

Rafał Wawer, Eugeniusz Nowocień

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

OCHRONA RETENCYJNOŚCI GLEB.
EROZJA WODNA I WIETRZNA W POLSCE*

Słowa kluczowe: erozja gleb, melioracje przeciwerozyjne, ochrona gleb

Wstęp

W latach 80. ubiegłego stulecia badania przeprowadzone w wielu ośrodkach naukowych wykazały, że na wszystkich kontynentach obniża się produktywność gleb użytkowanych rolniczo. Tę niepokojącą prognozę zmian środowiska przyrodniczego podjęła i upowszechniła organizacja FAO. Za jedną z głównych przyczyn obniżania się produktywności gleb uznano erozję wodną, a w krajach tropikalnych erozję wietrzną (10, 14). W różnych strefach geograficznych na kuli ziemskiej podejmowane są odpowiednie kierunki działań zapewniające rolnictwu trwałość i produktywność. W strefach klimatycznych zagrożonych suszą i erozją wietrzną upowszechnia się zadrzewienia przydrożne i śródpolne (3, 6, 20, 21, 22, 44, 61), a w terenach degradowanych przez erozję wodną stosuje się zabiegi techniczne (22, 61), fitomelioracyjne (3, 21, 22, 41, 58, 60, 61), agromelioracyjne (3, 21, 28, 61), agrotechniczne (9, 21, 61) i urzędzeniowo-rolne (21, 22, 57), ukierunkowane zwłaszcza na zwiększenie retencyjności gruntów i ograniczenie powierzchniowych spływów wody ze stoków.

O rozmiarach degradowania świadczą średnie roczne straty gleby, które dla Polski oszacowano na $76 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$ wobec $84,7 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$ w Europie (18, 19), przy regionalnym zróżnicowaniu od $2,7 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$ na Nizinach Środkowopolskich do $280 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$ w Karpatach Fliszowych (29). Dla porównania straty te na innych kontynentach przedstawiają się następująco: Afryka, Ameryka Południowa i Antyle – ok. $700 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$, Azja – ok. $600 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$, Ameryka Północna i Środkowa – ok. $500 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$, Australia – ok. $300 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$ (18).

*Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.2. pt. „Kształtowanie retencji gleb jako elementu przeciwdziałania suszy rolniczej i racjonalnej gospodarki wodnej” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2023 r.

W Polsce najbardziej negatywne skutki przyrodnicze i gospodarcze są powodowane przez erozję wodną powierzchniową (fot.1) i erozję wązową (fot. 2) (1, 2, 15, 16, 18, 19, 27, 30, 31, 38, 39, 40, 47, 48). Erozja wietrzna (fot. 3) chociaż występuje powszechnie, to w znacznie mniejszym stopniu degraduje gleby niż erozja wodna (16, 17, 18, 19, 38). Lokalnie dewastację gruntów powodują również ruchy mas ziemnych, zwłaszcza osuwiska (21, 22, 34, 35, 36, 37, 52, 53, 54, 61).



Fot. 1. Pole zniszczone przez erozję wodną powierzchniową liniową podczas jednej ulew (fot. R. Wawer)



Fot. 2. Zniszczone pole pocięte wązami podczas jednej ulew (fot. Józefaciukowie)



Fot. 3. Odsłonięta gleba narażona na erozję wietrzną.
Wiosenna susza w kwietniu 2019 r. na glebie po ziębli (fot. R. Wawer)

Erozja wodna powierzchniowa

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.

Przeprowadzone analizy potencjalnego zagrożenia erozją wodną (17) wykazały, że ok. 29% obszaru Polski, w tym 21% użytków rolnych, głównie gruntów ornych i ok. 8% powierzchni lasów jest zagrożonych erozją wodną (tab. 1), w tym silną – 4%, średnią – 11%, a słabą – 14% (18). Analiza erozji wodnej aktualnej (56) wskazuje na znacznie niższy udział obszarów zagrożonych najintensywniejszymi stopniami erozji, co jest wynikiem korzystnego układu użytków, przede wszystkim porzucenia użytkowania ornego stromych stoków. Ze względu na niską rozdzielczość mapy użytkowania terenu CORINE Land Cover 2000 w dalszej części pracy pozostaniemy przy wskaźniku potencjalnego zagrożenia erozją.

Najsilniej zagrożone krainy fizjograficzne to: Beskid Żywiecki w woj. śląskim, Góry Świętokrzyskie i Wyżyna Sandomierska w woj. świętokrzyskim, Rostocze i centralny pas Wyżyny Lubelskiej w woj. lubelskim oraz Sudety w woj. dolnośląskim. Wymienione województwa są objęte drugim stopniem pilności ochrony przeciwo-erozyjnej 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 (tab. 1).

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 góryste krainy karpackie znajdujące się w południowej części województw podkarpackiego, małopolskiego i śląskiego (7, 8, 11, 12, 13). Potencjalna erozja gleb o stopniu silnym i średnim występuje na powierzchni krain: od ok. 80% w Tatrach i Beskidach Zachodnich, ok. 60% w Bieszczadach i na Podhalu, do ok. 50% w Beskidach Środkowych. Silnie zagrożone są Sudety (4, 6), gdzie erozja silna i średnia występuje na 45% całości obszaru. Takie zagrożenie przez erozję wodną regionów 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 ok. 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 pseudobelicowe i gleby belicowe utworzone z lessów i utworów lessowatych, kompleksu pszennego górskiego. W części południowej wprawdzie przeważa typ gleb pseudobelicowych i gleb brunatnych wylugowanych utworzonych 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 Rostoczem (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 Pojezierza Suwalskie i Wschodniopomorskie w stopniu silnym.

