

MODELOWANIE OCENY RYZYKA WYSTĄPIENIA EROZJI WODNEJ POWIERZCHNIOWEJ W ROLNICZEJ ZLEWNI GÓRSKIEJ

Edyta Kruk¹, Marek Ryczek¹, Sławomir Klatka¹, Magdalena Malec¹

¹ Katedra Melioracji i Kształtowania Środowiska, Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja, Al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków, e-mail: e.kruk@ur.krakow.pl, rmryczek@cyf-kr.edu.pl, rmklatka@cyf-kr.edu.pl, m.malec@ur.krakow.pl

STRESZCZENIE

Ocenę ryzyka wystąpienia erozji wodnej powierzchniowej w zlewni Potoku Mątny o powierzchni 1,47 km², położonej w Gorcach przeprowadzono metodą Masoudi'ego i Pathwardhan'a. Metoda ta opiera się na dziewięciu wskaźnikach (współczynnik podatności gleby na erozję, głębokość gleby, spadki, intensywność opadu, suma opadu rocznego, udział nieosłoniętej gleby, stopień pokrycia terenu roślinnością, stan erozji wodnej i podłoże geologiczne), które zostały pogrupowane na 5 klas, w zależności od granicznych wartości, a następnie w zależności od możliwości wystąpienia niekorzystnych zdarzeń w przyszłości, model pozwala wyznaczenie map obszarów przedstawiających procent ryzyka zagrożenia erozją wodną. Parametry do modelu zostały w pełni zidentyfikowane w oparciu o metody i bazy danych wchodzących w zakres szeroko rozumianych technik GIS. W analizowanej zlewni wartości prawdopodobieństwa wystąpienia erozji na ponad połowie badanego obszaru wyniosły poniżej 50%. Zastosowana metoda określania ryzyka erozji może stanowić szczegółowe uzupełnienie dotychczas szeroko stosowanej metody określania erozji potencjalnej wg Józefaciuków.

Słowa kluczowe: erozja wodna, ryzyko erozji, GIS

MODELING EVALUATION OF SURFACE WATER EROSION RISK IN AGRICULTURAL MOUNTAIN BASIN

ABSTRACT

Evaluation of surface erosion risk according to be Masoudi and Pathwardhan method was carried out in the Mątny stream basin of area 1.47 km², located in the Gorce Mountains. The method is based on nine parameters (soil erodibility factor, soil depth, slopes, rainfall intensity, yearly rainfall, ratio of uncovered soil, ratio of plant cover, state of water erosion, geological background), which were grouped in five classes, regarding boundary values, and then depending upon possibility of erosion occurrence in future. A model allows to determine areas maps presenting percentage risk of water erosion. Parameters for the model were fully identified based on methods and databases covering GIS techniques. In the analyzed basin on more than half of the area were below 50%. The used method of erosion risk evaluation may be supplementary for the known very well method elaborated by the Józefaciuk.

Keywords: water erosion, erosion risk, GIS

WPROWADZENIE

Do oceny zagrożenia erozyjnego gleb stosowane są dwa pojęcia: erozji potencjalnej i erozji aktualnej. Erozja potencjalna opisuje sytuację jaka wystąpiłaby przy braku pokrywy roślinnej (tzw. czarny ugór) i przy braku zabiegów z zakresu agrotechniki przeciwoerozyjnej. Natomiast pojęcie erozji aktualnej, odnosi się do oceny ilości gleby erodowanej z jednostki powierzchni,

z uwzględnieniem aktualnego sposobu pokrycia terenu i użytkowania terenu, oraz z uwzględnieniem zabiegów przeciwoerozyjnych stosowanych na danym obszarze. Z tego względu prognozowana erozja aktualna przyjmuje zazwyczaj wartości niższe od erozji potencjalnej [Masoudi i Pathwardhan 2006]. Metody oceny zagrożenia erozją wodą dotyczą zjawisk erozyjnych w przeszłości, aktualnych oraz potencjalnych, jakie mogą mieć miejsce. Pierwsze próby zastosowania mode-

li matematycznych do oceny zagrożenia erozją wodną datują się na lata 40-te ubiegłego stulecia. Zingg [1940], Smith [1941] i Musgrave [1949] opracowali modele do obliczenia „strat gleby” w wyniku erozji wodnej, na podstawie długości stoku, spadku, pokrycia roślinnością i opadu. Ważnym krokiem było opracowanie przez Wichmeier’a i Smith’a [1978] modelu USLE, będącego najbardziej znanym i najczęściej wykorzystywanym narzędziem do oceny natężenia erozji. Ocena ryzyka powinna określać prawdopodobieństwo bardziej niekorzystnych scenariuszy, które mogą wydarzyć się w przyszłości. W projekcie „Ocena Ryzyka Środowiskowego dla Europejskiego Rolnictwa” [Delbaere 2003] przedstawiono wzór do opracowań map ryzyka:

$$\text{Ryzyko} = \frac{\text{Aktualna strata gleby}}{\text{Dopuszczalna wielkość strat gleby}} \cdot 100 \quad (1)$$

