	0,003	0,005
maksimum	80,9	67,9	4916	6668	1050	857	1,420	0,713

Źródło: Terelak i in. (40) oraz Siebielec i in. (30).

Do oceny i porównania ilości przekroczeń dopuszczalnych zawartości analizowanych zanieczyszczeń w glebach, w roku 1995 oraz 2015 zastosowano aktualne przepisy krajowe (6), a wyniki tych analiz przedstawiono w tabeli 3. Tylko w przypadku cynku i kadmu odnotowano pojedyncze przypadki przekroczeń wartości granicznych, a udział procentowy gleb zanieczyszczonych w całym zbiorze danych był bardzo niski i nie przekraczał 1%. Dla benzo(a)pirenu większą liczbę przekroczeń zawartości dopuszczalnej (0,1 mg kg^{-1}) stwierdzono w 1995 r., natomiast w 2015 r. było ich prawie dwukrotnie mniej. Jednak w 2015 r. około 7% gleb zawierało nadmierne ilości BaP (tab. 3) co wskazuje, że w niektórych rejonach może wystąpić ryzyko narażenia środowiska i ludzi na oddziaływanie tego związku.

Tabela 3

Porównanie liczby oraz udziału procentowego w stosunku do całego zbioru danych (n=216) gleb niezanieczyszczonych i zanieczyszczonych Cd, Zn, Pb i BaP w roku 1995 oraz 2015, z uwzględnieniem Rozporządzenia Ministra Środowiska, Dz.U. poz. 1395 z 2016 r.

Kategoria gleb	kadm		cynk		ołów		BaP	
	zawartość dopuszczalna (mg·kg^{-1})							
	2-5		300-1000		100-500		0,1	
	rok badań							
	1995	2015	1995	2015	1995	2015	1995	2015
	liczba próbek glebowych (% całego zbioru danych)							
niezanieczyszczone	214 (99,1)	214 (99,1)	214 (99,1)	214 (99,1)	215 (99,5)	215 (99,5)	191 (88,4)	202 (93,5)
zanieczyszczone	2 (0,9)	2 (0,9)	2 (0,9)	2 (0,9)	1 (0,5)	1 (0,5)	25 (11,6)	14 (6,5)

Obecnie obowiązujące przepisy prawne (6) w przypadku rozpoznania występowania zanieczyszczenia umożliwiają przed podjęciem decyzji o zastosowaniu remediacji przeprowadzenie analizy ryzyka środowiskowego. Jest to nowe podejście i wysoce uzasadnione, ponieważ umożliwia wykonanie dodatkowych badań ekotoksykologicznych (15, 27) oraz analizę zawartości biodostępnych

i mobilnych form zanieczyszczeń (34). Badania nad biodostępnością na przykład pierwiastków śladowych (9, 14, 21, 32) wskazują, że udział biodostępnych form metali w glebach zanieczyszczonych jest bardzo zróżnicowany i zależy od właściwości gleb, w tym odczynu, zawartości węglanów, węgla organicznego i frakcji ilastej oraz właściwości PS. Zawartość biodostępnych WWA w glebach, a szczególnie związków hydrofobowych, zawierających ≥ 4 pierścieni w cząsteczce m.in. BaP jest bardzo niska (1, 8, 34) ze względu na sorpcję węglowodorów przez materię organiczną (8, 23, 34). Analiza biodostępnej frakcji zanieczyszczeń ma ważne znaczenie w ocenach środowiskowych. Niskie jej stężenie wskazuje na mniejsze realne ryzyko narażania środowiska glebowego i człowieka, ale też mniejszą efektywność biologicznych zabiegów remediacyjnych (1, 8, 34).

Wydaje się zasadne, że gleby o podwyższonych zawartościach zanieczyszczeń, ale charakteryzujące się niską biodostępnością substancji szkodliwych, można wykorzystywać pod uprawę roślin. Warto jednak wprowadzić pewne ograniczenia dotyczące ich doboru. W przypadku gleb zanieczyszczonych metalami należy polecać uprawę roślin przemysłowych oraz gatunków i odmian, które nie pobierają metali w znacznych ilościach, ale też kontrolować właściwości gleb, szczególnie odczyn, który jest głównym czynnikiem kształtującym mobilność i biodostępność większości PS.