Potencjalnie najbardziej zagrożone erozją wodną powierzchnią jest woj. małopolskie – ok. 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 ok. 11%, a w stopniu słabym na 8% obszaru województwa. Głównie jest zagrożona cała południowa część województwa, przy czym w Bieszczadach i na pogórzu Karpat 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.

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.

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

Tabela 1

Potencjalne zagrożenie powierzchniową erozją wodną gleb w Polsce według województw (21, 23)

Lp.	Województwo	Pow. ogólna km ²	Zagrożenie erozją w stopniu											
			1 – słabym				2 – średnim				3 – silnym			
			UR		Ls		UR		Ls		UR		Ls	
			km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
1.	dolnośląskie	19947,8	924,4	9,6	990,0	5,0	1361,5	6,8	754,2	3,8	289,7	1,5	346,1	1,7
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
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
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
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
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
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
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
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
10.	podlaskie	20179,6	2836,1	14,0	692,5	3,4	488,9	7,4	479,2	2,4	51,2	0,2	13,2	0,1
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
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
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
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
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
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
	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

Do 1. stopnia pilności przeciwerozynnej ochrony w poszczególnych województwach należą powiaty:

Dolnośląskim – Jelenia Góra, Kłodzko, Lubań, Wałbrzych; **Lubelskim** – Hrubieszów, Janów Lubelski, Krasnostaw, Krasnik, Lublin, Świdnik, Zamość;
Małopolskim – Bochnia, Chrzanów, Gorlice, Kraków, Limanowa, Miechów, Mysłenice, Nowy Sącz, Nowy Targ, Olkusz, Proszowice, Sucha Beskidzka, Tarnów, Tatrzański, Wadowice, Wieliczka; **Podkarpackim** – Bieszczadzki, Brzozowski, Dębica, Jasło, Krosno, Przemyśl, Ropczycko-Sędziszowski, Rzeszów, Sanok, Strzyżów; **Podlaskim** – Suwałki; **Pomorskim** – Bytów, Gdynia, Kartuz, Kościerzyna, Lębork, Sopot, Wejherowo; **Śląskim** – Bielsko Biala, Bytom, Cieszyń, Jastrzębie Zdrój, Jaworzno, Wodzisław Śląski, Żywiec; **Świętokrzyskim** – Kazimierza Wielka, Opatów, Ostrowiec Świętokrzyski, Sandomierz, Starachowice; **Warmińsko-Mazurskim** – Nowe Miasto Lubawskie, Olecko

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

Najbardziej rozwiniętą sieć wąwozów ma województwo małopolskie, gdzie wąwozy występują na ok. 53% obszaru. Wprawdzie największy obszar (25%) zajmuje erozja wąwozowa średnia o gęstości wąwozów $0,5\text{--}1\text{ km}\cdot\text{km}^{-2}$, to jednak na 14% obszaru występuje erozja silna o gęstości wąwozów $1\text{--}2\text{ km}\cdot\text{km}^{-2}$, a na powyżej 1% obszaru – erozja bardzo silna o gęstości wąwozów powyżej $2\text{ km}\cdot\text{km}^{-2}$. 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 $0,5\text{ km}\cdot\text{km}^{-2}$, w tym aż 14% ma gęstość wąwozów $1\text{--}2\text{ km}\cdot\text{km}^{-2}$ (podobnie jak w woj. małopolskim). Szczególny problem stwarza erozja wąwozowa w województwie lubelskim. Ma ona bowiem największy (spośród wszystkich województw) obszar (około 3%) rozczłonkowany wąwozami o gęstości powyżej $2\text{ km}\cdot\text{km}^{-2}$. Oprócz tego powyżej 4% obszaru ma gęstość wąwozów $1\text{--}2\text{ km}\cdot\text{km}^{-2}$, 7% obszaru gęstość $0,5\text{--}1\text{ km}\cdot\text{km}^{-2}$, a tylko 6% obszaru gęstość poniżej $0,5\text{ km}\cdot\text{km}^{-2}$.

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

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

Połowę ogólnej sieci wąwozowej w Polsce stanowią wąwozy drogowe, których łączna długość wynosi 19 100 km, a powierzchnia ok. 17% ogólnej powierzchni wąwozów. Najwięcej wąwozów drogowych występuje w południowo-wschodniej i południowo-zachodniej części kraju, zwłaszcza w wyżynnych terenach lessowych. Największą gęstością wąwozów drogowych, powyżej $0,5\text{ km}\cdot\text{km}^{-2}$, charakteryzują się województwa: podkarpackie, małopolskie, dolnośląskie i świętokrzyskie.