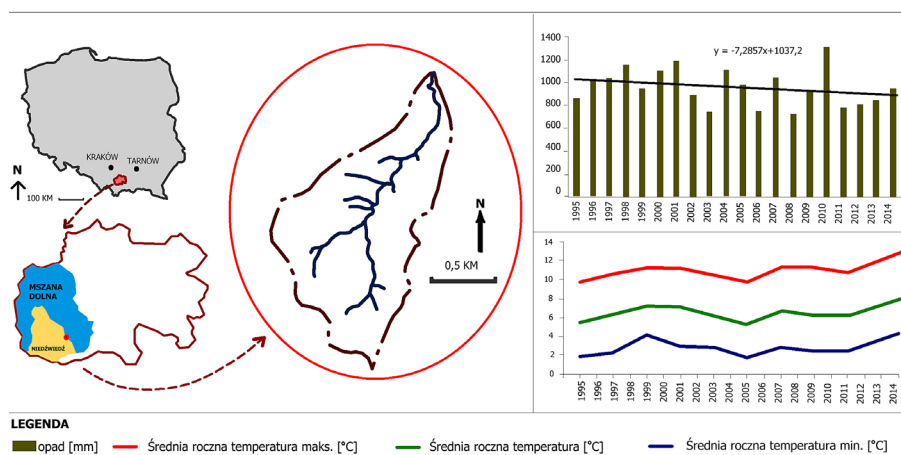
gdzie: aktualna strata gleby obliczana za pomocą modelu USLE.

Masoudi i Pathwardan [2006] zaproponowali model oceny ryzyka na podstawie dziewięciu wskaźników wielkość erozji (współczynnik podatności gleby na erozję, głębokość gleby, spadek terenu, intensywność opadu, suma opadu rocznego, udział nieosłoniętej gleby, stopień pokrycia terenu roślinnością, stan erozji wodnej i podłoże geologiczne), które zostały pogrupowane na 5 klas, w zależności od granicznych wartości, a następnie w zależności od możliwości wystąpienia niekorzystnych zdarzeń w przyszłości, model pozwala na wyznaczenie map obszarów przedstawiających procent ryzyka zagrożenia erozją wodną. Celem pracy była ocena ryzyka wystąpienia erozji wodnej powierzchniowej w zlewni potoku Mątny.

PRZEDMIOT BADAŃ

Obszar objęty badaniem, stanowiła zlewnia potoku Mątny, o powierzchni 1,47 km² położona w południowym części województwa małopolskiego. Zlewnia ta administracyjnie znajduje się w powiecie limanowskim, na pograniczu gminy Niedźwiedź i Mszana Dolna. Zlewnia ta ma charakter gór niskich i średnich, w których szczyty mają wysokość od 617,6 m n.p.m. do 732,0 m n.p.m. Warunki meteorologiczne zlewni opisane zostały na podstawie danych ze stacji meteorologicznej Obidowa (oddalonej od badanego obszaru o ok. 10 km), dla okresu lat 1995–2014. Średnia roczna suma opadów atmosferycznych wyniosła 960,7 mm. W analizowanym okresie najsuchszy był rok 2008, z sumą opadów wynoszącą 728,5 mm, natomiast najwilgotniejszy był rok 2010, kiedy spadło 1309,7 mm opadu. Na przestrzeni badanych 20 lat sumy opadów atmosferycznych wykazują trend malejący. Natomiast średnia roczna temperatura powietrza w omawianej stacji wyniosła 6,3 °C (rys. 1).

W strukturze użytkowania zlewni potoku Mątny obszary zadrzewione, stanowiące 9,5% powierzchni ogólnej, zajmują tereny głównie przy potokach i drogach oraz porastają szczyty i podnóża góry Kobylica i Pasternik oraz podnóża góry Pieronka. W strukturze użytkowania ziemi w gospodarstwach indywidualnych dominują użytki zielone (73,5%) rozlokowane na obszarze całej zlewni. Wykorzystywane są one przede wszystkim jako pastwiska dla krów i owiec oraz łąki. Grunty orne występujące w niewielkiej ilości, stanowiącej nieco ponad 14% powierzchni, porożrzucane są po całym terenie. Znajdują



Rys. 1. Lokalizacja obiektu badawczego na tle kraju; rozkład opadu atmosferycznego [mm] i temperatury powietrza [°C] według danych ze stacji meteorologicznej Obidowa dla okresu lat 1995–2014

się zarówno w wyższych partiach zlewni, jak i u podnóża gór. Na gruntach ornych uprawiany jest owies, ziemniaki i pszenica. Zlewnia ta charakteryzuje się niewielkim udziałem terenów zabudowanych i dróg (niecałe 3%). Cały obszar objęty badaniami poprzecinany jest drogami. Są to głównie drogi gruntowe utwardzone i nieutwardzone (polne), w większości głęboko wyżłobione, które podczas intensywnych opadów stają się okresowo potokami transportującymi wodę.