Silne właściwości hydrofobowe oraz słaba rozpuszczalność w wodzie powodują, że BaP jest w niewielkim stopniu pobierany przez rośliny uprawne (37). Jednak uprawa niektórych z nich w glebach zanieczyszczonych tym związkiem powinna być ograniczona. BaP, podobnie jak inne węglowodory z grupy WWA, może ulegać sorpcji na korzeniach roślin. Ma to istotne znaczenie w przypadku roślin takich jak marchew, których korzenie posiadają kanały tłuszczowe ułatwiające przenikanie zanieczyszczeń organicznych (37). Uprawa roślin, których liście pokrywa gruba warstwa woskowej kutikuli jak na przykład rośliny kapustne czy szpinak również powinna zostać ograniczona przede wszystkim na obszarach narażonych na procesy erozji wietrznej. WWA zabsorbowane na cząstkach gleby osiadają na powierzchni liści i są trudne do usunięcia nawet w procesie wielokrotnego mycia (37).

Należy podkreślić, że badania monitoringowe produktów żywnościowych pochodzenia roślinnego prowadzone przez Zakład Badania Żywności i Przedmiotów Użytku, Narodowego Instytutu Zdrowia Publicznego - Państwowego Zakładu Higieny (NIZP-PZH) oraz Stacje Sanitarno-Epidemiologiczne (44) i inne ośrodki naukowe (33), wskazują, że stężenia Cd i Pb w żywności nie przekraczają zawartości dopuszczalnych. W naszym kraju zawartości BaP w produktach roślinnych nie podlega kontroli z urzędu. Monitoring zawartości tego związku jest prowadzony m.in. w wędzonych produktach pochodzenia zwierzęcego (24, 25).

Podsumowanie

Badania monitoringowe gleb użytkowanych rolniczo prowadzone na terenie naszego kraju od dwudziestu lat dostarczają kluczowych informacji na temat zawartości zanieczyszczeń, ich zmian w czasie oraz stanu innych właściwości gleb. Stanowią potwierdzenie, że zawartość substancji szkodliwych na przeważającym obszarze użytków rolnych jest niska i nie wpływa negatywnie na funkcje gleb oraz potencjał do produkcji wysokiej jakości żywności. W przypadku niektórych zanieczyszczeń jak kadm, ołów czy benzo(a)piren zanotowano zmniejszenie ich maksymalnych zawartości co wskazuje, że na obszarach najsilniej zanieczyszczonych sytuacja ulega stopniowej poprawie.

Wyniki monitoringu chemizmu gleb ornych Polski są udostępnione na stronie internetowej Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska, dlatego mają duże znaczenie dla kształtowania opinii publicznej w zakresie oceny jakości gleb oraz pośrednio bezpieczeństwa spożywanych produktów roślinnych. Natomiast wskazanie obszarów, na których znajdują się gleby zanieczyszczone pozwala na wdrożenie analizy ryzyka środowiskowego i zabiegów remediacyjnych oraz praktyk mitygacyjnych.

Niska zawartość zanieczyszczeń szkodliwych dla zdrowia człowieka w glebach naszego kraju powinna być sygnałem do wzmożonych działań, uzupełnionych o szeroką edukację społeczeństwa w zakresie ochrony gleb przed zanieczyszczeniem, pozwalającą na utrzymanie obecnego stanu dla przyszłych pokoleń.