Tabela 2

Erozja wąwózowa w Polsce według województw

Lp.	Województwo	Pow. ogólna wojew. km ²	Erozja wąwózowa w stopniu																				
			słabym			średnim			silnym			bardzo silnym			średnim-bardzo silnym								
			UR		Ls	UR		Ls	UR		Ls	UR		Ls	UR		Ls						
			km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%					
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	
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.	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	
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	
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	
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	
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	
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	
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	
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	
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	
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	
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	
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	
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	
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

Do 1. stopnia pilności zagospodarowania wawozów w poszczególnych województwach należą powiaty:

Dolnośląskim – Jelenia Góra, Kamienna Góra, Kłodzko, Lwówek Śląski, Ząbkowice Śląskie; **Lubelskim** – Janów Lubelski, Krasnostaw, 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** – Kartuski; **Śląskim** – Cieszyń, Jastrzębie Zdrój, Wodzisław; **Świętokrzyskim** – Kazimierza Wielka, Ostrowiec Świętokrzyski, Pińczów, Sandomierz

Źródło: Józefaciuk i Józefaciuk, 1992b (19); Józefaciuk i in., 2016 (24)

Erozja wietrzna

Przeprowadzone w IUNG-PIB badania wykazały (25), że ok. 36% obszaru Polski zagrożonych jest erozją wietrzną, w stopniu silnym i bardzo silnym – 37,5%, średnim – 14,3%, a w stopniu słabym – 24,1% (tab. 3).

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).

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 tabelaryczne 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. ISBN 978-83-7562-181-5 (23).
2. Józefaciuk A., Nowocień E., Wawer R., 2016. Rozwój, skutki i występowanie erozji wąwozowej w Polsce oraz metody zagospodarowania wąwozów. Monografie i Rozprawy Naukowe, IUNG-PIB, nr 48, ss. 376. ISBN 978-83-7562-208-9 (24).
3. Józefaciuk A., Nowocień E., Wawer R., 2018. Erozja wietrzna w Polsce – występowanie, skutki, działania zaradcze. Monografie i Rozprawy Naukowe, IUNG-PIB, nr 57, ss. 224. ISBN 978-83-7562-286-7 (25).

Tabela 3

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

Województwo	UR	Zagrożenie erozją wietrzną - stopnie											
		0		1		2		3		4		5	
		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
Kujawsko-pomorskie	1421647	228361	16,1	90964	6,4	355923	25,0	199657	14,0	455174	32,0	91568	6,4
Lubelskie	1927895	80047	4,2	221981	11,5	897866	46,6	213392	11,1	475489	24,7	39120	2,0
Lubuskie	762272	93976	12,3	89829	11,8	87829	11,5	143380	18,8	315658	41,4	31602	4,1
Łódzkie	1468426	32219	2,2	92668	6,3	313194	21,3	221073	15,1	650934	44,3	158338	10,8
Małopolskie	894452	267827	29,9	148379	16,6	392188	43,8	29143	3,3	53703	6,0	3212	0,4
Mazowieckie	2864924	158188	5,5	216257	7,5	482440	16,8	513957	17,9	1192167	41,6	301915	10,5
Opolskie	663461	249367	37,6	37718	5,7	199339	30,0	66044	10,0	102647	15,5	8345	1,3
Podkarpackie	887868	183766	20,7	53317	6,0	430384	48,5	44376	5,0	164038	18,5	11987	1,4
Podlaskie	1438026	150617	10,5	193479	13,5	255619	17,8	205231	14,3	588972	41,0	44107	3,1
Pomorskie	1167056	227509	19,5	148368	12,7	155397	13,3	202346	17,3	377960	32,4	55477	4,8
Świętokrzyskie	776739	90735	11,7	106379	13,7	276951	35,7	68769	8,9	177167	22,8	56737	7,3
Śląskie	641191	129103	20,1	103026	16,1	138390	21,6	67614	10,5	176710	27,6	26348	4,1
Warmińsko-mazurskie	1595297	500703	31,4	197536	12,4	258354	16,2	191980	12,0	412523	25,9	34202	2,1
Wielkopolskie	2521666	73327	2,9	186483	7,4	304752	12,1	560967	22,2	1295180	51,4	100956	4,0
Zachodniopomorskie	1447427	156482	10,8	179019	12,4	294324	20,3	273381	18,9	495883	34,3	48338	3,3
UR	21737691	3061575	14,1	2190664	10,1	5234837	24,1	3101593	14,3	7130776	32,8	1018260	4,7
Polska	31267900		9,8		7,0		16,7		9,9		22,8		3,3
													36,0

Źródło: Józefaciuk i in., 2018 (25)

Praktyki ochronne zapobiegające erozji wodnej – melioracje przeciwerozyjne

Obszary zagrożone erozją gleb, zwłaszcza tereny z erozją średnią, silną i bardzo silną, wymagają stosowania specjalnych działań prewencyjnych i rehabilitacyjnych, jakimi są melioracje przeciwerozyjne.

Melioracje przeciwerozyjne to nie tylko ochrona gleb i gruntów przed erozyjną degradacją i dewastacją, ale równocześnie najtańszy sposób walki z suszą, „stepowaniem” i powodziami.

Główne cele melioracji przeciwerozyjnych to:

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

Podstawowymi zabiegami przeciwerozyjnymi są (23, 61):

- rozmieszczenie przestrzenne użytków produkcyjnych i ochronnych stosownie do rzeźby terenu;
- wprowadzenie układu działek i pól umożliwiającego poprzecznostokową (warstwicową) uprawę roli;
- stosowanie agrotechniki przeciwerozyjnej;
- planowanie dróg rolniczych z uwzględnieniem rzeźby terenu i ściśle skoordynowane z układem działek i pól oraz umacnianie erodowanych odcinków dróg;
- rekultywacja i zagospodarowanie nieużytków erozyjnych (np. wąwozów, stromych zboczy) oraz likwidowanie trudnej mikrorzeźby terenu;
- stosowanie urządzeń do rozpraszania i odprowadzania powierzchniowych spływów wody.