METODYKA

Ocenę ryzyka wystąpienia erozji wodnej powierzchniowej przeprowadzono w oparciu o metodę zaproponowaną przez Masoudi'ego i Pathwardhan'a [2006]:

$$ER = (SD + S + ES) \cdot 2 + G + RI + R + SE + VC + BS \quad (2)$$

gdzie: *ER* – ocena punktowa ryzyka,
SD – głębokość gleby,
S – spadki,
ES – stan erozji wodnej,
G – kategoria gleby,
RI – intensywność opadu,
R – suma opadu rocznego,
SE – erozyjność gleby,
VC – pokrycie roślinnością,
BS – udział nieosłoniętej gleby

Odpowiednie wartości parametrów zostały wyznaczone przy pomocy programów ArcGIS 10.3.1., Surfer 8 oraz Map Info Professional 11.5. *Warstwę podatności gleb na erozję (SE)* dla przyjętych w modelu klas określono na podstawie

metody Wischmeier'a i Smith'a [1978] według wzoru nr 3, tworząc mapę izolinii jego rozkładu przestrzennego.

$$100 \cdot K = 2,1 \cdot M^{1,14} \cdot 10^{-4} \cdot (12 - a) + 3,25 \cdot (b - 2) + 2,5 \cdot (c - 3) [\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{Je}^{-1}] \quad (3)$$

gdzie: *M* – iloczyn procentowej zawartości ziaren o średnicy 0,002 do 0,1 mm oraz ziaren od 0,002 do 2,0 mm; wyznaczony na podstawie wzoru:

$$M = \int_{0,002}^{0,1} (100 - \int_0^{0,002}) [-]$$

a – procentowa zawartość materii organicznej [%] wyznaczono metodą Tiurin'a w modyfikacji Oleksynowej [Oleksynowa i in. 1991] na podstawie wzoru:

$$\%subst.org = \left[\frac{(d-e) \cdot f \cdot 0,10344}{q} \right] [\%] \quad (4)$$

gdzie: *d* – ilość m 0,2 n FeSO₄ zużytego do zmiarreczkowania ślepej próby,
e – ilość m 0,2 n FeSO₄ zużytego do zmiarreczkowania próby z glebą,
f – współczynnik normalności 0,2 n FeSO₄,
q – ilość gleby w gramach, powietrznie suchej lub absolutnie suchej;
b – klasa agregatów glebowych; określona na podstawie tabeli 1,
c – klasa przepuszczalności wodnej gleby; określona według tabeli 2;

Głębokość gleby (*SD*) określono na podstawie mapy glebowo-rolniczej w skali 1:25000 z warstwy tematycznej podłoże 1, podłoże 2, podłoże 3, podłoże 4 oraz badań terenowych. Klasy spadków (*S*) wyznaczono w przedziałach: <2%,

Tabela 1. Rodzaj struktury gruntowej

Rodzaj struktury	Wartość parametru <i>b</i>
Bardzo drobna gruzełkowata (<1 mm)	1
Drobna gruzełkowata (1–2mm)	2
Średnia (2–5 mm) lub gruba gruzełkowata (5–10mm)	3
Blokowa, płytkowa lub masywna (>10 mm)	4

Tabela 2. Klasy przepuszczalności gruntu według USDA [1951]

Klasa przepuszczalności	Współczynnik przepuszczalności wodnej [cm·s ⁻¹]	Wartość parametru <i>c</i>
Bardzo niska	< 3,0 · 10 ⁻⁵	6
Niska	3,0 · 10 ⁻⁵ – 1,2 · 10 ⁻⁴	5
Średnio niska	1,2 · 10 ⁻⁴ – 5 · 10 ⁻⁴	4
Średnia	5 · 10 ⁻⁴ – 1,5 · 10 ⁻³	3
Średnio wysoka	1,5 · 10 ⁻³ – 3 · 10 ⁻³	2
Wysoka (do bardzo wysokiej)	> 3 · 10 ⁻³	1

2–4%, 5–14%, 15–29%, $\geq 30\%$. Intensywność opadu (RI) określono dla okresu lat 1995–2014 jako średnią z dobowych opadów powyżej 12,7 mm. Sumę opadu rocznego (R) określono jako średnią z lat 1995–2014. Udział nieosłoniętej gleby (BS) oraz pokrycia terenu (VC) określono na podstawie ortofotomapy w skali 1:5000, mapy pokrycia terenu oraz wizji terenowej. Warstwę stan erozji wodnej (ES) określono na podstawie Numerycznego Modelu Terenu o rozdzielczości rastra 5m opracowano na podstawie współrzędnych (X, Y, Z) punktów w regularnej siatce o rozdzielczości 1m, zinterpolowanych na podstawie chmury punktów z lotniczego skaningu laserowego LIDAR, a następnie zweryfikowano podczas wizji terenowej. Kategorie gleb (G przyjęto na podstawie Instrukcji nr 3 Ministra Rolnictwa oraz Ministra Leśnictwa i Przemysłu Drzewnego z 18.VIII. 1973 r. w sprawie zasad inwentaryzacji gruntów zagrożonych erozją. Dz. U. z 1973, nr 8, poz. 43. Warunki pedologiczne rozpoznano na podstawie analizy mapy glebowo-rolniczej w skali 1:25000 i zakwalifikowano do odpowied-

nich grup w oparciu o normę BN/78/9180–11 a następnie przekonwertowane w oparciu o normę przedstawioną w 2008 roku przez Polskie Towarzystwo Gleboznawcze podziału gleb na frakcje i grupy granulometryczne [Mocek 2015].