Literatura

1. Cachada A., Pereira R., Ferreira d a Silva E., Duarte A.C.: The prediction of PAH bioavailability in soils using chemical methods: State of the art and future challenges. Sci. Total Environ., 2014, **472**: 463-480.
2. Dutch Target and Intervention Values: 2000 (the New Dutch List) https://www.esdat.net/Environmental%20Standards/Dutch/annexS_I2000Dutch%20Environmental%20Standards.pdf, (28.11.2018)
3. Dz.U. 2015 poz. 257: Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych, 2015.
4. Dz.U. Nr 147 2007 poz. 10.: Ustawa z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu, 2007 r.
5. Dz.U. nr 165, poz. 1359.: Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi.
6. Dz.U. poz. 1395: Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 września 2016 r. w sprawie sposobu prowadzenia oceny zanieczyszczenia powierzchni ziemi, 2016.
7. Dz.U. poz. 799: Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 13 kwietnia 2018 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy – Prawo ochrony środowiska, 2018.
8. Harmsen J.: Measuring bioavailability: from a scientific approach to standard methods. Journal of Environmental Quality, 2007**, 36**: 1420-1428.
9. Karczewska A.: Ochrona gleb i rekultywacja terenów zdegradowanych. Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, 2012, ss. 390.
10. Kabata-Pendias A., Piotrowska M., Motowicka-Terelak T., Maliszewska-Kordybach B., Filipiak K., Krakowiak A., Pietruch Cz.: Podstawy oceny chemicznego zanieczyszczenia gleb; metale ciężkie, siarka i WWA, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa, 1995, ss.41.
11. Kabata-Pendias A., Motowicka-Terelak T., Piotrowska M., Terelak H., Witek T.: Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką. Ramowe wytyczne dla rolnictwa. IUNG, Puławy 1993.

12. Kabata-Pendias, A.: Trace elements in soils and plants. CRC Press, Boca Raton, London, New York, Washington, D.C. 2011, ss. 413.
13. Kabata-Pendias A., Pendias H.: Biogeochemia pierwiastków śladowych. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1999, ss. 397.
14. Kicińska A., Smreczak B., Jadczyszyn J.: Soil bioavailability of cadmium, lead, and zinc in the areas of Zn-Pb ore mining and processing (Bukowno, Olkusz). Journal of Ecological Engineering. 2019, **20(1)**: 84-92.
15. Klimkowicz-Pawlas A.: Oddziaływanie wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych na siedliskową funkcję gleb. Monografie i rozprawy naukowe, 2009, **22**: ss.92.
16. Maliszewska-Kordybach B., Klimkowicz-Pawlas A., Smreczak B.: Relationship between the properties of mineral soils and the level of accumulation of persistent organic contaminants; example of polycyclic aromatic hydrocarbons. In: Physical, chemical and biological process in soils, L.W. Szajdak and A.K. Karabanov (eds). Institute for Agricultural and Forest Environment, Polish Academy of Sciences, Poznań 2010b, 345-358.
17. Maliszewska-Kordybach B.: Persistent organic contaminants in the environment: PAHs as a case study. In: Bioavailability of organic xenobiotics in the environment, J.C. Block, V.V. Goncharuk and P. Baveye (eds). NATO ASI Series. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 1999: 3-37.
18. Maliszewska-Kordybach B.: Trwałość wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) w glebie. Rozprawa habilitacyjna, IUNG Puławy, 1993, ss. 81.
19. Maliszewska-Kordybach B. "Polycyclic aromatic hydrocarbons in agricultural soils in Poland; preliminary proposals for the criteria for the evaluation of the level of soil pollution". Appl.. Geochem, 1996, **11**: 121-127.
20. Maliszewska-Kordybach B., Smreczak B., Klimkowicz-Pawlas A.: Concentrations, sources and spatial distribution of individual polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in agricultural soils in the Eastern part of the EU; Poland as a case study. Sci. Total Environ. 2009, **407(12)**: 3746-53.
21. Neu S. Müller I., Brackhage C., Galazka R., Siebielec G., Puschenreiter M., Dudel E.G: Trace elements bioavailability to Triticum aestivum and Dendrobaena veneta in a multielement-contaminated agricultural soil amended with drinking water treatment residues. Journal of Soil and Sediments, 2017, **18(6)**: 2259-2270.
22. Oldeman L.R., Hakkeling R.T.A., Sombroek W.G.: World map of the status of human induced soil degradation. An Explanatory note. 1990, http://www.isric.org/sites/default/files/ExplanNote_1.pdf (28.11.2018).
23. Reid B.J., Jones K.C., Semple K.T.: Bioavailability of persistent organic pollutants in soils and sediments – perspective on mechanisms, consequences and assessment. Environ. Poll., 2000, **108**: 103-112.
24. Rozporządzenie Komisji (UE) nr 420/2011 z dnia 29 kwietnia 2011 r. zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006 ustalające najwyższe dopuszczalne poziomy niektórych zanieczyszczeń w środkach spożywczych. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej. Komisja Europejska, 2011.
25. Rozporządzenie Komisji (UE) nr 488/2014 z dnia 12 maja 2014 r. zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006 w odniesieniu do najwyższych dopuszczalnych poziomów kadmu w środkach spożywczych. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej. Komisja Europejska. (2014
26. Suska-Malawska M.: Rola torfowisk w procesie akumulacji i archiwizacji wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA). Rozprawa habilitacyjna, Wydział Biologii Uniwersytetu Warszawskiego, 2008, ss. 48.
27. Suszek-Łopatka B.: Wpływ temperatury i wilgotności gleby na ekotoksykologiczne oddziaływanie fenantrenu. Praca doktorska, IUNG-PIB Puławy, 2014, ss. 149.
28. Siebielec G., Chaney R. L., Kukier U.: Liming to remediate Ni contaminated soils with diverse properties and a wide range of Ni concentration. Plant and Soil, 2007, **299**: 117-130.
29. Siebielec G.: Stały monitoring gleb użytków rolnych Polski. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2017, **51(5)**: 57-72.
30. Siebielec G., Smreczak B., Klimkowicz-Pawlas A., Kowalik M., Kaczyński R., Koza P., A. Ukalska-Jaruga, M. Łysiak, U. Wójtowicz, L. Poręba, E. Chabros. : Raport z III etapu realizacji zamówienia „Monitoring Chemizmu Gleb Ornych w Polsce w latach 2015-2017. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, IUNG-PIB, 2017, pp. 194