Każdy z wymienionych zabiegów wykazuje określone działanie ochronne, lecz najlepsze efekty uzyskuje się przy ich kompleksowym stosowaniu. Oczywiście udział poszczególnych zabiegów w systemie kompleksowym zależy od rodzaju form występowania i nasilenia erozji oraz warunków przyrodniczych i sposobu gospodarowania ziemią.

Pozytywne oddziaływanie zabiegów przeciwerozyjnych na produkcję rolną jest następujące:

- zapobieganie obniżaniu się urodzajności gleb i niekorzystnym zmianom właściwości fizykochemicznych i ubytkowi profilu gleby;
- przeciwdziałanie zakłócaniu stosunków wodnych w glebach i niekorzystnym zmianom hydrologii cieków wodnych oraz niszczeniu urządzeń melioracyjnych, a także zabagnianiu lub nadmiernemu osuszaniu gruntów;

- niedopuszczanie do rozczłonkowania rzeźby terenu przez wąwozy i inne formy erozyjne;
- zmniejszanie erozyjnych strat plonów;
- polepszanie warunków dla intensyfikacji produkcji przez uporządkowanie rozłogu gruntów rolnych – struktury użytków, układu pól i dróg, agrotechniki, rekultywacji nieużytków i innych.

Dodatni wpływ zabiegów przeciwoerozyjnych na inne dziedziny gospodarcze przejawia się między innymi w zmniejszaniu nakładów na następujące prace i zabiegi:

- usuwanie namulów i renowacje dróg oraz szlaków komunikacyjnych, urządzeń melioracyjnych i wodnych, budynków itp.;
- oczyszczanie z namulów szlaków wodnych oraz utrzymywanie w odpowiednim stanie czystości wód pitnych i przemysłowych;
- ochrona terenów zabudowanych (osiedli, obiektów przemysłowych i innych) przed zamulaniem i uszkodzaniem przez erozję;
- ochrona powietrza przed zanieczyszczeniem pyłem glebowym;
- utrzymanie walorów chronionego krajobrazu.

Zabiegi przeciwoerozyjne pod względem okresu działania można podzielić na trwałe (wieloletnie) i okresowe (sezonowe). Do działań trwałych należą przede wszystkim zabiegi o charakterze urządzeniowym, takie jak transformacja użytków, układ pól i dróg, zabudowa wąwozów, urządzenia techniczne (tarasowanie zboczy, umacnianie dróg i cieków stałych, budowa grobli itp.), zaś do działań okresowych należą agrotechnika przeciwoerozyjna, rowy odprowadzające okresowe spływy powierzchniowe i inne.

Nakłady finansowe na wykonanie poszczególnych zabiegów są różne. Duże nakłady i wysokie koszty jednostkowe mają zabiegi wymagające opracowania projektów technicznych i znacznego zmechanizowania robót wykonawczych, a zatem zabiegi określone jako techniczne oraz zabudowa wąwozów. Wymagają one również nakładów na bieżącą konserwację. Natomiast takie zabiegi jak wprowadzenie przeciwoerozyjnego układu użytków, pól i dróg praktycznie niewiele kosztują, zwłaszcza jeśli są połączone ze scalaniem gruntów. Nakłady na zabiegi okresowe corocznie wchodziły w koszty własne produkcji rolnej.

Melioracje przeciwoerozyjne mają wybitnie regionalny charakter i im bardziej są dostosowane do przyrodniczych i gospodarczych warunków danego obszaru, tym większa ich skuteczność ochronna i efektywność ekonomiczna (23).

Biorąc pod uwagę przyczyny i zjawiska erozji wodnej w rejonie gór i pogórzy oraz jej negatywne skutki gospodarcze, za nadrzędny cel melioracji przeciwoerozyjnych należy uznać ochronę i kształtowanie krajobrazu oraz gospodarkę zasobami wodnymi – wydłużenie obiegu wody w ekosystemach rolno-leśnych oraz magazynowanie jej nadwyżek podczas spływów powierzchniowych. Dlatego w systemie melioracji przeciwoerozyjnych priorytet powinny mieć: transformacja użytków – zwiększenie powierzchni lasów, łąk i pastwisk oraz rozmieszczenie użytków rolno-leśnych stosownie

do siedliskowej strefowości stoków; stosowanie poprzecznostokowego układu pól i pełnej agrotechniki przeciwoerozyjnej; korekta sieci dróg gruntowych – polegająca zwłaszcza na właściwym ich lokalizowaniu w rzeźbie terenu i umacnianiu odcinków erodowanych; biologiczno-techniczne utrwalanie form intensywnej erozji – wąwozów, debrzy, wciósów, osuwisk i innych; techniczno-biologiczna zabudowa sieci hydrograficznej wraz z budową zbiorników retencyjnych i rumowiskowych.