Poszczególne wartości wyznaczonych parametrów przystosowano do odpowiednich klas ryzyka i przedziałów opracowanych w 2006 r. przez Masoudi'ego i Pathwardhan'a, na podstawie tabeli 3. Po nałożeniu warstw tematycznych związanych z określonymi parametrami, oraz po uwzględnieniu parametrów R i RI, dokonano oceny ryzyka wystąpienia erozji powierzchniowej, na podstawie tabeli 4.

WYNIKI I DYSKUSJA

Ocenę ryzyka wystąpienia erozji wodnej powierzchniowej (ER) przeprowadzono metodą zaproponowaną przez Masoudi'ego i Pathwardhan'a [2006], bazując na wzorze nr 2 i na podstawie tabeli 3. W rozpatrywanej zlewni wartości

Tabela 3. Wskaźniki modelu oceny zagrożenia erozją wodną [Masoudi i Pathwardhan 2006]

L.p.	Wskaźnik	Klasy ryzyka i przedziały				
		Brak (1)	Słabe (2)	Średnie (3)	Silne (4)	Bardzo silne (5)
1	Erozyjność gleby – SE	<0,10	0,10–0,19	0,20–0,34	0,35–0,49	$\geq 0,50$
2	Głębokość gleby – SD	≥ 150 cm	90–149 cm	50–89 cm	10–49 cm	<10 cm
3	Spadki – S	<2%	2–4%	5–14%	15–29%	$\geq 30\%$
4	Intensywność opadu – RI*	<10 mm	10–19 mm	20–29 mm	30–39 mm	≥ 40 mm
5	Suma opadu rocznego – R	<50 mm	50–199 mm	200–399 mm	400–599 mm	600–1000 mm
6	Udział nieosłoniętej gleby – BS	<20 %	20–39 %	40–59 %	60–79 %	≥ 80 %
7	Pokrycie roślinnością – VC	≥ 70 %	50–69 %	25–49 %	10–24 %	<10 %
8	Stan erozji wodnej – ES	objawy erozji nieostrzegalne	występuje erozja powierzchniowa i żłobinowa, wąwózowa słabo dostrzegalna	erozja powierzchniowa i żłobinowa średnio widoczna, wąwózowa pojawia się sporadycznie	dużo duże skutki erozji powierzchniowej, żłobinowej i wąwózowej	duże skutki erozji powierzchniowej, żłobinowej i wąwózowej
9	Kategorie gleb** – G	gleby ciężkie, ilaste, skalisteskały, szkieletowe, wytworzone ze skał o spoiwie niewęglanowym, wytworzone ze skał krystalicznych, torfy	gliny lekkie – gliny piaszczyste i piaszki naglinowe, gleby średnie, gliniaste, wytworzone ze skał osadowych o spoiwie węglanowym niewapiennym	piaski słabogliniaste, gliniaste, kompleks piasków gliniastych i słabogliniastych, gleby żwirowe, rędziny trzeciorzędowe i starszych formacji geologicznych	piaski luźne, gleby piaszczyste, rędziny kredowe i jurajskie	gleby lessowe i lessowate, pyłowe, pyłowe wodnego pochodzenia

* – średnia z opadu powyżej 12,7 mm dla okresu 4-letniego

** – przyjęto na podstawie Instrukcji nr 3 Ministra Rolnictwa oraz Ministra Leśnictwa i Przemysłu Drzewnego z 18.VIII. 1973 r. w sprawie zasad inwentaryzacji gruntów zagrożonych erozją. Dz. U. z 1973, nr 8, poz. 43.

Tabela 4. Klasy ryzyka wystąpienia erozji wodnej powierzchniowej

Klasa	Brak	Słabe	Średnie	Silne	Bardzo silne
ER	12,0–18,0	18,1–30,0	30,1–42,0	42,1–54,0	54,1–60,0

współczynnika podatności gleb na erozję (SE) dla poszczególnych punktów wyniosła 0,14 do 0,57 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{Je}^{-1}$ zawierając się w przedziałach od 0,10 dla klasy I (brak zagrożenia) do $\geq 0,50$ dla klasy 5 (bardzo silne zagrożenie) (tab. 5).

Zauważyć należy, iż cały badany obszar zlewni narażony był na wystąpienie ryzyka erozji w kontekście parametru podatność gleb na erozję powierzchniową. Na podstawie mapy glebowo-rolniczej ustalono, iż na obszarze badanej zlewni występują dwa zakresy głębokości gleby (SD) mieszczące się w klasie ryzyka średniego (3) o miąższości od 50 do 89 cm (ok. 89%) oraz w klasie ryzyka silnego (4) o miąższości 10–49 cm (ok. 11%). Klasy spadków (S) przystosowano do przedziałów niniejszej metody uzyskując w ten sposób pięć zakresów wartości (tab. 6).