31. Siebielec G., Smreczak B., Klimkowicz-Pawlas A., Maliszewska-Kordybach B., Terelak H., Koza P., Łysiak M., Gałązka R., Pecio M., Suszek B., Miturski T., Hryńczuk B.: Monitoring chemizmu gleb ornych w Polsce w latach 2010-2012. Biblioteka Monitoringu Środowiska. Warszawa, 2012, ss. 196.
32. Siebielec G., Stuczyński T., Korzeniowska-Pucułek R.: Metal bioavailability in long term contaminated soils of Tarnowskie Gory area. Polish Journal of Environmental Studies, 2006, **15**: 121-129.
33. Siebielec S., Siebielec G., Samolińska W.: Zawartość ołowiu i kadmu w wybranych warzywach województwa lubelskiego. Nauka Przyr. Technol., 2018, **12**, **2**: 237–247. http://dx.doi.org/ 10.17306/J.NPT.00237.
34. Smreczak B.: Biodostępność wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) w glebach. Monografie i Rozprawy Naukowe IUNG-PIB, 2018, 56: ss.107.
35. Smreczak B., Jadczyszyn J.: Badania właściwości gleb użytkowanych rolniczo w latach 1992-1997 i ich wykorzystanie w ocenach rolniczej przestrzeni produkcyjnej. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2017, **(51)5**: 41-58.
36. Smreczak B., Jadczyszyn J. Klimkowicz-Pawlas A., Ukalska-Jaruga A.: Stan zanieczyszczenia gleb pierwiastkami śladowymi oraz struktura użytkowania gruntów w rejonie Olkusza. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2015, 46(20): 125-141.
37. Smreczak B.: Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) w układach gleba-roślina wyższa. Soil Science Annual - Roczniki Gleboznawcze, 1997,**XLVIII 3/4**: 37-47.
38. Tang J., Liste H.H., Alexander M.: Chemical assays of availability to earthworms of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil. Chemosphere. 2002, **48(1)**: 35-42.
39. Terelak H., Motowicka-Terelak T., Stuczyński T., Pietruch C.: Pierwiastki śladowe (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) w glebach użytków rolnych Polski. Biblioteka Monitoringu Środowiska. Warszawa 2000, ss . 69.
40. Terelak H., Motowicka-Terelak T., Pondel H., Maliszewska-Kordybach B., Pietruch Cz.: Monitoring chemizmu gleb ornych Polski – Program badań i wyniki 1995 i 2000. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa 2002. ss. 146.
41. Ukalska-Jaruga A., Klimkowicz-Pawlas A., Smreczak B: Soil organic matter composition as a factor affecting the accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons. J. Soils and Sediments, 2018, DOI: 10.1007/s11368-018-2214-x
42. Ukalska-Jaruga A., Smreczak B., Klimkowicz-Pawlas A., Maliszewska-Kordybach B.: Rola materii organicznej w procesach akumulacji trwałych zanieczyszczeń organicznych (TZO) w glebach. Pol. J. Agron., 2015, **20**: 15-27.
43. US-EPA: Priority Pollutant List. 20017 Protokół dostępu: https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/priority-pollutant-list-epa.pdf (18.01.2018)
44. Wojciechowska-Mazurek M., Starska K., Brulińska-Ostrowska E., Plewa M., Biernat U., Karłowski K.: Monitoring zanieczyszczenia żywności pierwiastkami szkodliwymi dla zdrowia Część I. Produkty zbożowe pszenne, warzywne, cukiernicze oraz produkty dla niemowląt i dzieci (Rok 2004). Roczn. PZH 2008, 59, Nr 3, 251-266.
45. Zakrzewski S.F., Podstawy toksykologii środowiska, Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa, 2000, wyd.3, ss 281.