W rejonie wyżyn, zwłaszcza lessowych intensywnie degradowanych zmywami powierzchniowymi i erozją wąwozową pierwszoplanowym zadaniem jest ochronne kształtowanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej, którego głównymi elementami będą: poprzecznostokowy układ działek i pól, z sytuowaniem pól w możliwie jednorodnych siedliskach agrotechnicznych i stosowaniem pełnej agrotechniki przeciwoerozyjnej; przebudowa sieci dróg gruntowych, z uwzględnieniem zasad ochrony przeciwoerozyjnej i zwróceniem szczególnej uwagi na rozwiązanie problemu dróg w wąwozach; rekultywacja i zagospodarowanie nieużytków, zwłaszcza wąwozów. Transformacja użytków ma ograniczone możliwości ze względu na wysoką rolniczą bonitację gleb lessowych, dlatego w miejsce ewentualnych zalesień korzystniej jest wprowadzać sady urządzone przeciwoerozyjnie, co oczywiście nie wyklucza zwiększania powierzchni leśnej, jeśli tylko jest to uzasadnione ekonomicznie. Natomiast łąki i pastwiska znajdują odpowiednie warunki głównie w dolinach rzek. Warunki fizjograficzne umożliwiają także budowę zbiorników retencyjnych o charakterze wielofunkcyjnym, w tym również w wąwozach.

W regionie pojezierzy melioracje przeciwoerozyjne to głównie korekta struktury użytków – właściwe rozmieszczenie w rzeźbie stoku, zwiększenie powierzchni zalesień i trwałych zadarnień, a następnie stosowanie przeciwoerozyjnej struktury zasiewów i zmianowania roślin.

W regionie nizin zabiegi przeciwoerozyjne będą potrzebne tylko lokalnie i głównie o charakterze fitomelioracyjnym. Wyjątek stanowią tereny przymorskie, które wymagają kompleksowej ochrony przed abrazją (20, 21).

Agrotechnika przeciwoerozyjna

Agrotechnika przeciwoerozyjna może stanowić samodzielny zabieg na gruntach z erozją słabą i umiarkowaną oraz zabieg uzupełniający na gruntach bardziej erodowanych – począwszy od erozji średniej (21, 23).

Wśród zabiegów agrotechnicznych podstawowe znaczenie ma poprzecznostokowa uprawa roli. Poprzecznostokowa orka jesienna, na zboczach o spadku do 10%, kilkakrotnie zmniejsza nasilenie erozji i równocześnie zwiększa, od kilkunastu do kilkudziesięciu milimetrów, zapas wody w jednometrowej warstwie gleby (po roztopach śniegowych) oraz zwiększa plony. Im orka jest głębsza, bardziej wyskibiona, tym większy jest jej wpływ na retencjonowanie wody. Orkę najlepiej wykonuje się pługiem obracalnym, z odkładaniem skiby w górę stoku. Wówczas glebę przemieszcza

się w odwrotnym kierunku niż procesy erozyjne, co w znacznym stopniu równoważy bilans przemieszczeń poziomu orno-próchniczego.

Oprócz orki ważny jest poprzecznostokowy kierunek siewu i sadzenia, który w okresie wegetacji roślin znacznie ogranicza nasilenie erozji. Termin siewu zwłaszcza ozimin, powinien być możliwie wczesny, ponieważ wtedy zapewnia dobre ukorzenie i rozkrzewienie roślin, a przez to lepszą przeciwoerozyjną ochronę gleby. Wskazany jest głębszy wysiew nasion - ziarno jest lepiej chronione przed ewentualnym zmyciem, a węzły krzewienia są lepiej zabezpieczone przed odsłonięciem.

Nawożenie gleb w terenach erodowanych powinno być zróżnicowane na poszczególnych elementach rzeźby, ze względu na wyraźne odrębności siedliskowe. Najobfitszego nawożenia wymagają gleby na zboczach, zwykle najuboższe i łatwo przesychające. Szczególnie wskazane są tam nawozy organiczne. Zwiększone dawki nawozów mineralnych, zwłaszcza azotu i potasu, są również wykorzystywane efektywnie. Słabo lub wcale nieerodowane gleby na wierzchowinach wymagają mniejszego nawożenia niż na zboczach, a najmniejszego zwykle zasobne w próchnicę gleby u podnóży zboczy oraz w dolinach.

Odpowiedni dobór i następstwo roślin w płodozmianie stanowią kolejne podstawowe ogniwo w systemie agrotechniki przeciwoerozyjnej. Największe właściwości przeciwoerozyjne mają trawy i ich mieszanki z roślinami bobowatymi, a następnie wieloletnie bobowate. Gatunki jednoroczne charakteryzują się mniejszymi zdolnościami ochronnymi, przy czym zboża ozime – żyto i rzepak, a następnie pszenica i jęczmień – lepiej chronią glebę przed erozją niż zboża jare. Zmianowanie roślin w terenach podlegających erozji wodnej powinno być różne na poszczególnych elementach stoku. Na wierzchowinach można stosować płodozmiany z przewagą gatunków towarowych, na zboczach z przewagą glebochronnych, na podnóżach płodozmiany intensywne z dwuletnią uprawą roślin dobrze chroniących glebę, a w dolinach płodozmiany z nasileniem upraw na zieloną masę.