Ponad 99% badanego obszaru zlewni narażony jest na wystąpienie ryzyka erozji w kontekście parametru spadku terenu. Klasa ryzyka oznaczona symbolem 1 odpowiadającym brakowi wystąpienia ryzyka, a także klasa 2 odpowiadająca słabemu prawdopodobieństwu wystąpienia ryzyka erozji stanowią łącznie niespełna 3% całkowitej powierzchni. Rozkład przestrzenny oraz udział procentowy parametrów SE, SD oraz S, przedstawiono na rysunku 2.

Wartość intensywności opadu (RI) ustalono na poziomie równym 33,4 mm, natomiast suma opadu rocznego wyniosła 960,7 mm. Pod względem parametru RI sklasyfikowano zlewnię jako

silnie narażoną na ryzyko erozji (klasa 4), natomiast pod względem parametru R – bardzo silnie narażoną (klasa 5).

Na badanym obszarze występują trzy rodzaje pokrycia terenu (VC). Wyróżniono tu łąki i pastwiska oraz tereny zadrzewione, które są pokryte roślinnością przez cały rok (przyporządkowując klasę 1), a także grunty orne (pokryte roślinnością w okresie wegetacyjnym) (przyporządkowując klasę 3) i drogi polne, na których nie występuje pokrycie roślinnością (odpowiadające klasie 5). Z mapy pokrycia roślinności wykluczono obszary zabudowane oraz fragment drogi asfaltowej zlokalizowanej w północnym obszarze zlewni, na których nie występuje zjawisko erozji. Odwrotna sytuacja występuje w przypadku warstwy BS (tab. 7).

Stan erozji wodnej (ES) – na badanym obszarze pojawiła się erozja powierzchniowa i żłobinowa średnio widoczna (odpowiadająca 3 klasie ryzyka), wystąpiła ona w okolicy dróg polnych, które są wyżłobione oraz w okolicy cieku głównego i jego dopływów. Na cieku głównym oraz na dopływach do cieku głównego przyjęto klasę 5 odpowiadającą dużym skutkom erozji żłobinowej i wąwozowej. Na pozostałym obszarze w dniu wizji terenowej nie zauważono oznak erozji.

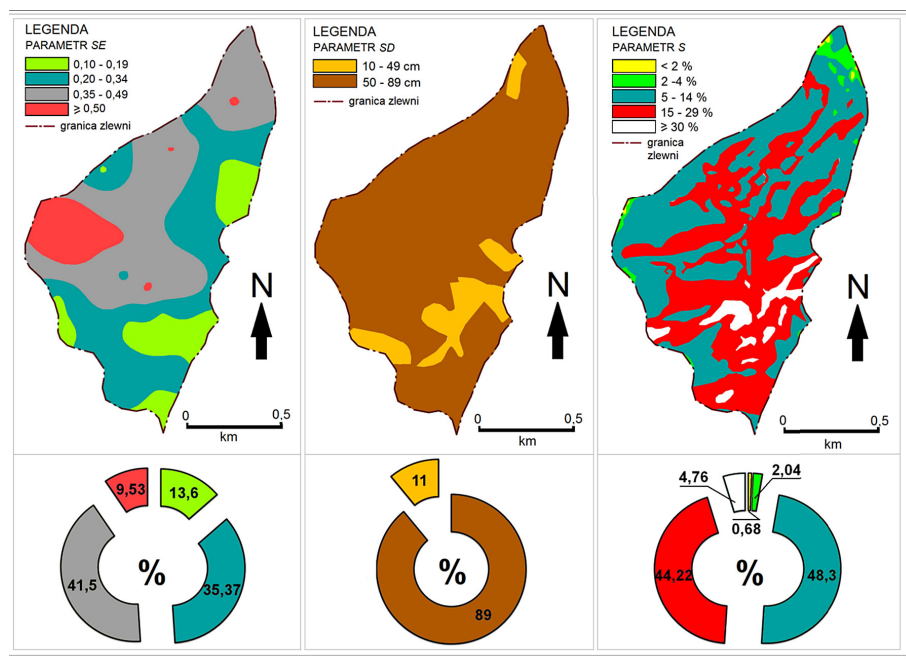
Kategorie gleb (G) opracowane na podstawie wyników badań glebowych wykazały pewne zróżnicowanie gruntów w zależności od lokalizacji próbek na zboczu. Pokrycie zlewni potoku

Tabela 5. Klasy podatności gleb na erozję SE

Lp.	Klasy ryzyka	Przedziały wartości	Powierzchnia [km^2]
1	brak (1)	$< 0,10$	0,00
2	słabe (2)	0,10 – 0,19	0,20
3	średnie (3)	0,20 – 0,34	0,52
4	silne (4)	0,35 – 0,49	0,61
5	bardzo silne (5)	$\geq 0,50$	0,14