Podziękowania

Autorzy składają podziękowania i wyrazy uznania wszystkim osobom zaangażowanym w realizację programu Monitoring chemizmu gleb ornych Polski w latach 1995-2015.

Adres do korespondencji:

dr Bożena Smreczak
Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. 81 4786 918
e-mail: bozenas@iung.pulawy.pl

W serii wydawniczej **„RAPORTY PIB”**, a od 2007 r. **„STUDIA I RAPORTY IUNG-PIB”** ukazały się następujące pozycje:

1. *Wybrane aspekty agrochemicznych badań gleby.* Puławy, 2006.

2. *Zasady wprowadzania nawozów do obrotu.* Puławy, 2006.

3. *Regionalne zróżnicowanie produkcji rolniczej w Polsce*. Puławy, 2006.

4. *Monitoring skutków środowiskowych planu rozwoju obszarów wiejskich.* Puławy, 2007.

5. *Sprawdzenie przydatności wskaźników do oceny zrównoważonego gospodarowania zasobami środowiska rolniczego w wybranych gospodarstwach, gminach i województwach.* Puławy, 2007.

6. *Możliwości rozwoju rolnictwa ekologicznego w Polsce.* Puławy, 2007.

7. *Współczesne uwarunkowania organizacji produkcji w gospodarstwach rolniczych.* Puławy, 2007.

8. *Efektywne i bezpieczne metody regulacji zachwaszczenia, nawożenia i uprawy roli.* Puławy, 2007.

9. *Wybrane elementy technologii produkcji roślinnej.* Puławy, 2007.

10. *Problem erozji gleb w procesie przemian strukturalnych na obszarach wiejskich.* Puławy, 2008.

11. *Uprawa roślin energetycznych a wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce.* Puławy, 2008.

12. *Wybrane zagadnienia systemów informacji przestrzennej i obszarów problemowych rolnictwa w Polsce*. Puławy, 2008.

13. *Tworzenie postępu biologicznego w hodowli tytoniu i chmielu.* Puławy, 2008.

14. *Kierunki zmian w produkcji roślinnej w Polsce do roku 2020.* Puławy, 2009.

15. *Wybrane elementy regionalnego zróżnicowania rolnictwa w Polsce.* Puławy, 2009.

16. *Systemy wspomagania decyzji w zrównoważonej produkcji roślinnej.* Puławy, 2009.

17. *Stan i kierunki zmian w produkcji rolniczej (wybrane zagadnienia).* Puławy, 2009.