Płodozmiany przeciwoerozyjne. Właściwy dobór gatunków roślin i odpowiednie ich zmianowanie stanowi kapitalny zabieg przeciwoerozyjny na gruntach ornych, niestety często jeszcze niedoceniany. Gatunki wieloletnie, takie jak trawy i ich mieszanki z bobowatymi, a następnie tylko same bobowate (koniczyna, lucerna) mają największą wartość przeciwoerozyjną. Spośród roślin jednorocznych pierwszeństwo mają rośliny ozime w kolejności – żyto, rzepak, jęczmień i pszenica. Następną grupą są jare. Okopowe najslabiej chronią glebę przed erozją. W górach i na pogórzu, gdzie krytycznym okresem występowania erozji są ulewy letnie nie ma zasadniczej różnicy w wartości przeciwoerozyjnej zbóż jarych i ozimych. Natomiast na wyżynach, gdzie procesy erozyjne występują głównie podczas roztopów śniegowych, zróżnicowanie wartości ochronnej jest bardzo wyraźne (na korzyść ozimych).

Zmianowanie roślin zależy od rzeźby terenu, układu i wielkości pól, warunków siedliskowych i sposobu gospodarowania. W płodozmianach przeciwoerozyjnych powinny dominować rośliny o dużych właściwościach ochronnych, a zabiegi spulch-

niające glebę powinny być ograniczone i wykonywane w okresach małego nasilenia erozji (21, 23, 61).

Płodozmiany na zboczach z poprzecznostokowym układem pól powinny być tak dobrane, aby pola z roślinami dobrze chroniącymi glebę sąsiadowały z polami słabiej chronionymi przez szatę roślinną.

Płodozmiany powinny się szczególnie starannie układać dla zboczy, na których będą one stanowiły zasadniczy lub jedyny zabieg przeciwoerozyjny, zwłaszcza dla zboczy z poprzecznostokową, skośnostokową lub nawet wzdłużstokową uprawą roli. W takich przypadkach wskazane jest ograniczenie zabiegów spulchniających glebę i skracanie okresów pozostawienia roli bez okrywy roślinnej, zwłaszcza w okresach krytycznych, podczas których występuje duże zagrożenie erozyjne.

Uprawy polowe w obniżeniach terenu, którymi okresowo przepływa większa ilość wód powierzchniowych (dolinki śródpolne i różnego rodzaju obniżenia) powinny być raczej ograniczone na korzyść użytków zielonych.

Rozmieszczenie użytków. Dla terenów wyżyn południowo-wschodnich nie ma dotychczas ustalonej granicy rolno-leśnej i struktury użytków, uwzględniających ochronę gleb przed erozją. Jest to obszar intensywnego rolnictwa, który ze względu na dobre gleby został silnie wylesiony. Lasy w niektórych regionach wyżynnych zajmują zaledwie kilka procent ogółu gruntów. Jednak radykalne zwiększenie powierzchni leśnej nie ma tu gospodarczego uzasadnienia. Szerzej natomiast powinno się uwzględnić różnego typu zadrzewienia o charakterze fitomelioracyjnym, przeciwdziałające erozji wodnej i wietrznej. Zadrzewiać należy przede wszystkim zbocza o nachyleniu powyżej 30–35%, bez względu na rodzaj gleb, a także zbocza o mniejszym nachyleniu powyżej 20%, ale silnie wyerodowane, na których regeneracja gleb jest trudna i bardzo powolna oraz wąwozy i tereny bardzo silnie pocięte wąwozami. W terenach wyżynnych szczególną rolę w ochronie gleb przed erozją, a także w intensyfikacji rolnictwa mogą odegrać zadrzewienia sadownicze – zarówno duże sady produkcyjne, jak również małe plantacje drzew i krzewów owocowych oraz krzewów dla celów prywatnych.

Typowanie gruntów pod uprawy polowe powinno uwzględniać nachylenie zboczy, zróżnicowanie mikrorzeźby, rodzaj gleb i stopień ich wyerodowania oraz strukturę agrarną. Grunty orne w gospodarstwach wielkoobszarowych mogą występować na stokach o nachyleniu przeważnie do 20%, a w gospodarstwach indywidualnych na nieco większych spadkach.

Trwałe użytki zielone w terenach wyżynnych również spełniają ważną funkcję przeciwoerozyjną i gospodarczą. Powinny przede wszystkim zajmować doliny rzek a ponadto należy je lokalizować na dnach dolin smużnych, w których koncentrują się okresowo spływy powierzchniowe i ewentualnie na stromych zboczach o nachyleniu do 25%, lecz o glebach średnio związłych i związłych.

Działania ograniczające erozję wietrzną

Ochrona gleb przed erozją wietrzną jest bardziej potrzebna na obszarach nizin środkowej Polski z przewagą gleb piaszczystych i na obszarze wyżyn południowo-wschodniej Polski z dominacją gleb lessowych. Działania jakie należałoby tam podejmować są następujące (25):

Na terenach nizinnych za pierwszoplanowe kierunki zaradcze należy uznać:

- stosowanie zabiegów fitomelioracyjnych, takich jak zalesianie gruntów nisko-produkcyjnych, dodrzewianie krajobrazu rolniczego oraz racjonalne gospodarowanie użytkami zielonymi, zwłaszcza ograniczenie ich likwidacji;
- wprowadzanie poplonów ozimych chroniących glebę podczas wiosennych susz (fot. 4.);
- stosowanie odpowiedniej agrotechniki umożliwiającej poprawę struktury i żyzności gleb;
- wprowadzanie urządzeń melioracyjnych umożliwiających gromadzenie wody (zbiorniki) i nawadnianie;
- zapobieganie nadmiernemu pobieraniu wody przez zakłady przemysłowe, co prowadzi do przesuszania terenów (dotyczy to zwłaszcza powiatów konińskiego i plockiego).