Tabela 6. Klasy spadków terenu S

Lp.	Klasy ryzyka	Przedziały wartości	Powierzchnia [km^2]
1	brak (1)	$< 2 \%$	0,01
2	słabe (2)	2 – 4 %	0,03
3	średnie (3)	5 – 14 %	0,71
4	silne (4)	15–29 %	0,65
5	bardzo silne (5)	$\geq 30 \%$	0,07



Rys. 2. Rozkład przestrzenny oraz udział procentowy parametru SE, SD i S w zlewni potoku Mątny

Mątny zdominowane jest przez gleby gliniaste. Wśród gleb gliniastych na badanym obszarze dominuje glina piaszczysto-ilasta i glina zwykła, które stanowią 72,2% powierzchni całkowitej zlewni. Gleby w rodzaju gliny piaszczysto-ilastej występują w południowym obszarze zlewni oraz częściowo w środkowej jej części, natomiast gleby w rodzaju gliny zwykłej rozciągają się od środkowej do północnej części zlewni. Udział gleb w rodzaju gliny ilastej i gliny lekkiej jest symboliczny i stanowi odpowiednio około 4,1 i 0,6% powierzchni ogólnej zlewni tworząc nie-

wielkie enklawy na zboczach zachodnich zlewni (głina ilasta) oraz w okolicy przysiółka Skiby. Zachodnia część zlewni zdominowana jest przez gleby w rodzaju pyłu ilastego i stanowi ona około 23% powierzchni całkowitej zlewni (tab. 8). Na tej podstawie wyróżniono dwie klasy ryzyka zagrożenia erozji, klasę 1 dla gleb ciężkich oraz klasę 2 dla gleb średnich, gliniastych. Rozkład przestrzenny i udział procentowy parametrów BS/VC, ES oraz G, przedstawiono na rysunku 3.

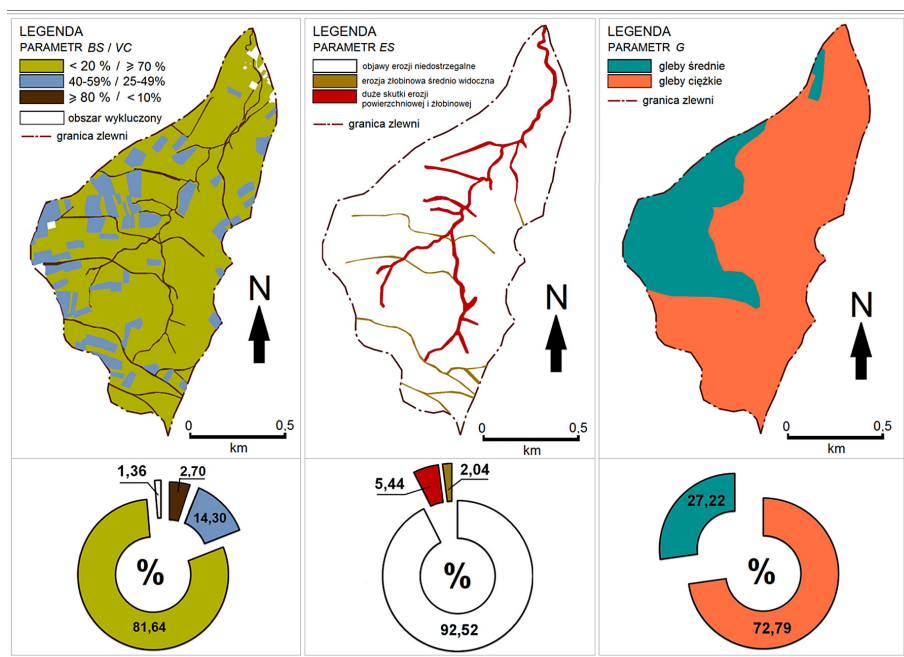
Po nałożeniu warstw tematycznych związanych z określonymi parametrami, oraz po uwzględ-

Tabela 7. Pokrycie roślinnością (VC) wraz z udziałem nieosłoniętej gleby (BS)

Lp.	Klasy ryzyka	Przedziały wartości		Powierzchnia [km ²]
		VC	BS	
1	brak (1)	≥ 70 %	< 20 %	1,19
2	słabe (2)	50 – 69 %	20 – 39 %	0,00
3	średnie (3)	25 – 49 %	40 – 59 %	0,21
4	silne (4)	10 – 24 %	60 – 79 %	0,00
5	bardzo silne (5)	< 10 %	≥ 80 %	0,04
6	obszar wykluczony			0,03

Tabela 8. Klasyfikacja gleb według normy PTG 2008

Gatunki i rodzaje gleb	Powierzchnia [km ²]	% udział w badanej zlewni
głina piaszczysto-ilasta – gpi	0,53	36,1
głina zwykła – gz	0,53	36,1
pył ilasty – pyi	0,34	23,1
głina ilasta – gi	0,06	4,1
głina lekka – gl	0,01	0,6
Suma	1,47	100,00