18. *Produkcyjne i środowiskowe aspekty współczesnych metod nawożenia i regulacji zachwaszczenia.* Puławy, 2009.

19. *Oddziaływanie rolnictwa na środowisko przyrodnicze w warunkach zmian klimatu.* Puławy, 2010.

20. *Ocena zrównoważenia gospodarowania zasobami środowiska rolniczego w wybranych gospodarstwach, gminach, powiatach i województwach.* Puławy, 2010.

21. *Możliwości rozwoju obszarów problemowych rolnictwa (OPR) w świetle PROW 2007–2013.* Puławy, 2010.

22. *Możliwości rozwoju gospodarstw o różnych kierunkach produkcji rolniczej w Polsce.* Puławy, 2010.

23. *Związki fitogeniczne jako naturalna alternatywa antybiotykowych promotorów wzrostu.* Puławy, 2010.

24. *Wybrane aspekty przemian strukturalnych na obszarach wiejskich*. Puławy, 2010.

25. *Stan obecny i perspektywy nawożenia roślin w Polsce w aspekcie regulacji prawnych.* Puławy, 2010.

26. *Stan obecny i perspektywy rozwoju rolnictwa ekologicznego w Polsce.* Puławy, 2010.

27(1). *Środowiskowe skutki działalności rolniczej i wdrażania PROW na obszarach problemowych rolnictwa.* Puławy, 2011.

28(2). *Techniki i technologie stosowane w produkcji roślinnej a środowisko przyrodnicze.* Puławy, 2012.

29(3). *Problemy zrównoważonego gospodarowania w produkcji rolniczej*. Puławy, 2012.

30(4). *Doskonalenie integrowanych technologii produkcji zbóż jarych i roślin pastewnych ze szczególnym uwzględnieniem początkowych elementów agrotechniki*. Puławy, 2012.

31(5). *Rola badań naukowych w kształtowaniu postępu w produkcji chmielu i tytoniu*. Puławy, 2012.

32(6). *Wybrane aspekty zrównoważonego rozwoju i specjalizacji gospodarstw rolniczych.* Puławy, 2013

33(7). *Działalność Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa-PIB w Puławach w zakresie wspierania doradztwa i praktyki rolniczej*. Puławy, 2013.

34(8). *Problemy gospodarki nawozowej w Polsce*. Puławy, 2013.

35(9). *Zagrożenia dla prawidłowego funkcjonowania gleb użytkowanych rolniczo – wybrane zagadnienia.* Puławy, 2013.

36(10). *Zmiany w technologiach produkcji roślinnej – oceny i wpływ na środowisko rolnicze.* Puławy, 2014.

37(11). *Dobre praktyki w nawożeniu.* Puławy, 2014.

38(12). *Jakość informacji w systemach wspomagania decyzji.* Puławy, 2014.

39(13). *Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii pochodzenia rolniczego i ich wpływ na środowisko.* Puławy, 2014.

40(14). *Wybrane problemy rolnictwa polskiego z uwzględnieniem stanu jego zrównoważenia.* Puławy, 2014.

41(15). *Technologie produkcji zbóż i roślin pastewnych warunkujące wysoki plon i dobrą jakość.* Puławy, 2014.

42(16). *Podstawy nowoczesnego doradztwa nawozowego w Polsce.* Puławy, 2015.

43(17). *Wybrane problemy produkcji rolniczej z uwzględnieniem aspektu dóbr publicznych.* Puławy, 2015.

44(18). *Wybrane zagadnienia produkcji roślinnej w Polsce.* Puławy, 2015.

45(19). *Kształtowanie żyzności gleby*. Puławy, 2015.

46(20). *Wybrane zagadnienia związane z ochroną gleb przed degradacją*. Puławy, 2015.

47(1). *Problemy produkcji rolniczej w Polsce w kontekście ich oddziaływania na środowisko.* Puławy, 2016.

48(2). *Innowacje w nawożeniu.* Puławy, 2016.

49(3). *Siedliskowe i agrotechniczne uwarunkowania produkcji roślinnej w Polsce*. Puławy, 2016.

50(4). *Technologie produkcji roślinnej w warunkach zmieniającego sie klimatu*. Puławy, 2016.