Fot. 4 Pole po prawej z przesuszoną glebą (V i VI klasa) uprawioną po ziębli w porównaniu z polem po lewej obsianym żytem ozimym podczas suszy w kwietniu 2019 roku (fot. R. Wawer)

Na terenach wyżyn lessowych do podstawowych zabiegów przeciwdziałających erozji wietrznej należy:

- dodrzewianie krajobrazu, w tym również zakładanie sadów na zboczach;
- magazynowanie wody w gruncie i w zbiornikach, niedopuszczanie do przesuszania powierzchni gleby oraz do pozostawiania pól okrywy roślinnej na

wierzchowinach i na zboczach dowietrznych, zwłaszcza w okresie zimowym i wiosennym;

- korygowanie przestrzennego układu użytków rolno-leśnych poprzez ich rozmieszczanie w terenie odpowiednio do ich funkcji wiatrochronnych i wodochronnych;
- zapobieganie nadmiernemu wyczerpywaniu wód głębinowych przez przemysł.

Należy podkreślić, że na terenach wyżynnych wszelkie działania zmierzające do ochrony przed erozją wodną przyczyniają się również do zmniejszania erozji wietrznej.

Literatura

1. B a c S.: Przyczynek do badań nad zmianą położenia powierzchni ornych gruntów loesowych. *Rocz. Nauk Rol. i Leś.*, Poznań 1928, **19(3)**: 1-28.
2. B a c S.: Słowo o badaniach nad erozją gleb w Polsce. W: *Procesy erozyjne i problemy ochrony gleb w Polsce*, S. Ziemiński, Z. Mazur, J. Repelewska-Lekalowa (red.). WSR Lublin, PWRiL, 1968, **2**: 20-25.
3. B e n n e t H.H.: *Elements of soil conservation*. Mc Graw-Hill Book Company, Inc. New York, Toronto, Londyn 1955, ss. 256.
4. C z a m a r a W.: Prognoza erozji powierzchniowej w zlewniach zbiorników wodnych zlokalizowanych na przedgórzu sudeckim. *Zeszyty Naukowe AR w Krakowie*, 1992, 271: 79-89.
5. D y l i k o w a A.: *Geografia Polski. Krainy Geograficzne*. Państw. Zakład Wyd. Szkol., 1973, ss. 125.
6. F a t y g a J.: Kształtowanie granic rolno-leśnej i darniowo-polowej w Sudetach w systemie ochrony gleby przed erozją wodną. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, Warszawa, 2002, 487: 67-77.
7. F i g u ł a K.: Wstępna charakterystyka zjawisk erozji na terenie kilku powiatów województwa krakowskiego. *Roczniki Nauk Rolniczych*, Warszawa 1955, **71-F-1**: 111-148.
8. F i g u ł a K.: 1960. Erozja w terenach górskich. *Wiad. Inst. Melior.*, 1960, **1(4)**: 190-197.
9. F i g u ł a K.: Badania transportu rumowiska w ciekach górskich i podgórskich o różnej budowie geologicznej i użytkowaniu. *Wiad. Inst. Melior.*, 1966, **6(3)**: 131-145.
10. F i s c h e r G., van Velthuisen 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. F r o e h l i c h W., S ł u p i k J.: 1980a. Importance of splash in erosion process within a small flysh catchment basin. *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, XIV: 77-111.
12. F r o e h l i c h W., S ł u p i k J.: Drogi polne jako źródło dostawy wody i zwietrzliny do koryta cieku. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 1980b, **225**: 257-268.
13. F r o e h l i c h W.: Monitoring bed load transport using acoustic and magnetic devices. W: *Erosion and Sediment Transport Measurement in Rivers*, Jim Bogen and Des E. Walling (red.). Technological and Methodological Advances. Proceedings of the Oslo Workshop (19–21 June 2002), IAHS Publication, 2003, **283**: 201-210.
14. G e n t i l e 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. G e r l a c h T.: Współczesny rozwój stoków w dorzeczu Górnego Grajczarka (Beskid Wysoki – Karpaty Zachodnie). *Prace Geograficzne*, 1966, **52**: 1-52.
16. J ó z e f a c i u k A., J ó z e f a c i u k C.: Próba oceny zagrożenia gruntów w Polsce erozją wietrzną. *Pamiętnik Puławski*, 1979, **71**: 12-21.