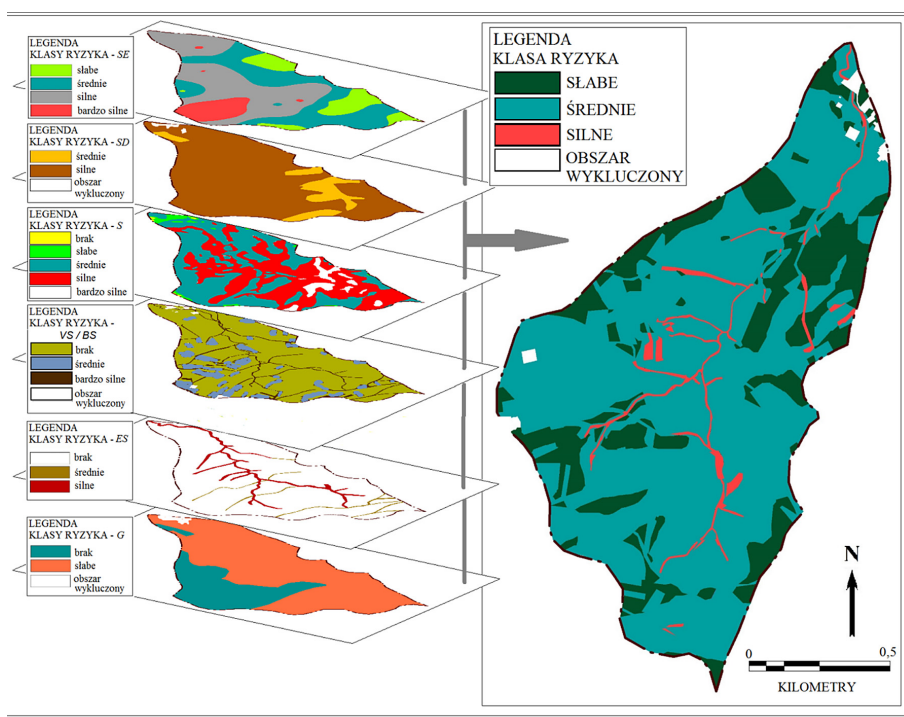


Rys. 3. Rozkład przestrzenny oraz udział procentowy parametrów BS/VC, ES oraz G w zlewni potoku Mątny

nieniu intensywności opadu (R) oraz sumy opadu rocznego (RI), dokonano oceny ryzyka wystąpienia erozji przyjętą metodą. Uzyskane wartości ER kształtowały się w przedziale od 27 do 51 punktów. Mapę klas ryzyka zagrożenia erozją oraz etapy jej generowania przedstawiono na rysunku 4.

Po dokonaniu obliczeń stwierdzono, iż słabe ryzyko zagrożenia erozją powierzchniową (ER

z przedziału 18,1–30,0 punktów) występuje na obszarze o powierzchni 0,31 km² stanowiącym 21,09% powierzchni zlewni, zagrożenie średnie obejmuje obszar 1,09 km² (ER z przedziału 30,1–42,0 punktów) zajmując 74,15% badanej powierzchni, natomiast zagrożenie silne (ER z przedziału 42,1–54,0 punktów) zajmuje 0,04 km² obszaru zlewni potoku Mątny i stanowi niespełna



Rys. 4. Klasy ryzyka oraz etapy ich generowania w zlewni potoku Mątny

3% powierzchni ogólnej. Obszar o powierzchni 0,03 km² wykluczono z analizy z/w na fakt, iż stanowi on tereny zabudowane. Na badanym obszarze po dokonanej analizie nie stwierdzono miejsc, w których ryzyko wystąpienia erozji powierzchniową *ER* odpowiadało przedziałowi 54,1–60,0 punktów (bardzo silne). Nie wystąpiły również obszary z pierwszego przedziału *ER* (brak erozji), poza obszarami wykluczonymi z/w na sposób zagospodarowania.

Jak można zauważyć, średnie ryzyko wystąpienia erozji wodnej powierzchniowej przypada na obszary o pokryciu roślinnością darniową oraz drzewami stanowiącymi lasy mieszane. Otrzymane wyniki są zgodne z poglądami zawartymi w pracach Gerlacha [1976] oraz Lipskiego i Kostucha [2005]. Roślinna pokrywa gleby, jaką stanowi las, zwłaszcza mieszany, właściwie uniemożliwia występowanie erozji, gdyż bardzo skutecznie osłania glebę przed bezpośrednimi uderzeniami kropeł deszczu, niszczącymi strukturę grudkową gleby i wypłukującymi z niej części spławiane. Ściółka leśna bywa zmywana jedynie podczas silnego przepływu wody. Niewielką skuteczność erozyjną mają również intensywne opady atmosferyczne na trwałych użytkach zielonych o gęstym zadarnieniu. Intensyfikacja procesów erozyjnych następuje przede wszystkim na gruntach ornych, gdzie szata roślinna okrywa glebę okresowo, a jej wierzchnia warstwa poddawana zostaje zabiegom spulchniającym, które sprzyjają zmywom powierzchniowym.