51(5). *Krajowe bazy danych o glebach*. Puławy, 2017.

52(6). *Redukcja emisji gazów cieplarnianych i amoniaku oraz metody adaptacji do zmian klimatu (wybrane zagadnienia)*. Puławy, 2017.

53(7). *Nawożenie a środowisko*. Puławy, 2017.

54(8). *Jakość gleb użytkowanych rolniczo i wskaźniki jej oceny.* Puławy, 2017.

55(9). *Uwarunkowania i kierunki zmian produkcji rolniczej w Polsce*. Puławy, 2018.

56(10). *Aktulne problemy nawożenia*. Puławy, 2018.

57(11). *Technologie produkcji roślinnej w warunkach zmieniającego się klimatu*. Puławy, 2018

WSKAZÓWKI DLA AUTORÓW

W serii wydawniczej **„STUDIA I RAPORTY IUNG-PIB”** publikowane są recenzowane prace z zakresu agronomii oraz ochrony i kształtowania środowiska rolniczego, wykonane w ramach zadań programów wieloletnich pn. „Kształtowanie środowiska rolniczego Polski oraz zrównoważony rozwój produkcji rolniczej” (2005-2010) oraz „Wspieranie działań w zakresie kształtowania środowiska rolniczego i zrównoważonego rozwoju produkcji rolniczej w Polsce” (2011-2015). W zeszytach problemowych o charakterze monografii, wydawanych w ramach tej serii, mogą być zamieszczane również prace autorów spoza IUNG-PIB, które merytorycznie mieszczą się w tematyce zadań programu wieloletniego. **Publikowane są prace problemowe, głównie mające charakter przeglądowy, z podkreśleniem znaczenia omawianych zagadnień dla rolnictwa polskiego.**

Wydruk tekstu do recenzji:
czcionka 12 p., z odstępem 1,5-wierszowym.

Przygotowanie do druku:
- tekst i tabele w programie Word, wersja 6.0 lub wyższa
- czcionka – Times New Roman
- układ pracy: słowa kluczowe, wstęp, wyniki i dyskusja bądź omówienie wyników, podsumowanie lub wnioski, literatura

tekst
- czcionka – 11 p. (spis pozycji literatury – 9 p.)
- wcięcie akapitowe – 0,5 cm

tabele
- podział na wiersze i kolumny (z funkcji tworzenia tabel)
- szerokość dokładnie 13 cm (tabele w pionie) lub 19 cm (tabele w poziomie)
- czcionka 9 p., pojedyncze odstępy międzywierszowe
- pod tabelą przypis ze wskazaniem źródła danych (autorstwa)

rysunki
- czarno-białe
- wykresy w programie Word lub Excel
- wymiary w zakresie 13 cm × 19 cm
- w podpisach czcionka 9 p.
- na płycie lub innym nośniku w oddzielnych plikach
- pod rysunkiem przypis ze wskazaniem źródła danych (autorstwa)

jednostki miary
- system SI
- jednostki zapisywać potęgowo (np. $t \cdot ha^{-1}$)

literatura
- spis literatury na końcu pracy w układzie alfabetycznym wg nazwisk autorów, w kolejności: nazwisko (pismo rozstrzelone), pierwsza litera imienia, tytuł pracy, miejsce publikacji: tytuł wydawnictwa (wg ogólnie przyjętych skrótów tytułów czasopism), rok, numer (pismo pogrubione), strony,
- cytowanie w tekście – jako numer pozycji ze spisu literatury (w nawiasach okrągłych) lub dodatkowo z nazwiskiem autora (pismo rozstrzelone).

Pracę do recenzji należy złożyć w 1 egzemplarzu. Po recenzji oryginalny egzemplarz recenzowany złożyć/przesłać do Redakcji, a ostateczną wersję pracy, uwzględniającą uwagi recenzenta i redaktora, przesłać e-mailem.

Dane kontaktowe:
mgr Ewa Decka-Cywińska
Dział Upowszechniania i Wydawnictw IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
e-mail: edecka@iung.pulawy.pl