17. Józefaciuk C., Józefaciuk A., Barbaś S., Budzyńska K.: Metoda opracowania mapy potencjalnej erozji wodnej gleb w Polsce. *Roczniki Gleboznawcze*, 1985, **XXXVI(1)**: 177-183.
18. Józefaciuk C., Józefaciuk A.: Struktura zagrożenia erozją wodną fizjograficznych krain Polski. *Pamiętnik Puławski*, 1992a, suplement do zeszytu **101**: 23-50.
19. Józefaciuk C., Józefaciuk A.: Gęstość sieci wąwozowej w fizjograficznych krainach Polski. *Pamiętnik Puławski*, 1992b, suplement do zeszytu **101**: 51-66.
20. Józefaciuk A., Józefaciuk C.: *Agrotechnika przeciwoerozyjna*. Bibl. Monit. Srod., Warszawa 1998a, ss. 89.
21. Józefaciuk A., Józefaciuk C.: *Erozja i melioracje przeciwoerozyjne. Terminologia*. BN-88/9100-07. Znowelizowana jako Pr PN-R-04152, 1998b.
22. Józefaciuk C., Józefaciuk A., Nowocień E., Wawer R.: *Przeciwoerozyjne zagospodarowanie zlewni wyżynnej potoku Grodarz z uwzględnieniem ograniczania powodzi*. Monografie i Rozprawy Naukowe, IUNG Puławy 2002, **4**: 1-65.
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**: 1-264.
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**: 1-374.
25. Józefaciuk A., Nowocień E., Wawer R.: *Erozja wietrzna w Polsce*. Monografie i Rozprawy Naukowe IUNG-PIB, 2018, **57**: 1-224.
26. Kondracki J.: *Geografia Polski. Mezoregiony fizyczno-geograficzne*. PWN, Warszawa 1994, ss. 339.
27. Koreleski K., Żurek E.: *Analiza potrzeb w zakresie przeciwoerozyjnego zabezpieczenia gruntów w Polsce*. *Roczniki AR w Poznaniu CCXCIV, Melioracje i Inżynieria Środowiska*, 1997, t. 19, **1**: 177-184.
28. Kosturkiewicz A., Szafranski C., Fiedler M.: *Agromelioracje jako czynnik ograniczający erozję wodną gleb terenów bogato rzeźbionych*. *Roczniki 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*. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 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*. *Pamiętnik Puławski*, Puławy 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*. *Pamiętnik Puławski*, 1999a, **119**: 93-100.
35. Nowocień E.: *Podstawy geometrycznego projektowania wybranych elementów dróg rolniczych na obszarach wyżynnych*. *Zeszyty Naukowe AR Kraków*, 1999b, **68**: 325-333.
36. Nowocień E.: *Wstępne wyniki badań nad technologią utwardzania dróg rolniczych w terenach erodowanych na przykładzie gminy Wąwolnica*. *Pamiętnik Puławski*, 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*, 2002, **10**: 9-38.
39. Ostromecki 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, PWRiL, Warszawa 1987, t. 2, s. 264-342.
42. Rajda W., Ostrowski K., Kowalik T., Marzec J.: Erozja chemiczna w mikrozelewniach rolniczych na terenie podgórskim. Roczniki 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)**: 1-54.
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, Szczecin 2001, **87**: 209-212.
46. Stasiak R., Szafranski C.: Zmiany w pokrywie glebowej erodowanych terenów Pojezierza Gnieźnieńskiego. Acta Agrophysica, Lublin 2005, **5(2)**: 447-454.
47. Starkel L.: Studia nad typologią i oceną środowiska geograficznego Karpat i Kotliny Sandomierskiej. Prace Geograficzne, 1978, ss. 35.
48. Starkel L.: Erozja gleb a gospodarka wodna w Karpatach. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 1980, **235**: 103-118.
49. Szewrański S., 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 S., Szabla K., Wawer R., Żmuda R.: Ocena przedsięwzięć rolnośrodowiskowych w aspekcie ochrony gleb przed erozją wodną. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 2008, **526**: 235-242.
51. Szpikowski J.: Wzajemne relacje rozbryzgu i splukiwania jako przejaw zmienności erozji wodnej gleb na stokach o zróżnicowanym użytkowaniu rolniczym (Zlewnia Chwalimskiego Potoku, Górna Parsęta). Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis, Agricultura, 2001, **87**: 221-226.
52. Wawer R.: Zastosowanie cyfrowego modelowania obszaru zlewni Grodarza dla celów zagospodarowania przeciwoerozyjnego. 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, t. 6, **1**: 33-42.
54. Wawer R.: Cyfrowy model zlewni jako podstawa do planowania melioracji przeciwoerozyjnych w zlewniach rolniczych. Acta Agrophysica 115, Lublin 2005, **5(1)**: 201-209.
55. Wawer R., Nowocień E., Budzyńska K., Podolski B.: Cyfrowa mapa podatności gleb użytków rolnych na erozję wodną powierzchniową. 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. Pamiętnik Puławski, 2006, **142**: 537-546.
57. Wawer R., Nowocień E., Podolski B., Szewrański S., Żmuda R.: Analiza sieci dróg rolniczych pod kątem ochrony przed erozją wodną powierzchniową. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 2008, **526**: 257-264.
58. Wawer R., Nowocień 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, Vol. 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. Pamiętnik Puławski, 2004, **137**: 163-175.

60. Z a c h a r D.: Soil erosion. Developments in soil science 10, Elsevier scientific publishing company, Amsterdam, Oxford, New York, 1982, ss. 450.
61. Z i e m n i c k i S.: Ochrona gleb przed erozją. PWRiL, Warszawa 1978, ss. 250.
-

Adres do korespondencji:

dr hab. inż. Rafał Wawer; prof. IUNG-PIB; dr Eugeniusz Nowocień
Zakład Gleboznawstwa Eroзии i Ochrony Gruntów
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel.: 81 4786 773; 771
e-mail: Rafał.Wawer@iung.pulawy.pl;
Eugeniusz.Nowocien@iung.pulawy.pl

AUTOR	ORCID
Rafał Wawer	0000-0001-9266-9577
Eugeniusz Nowocień	0000-0002-2673-0023