WNIOSKI

Zastosowana metoda określania ryzyka erozji może znaleźć bardzo duże zastosowanie przy projektowaniu zabiegów przeciwoerozyjnych, chroniących glebę zarówno przed erozją powierzchniową, jak i erozją żłobinową i wąwózową, gdyż dzięki przyjętym parametrom pozwala na oszacowanie miejsc najbardziej podatnych na te rodzaje erozji. Zinventaryzowanie miejsc, w których według modelu wygenerowano silne ryzyko wystąpienia erozji wodnej, przypadające na obszary pokrywające się z ciekami głównymi oraz grunty orne w terenach o spadkach z przedziału 15–29% daje rolnikom możliwość podjęcia odpowiednich zaleceń przeciwoerozyjnych. Zastosowanie odpowiedniego płodozmianu przeciwoerozyjnego na gruntach ornych oraz umocnienie koryt cieku spowodowałoby zniwelowanie ewentualnych

szkod erozyjnych występujących w przyszłości. Zaproponowana metoda, jest metodą stosunkową prostą i mało czasochłonną. W odróżnieniu od modelu USLE, model ten wymaga mniejszej ilości danych wejściowych, które mogą być w pełni zidentyfikowane w oparciu o metody i bazy danych wchodzących w zakres szeroko rozumianych metod GIS. Model ten, poprzez uwzględnienie założonych rozpiętości przedziałów oraz cech stałych, takich jak: współczynnik podatności gleby na erozję, głębokość gleby, spadek terenu, stan erozji wodnej i podłoże geologiczne może stanowić model uniwersalny do szacowania ryzyka wystąpienia erozji. Elementy zmienności w modelu dotyczą wysokości oraz intensywności opadu atmosferycznego, a także pokrycia terenu na gruntach ornych. Rozważając zmienność opadu należy zauważyć, iż hipotetyczny jego wzrost nie wpłynie na wyniki symulacji, parametr ten już teraz znajduje się w klasie bardzo wysokiego ryzyka. Natomiast zwiększenie intensywności opadu, który znalazł się na granicy przedziałów, mógłby spowodować wzrost udziału obszarów o wyższym niż teraz oszacowanym ryzyku wystąpienia erozji wodnej. Zmiana sposobu użytkowania na gruntach ornych polegająca na zastąpieniu uprawy roślin okopowych np. roślinami motylkowatymi zwiększyłaby czas i stopień pokrycia roślinnością tych terenów, wpływając na zmniejszenie klas ryzyka wystąpienia erozji wodnej.

LITERATURA

1. BN/78/9180–11. Gleby I utwory mineralne. Podział na frakcje i grupy granulometryczne.
2. Delbaere B. 2003. Environmental risk assessment for European agriculture: interim report. European Center for Nature Conservation, Tilburg.
3. Gerlach T. 1966. Współczesny rozwój stoków w dorzeczu górnego Grajcarka (Beskid Wysoki – Karpaty Zachodnie). Pr. Geogr. IG PAN, 52, 111.
4. Instrukcji nr 3 Ministra Rolnictwa oraz Ministra Leśnictwa i Przemysłu Drzewnego z 18.VIII. 1973 r. w sprawie zasad inwentaryzacji gruntów zagrożonych erozją (Dz. U. z 1973, nr 8, poz. 43).
5. Józefaciuk A., Józefaciuk Cz. 1992. Struktura zagrożenia erozją wodną fizjograficznych krain Polski. Pamiętnik Puławski, 101, 23–49.
6. Lipski C., Kostuch R. 2005. Kształtowanie krajobrazów terenów erodowanych. Acta Agrophysica 5(2), 245–252.
7. Masoudi M., Patwardhan A. M. 2006. Risk assess-

- ment of water erosion for the Qareh Aghajsubbasin, southern Iran. *Stoch Environ Res Risk Assess*, 21, 15–24.
8. Mocek A. 2015. *Gleboznawstwo*. Wydawnictwo Naukowe PWN SA, Wydanie 1, Warszawa.
 9. Musgrave G.W. 1949. Designing agronomic practices to meet specific erosion hazards, *J. Soil & Water Conserv.* 4, 99–102.
 10. Oleksynowa K., Tokaj J., Jakubiec J. 1991. *Przewodnik do ćwiczeń z Gleboznawstwa i Geologii, cz. II Metody laboratoryjne analizy gleby, W.6, Skrypty dla Szkół Wyższych*, Akademia Rolnicza, Kraków.
 11. Pike A.C., Mueller T.G., Schörgendorfer, Shearer S.A., Karathanasis A.D. 2009. Erosion Index Derived from Terrain Attributes using Logistic Regression and Neural Net-works, *Agronomy Journal*, 101(5), 1068–1079.
 12. Smith D.D. 1941. Interpretation of soil conservation data for field use. *Agr. Eng.* 22, 173–175.
 13. USDA. 1951. *Soil Survey Manual* U. S. Department of Agriculture Handbook 18. US Department of Agriculture, Soil Conservation Staff, U.S. Government Printing Office, Wash. D. C.
 14. Wischmeier W.H., Smith D.D. 1978. Predicting Rainfall erosion losses – a guide to conservation planning; Supersedes Agriculture Handbook No. 282; Washington, 4–11.
 15. Zingg A.W. 1940. Degree and length of land slope as it affects soil loss in runoff, *Agric. Eng.* 21, 59–64.