

Artur Łopatka, Tomasz Stuczyński, Jerzy Kozyra

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

WYKORZYSTANIE METOD MODELOWANIA W PRZESTRZENNEJ
ANALIZIE ZAGROZEŃ GLEB EROZJĄ WIETRZNĄ W KONTEKŚCIE
EUROPEJSKIEJ STRATEGII GLEBOWEJ*

Wstęp

Ze względu na wzrastającą rolę zarządzania zasobami przestrzeni i różnymi jej funkcjami obserwuje się wzrost zainteresowania bazami danych i możliwościami ich wykorzystania w procesach modelowania. Opracowania przestrzenne charakteryzujące gleby były do tej pory dostępne w formie analogowej. Przetworzenie do postaci cyfrowej map glebowo-rolniczych w skali 1:100 000 wykonane w ramach realizacji zadań programu wieloletniego IUNG - PIB umożliwia wykorzystanie danych glebowych w modelowaniu procesów zachodzących w przestrzeni. Nabiera to szczególnego znaczenia w kontekście przyjętego w 2006 roku dokumentu Europejskiej Strategii Glebowej (4). Strategia zakłada konieczność przestrzennego rozpoznania podstawowych zagrożeń gleb decydujących o ryzyku ograniczenia ich istotnych funkcji produkcyjnych, buforowych, retencyjnych, siedliskowych i kulturowych. W dokumencie strategii dużą wagę przywiązuje się do wykorzystania metod modelowania w celu wyznaczenia zagrożeń, takich jak spadek zawartości materii organicznej, erozja, zagęszczenie gleb, zasklepienie gleb w wyniku urbanizacji, osuwiska i zasolenie. Należy podkreślić, że przestrzenne opracowania zasięgów zagrożeń metodami pomiarowymi jest często niemożliwe z uwagi na duże koszty prac. Stosowane często w przeszłości oszacowania przestrzenne zagrożeń na podstawie kryteriów ustalonych przez ekspertów mają charakter wybitnie jakościowy, a przez to ograniczoną wiarygodność.

Z drugiej zaś strony słabością algorytmów wykorzystywanych w modelach opisujących mechanizmy analizowanych procesów jest trudność ich kalibracji i ograniczona dostępność danych rzeczywistych stanowiących parametry modelu. Opis poligonów na mapie glebowo-rolniczej, której podstawową treścią są kompleksy przydatności rolniczej gleb zawiera atrybuty uziarnienia profilu glebowego. Połączenie cyfrowej wersji mapy z bazą 4500 tak zwanych profili wzorcowych, zawierającą informacje o ich położeniu geograficznym oraz ilościowych charakterystykach właściwości po-

* Opracowanie wykonano w ramach zadań 1.1 i 1.3 w programie wieloletnim IUNG - PIB

szczególnych poziomów umożliwia generowanie map parametrów fizykochemicznych jako danych wejściowych dla potrzeb modelowania. We wcześniejszej publikacji (13) przedstawiono możliwości wykorzystania mapy glebowo-rolniczej do modelowania zagrożeń erozyjnych, spadku zawartości materii organicznej w glebach i zagęszczenia gleb. Słabo rozpoznany do tej pory zagadnieniem są zagrożenia będące następstwem erozji wietrznej. W wielu dotychczasowych publikacjach koncentrowano się na skutkach mierzonych w skali pola (11). Dość dobrze rozpoznane są również czynniki glebowo-klimatyczne decydujące o intensywności strat gleby w wyniku procesów erozyjnych (2, 3, 6, 7). Dane te nie były jednak do tej pory zintegrowane w postaci opracowania przestrzennego dla regionu bądź kraju.

W pracy przedstawiono wyniki pilotażowego wdrożenia modelu erozji wietrznej gleb dla województwa podlaskiego. Praca stanowi część cyklu opracowań poświęconych modelowaniu procesów degradacji gleb, mających na celu przestrzenną identyfikację zagrożeń i ich skali, jako jednej z podstaw dla wdrażania postulatów Strategii Glebowej w Polsce.

Założenia metodyczne

Zjawisko erozji wietrznej polegające na niszczeniu pokrywy glebowej w wyniku działania wiatru jest złożonym procesem zależnym od wzajemnego układu wielu czynników naturalnych i antropogenicznych. Do podstawowych czynników kształtujących nasilenie erozji wietrznej należy zaliczyć podatność materiału glebowego na wywiewanie, wilgotność gleb, prędkość wiatru, położenie w terenie, czas i sposób prowadzenia zabiegów uprawowych oraz stopień pokrycia roślinnością (6). Proces eolicznego przekształcania pokrywy glebowej można podzielić na trzy fazy: deflację, czyli wywiewanie, transport eoliczny i akumulację. Erozyjne straty gleby w danym obszarze są różnicą między wartością deflacji i akumulacji. Ponieważ proces akumulacji jest w porównaniu z deflacją przestrzennie mało zróżnicowany, stąd dobrym oszacowaniem przestrzennej zmienności strat erozyjnych jest deflacja. Z uwagi na złożoność interakcji zachodzących pomiędzy czynnikami kształtującymi deflację w modelowaniu procesu erozji wietrznej gleb stosuje się często metody jakościowe. Systemy Informacji Geograficznej (GIS) stwarzają potencjalną możliwość wykonywania analiz ilościowych, ale nie zawsze dysponujemy niezbędnymi danymi wejściowymi. Pierwszym etapem w takich analizach jest ocena potencjalnej deflacji. Wielkość ta wyraża ilość wywiewanej gleby w warunkach niskiego uwilgotnienia z jednostkowej powierzchni terenu pozbawionej okrywy roślinnej w jednostce czasu. Ilościowa ocena deflacji wymaga uwzględnienia trzech czynników: warunków wietrznych, rzeźby terenu i podatności gleb na deflację. Dla celów tego opracowania wykonano doświadczalne pomiary wywiewania cząstek z podstawowych gatunków gleb dominujących w pokrywie glebowej obszarów polodowcowych. Pomiary wykonano w stanach niskiej wilgotności gleb w celu scharakteryzowania deflacji potencjalnej, biorąc pod uwagę fakt, że gleby przesuszone są najbardziej podatne na wywiewanie. Pomiary podatności na

wywiewanie wykonano przy wietrze $7,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ trwającym przeciętnie 5 godzin, przy nachyleniu powierzchni równym 10% (10). Na podstawie uzyskanych danych pomiarowych wyznaczono funkcję wielkości deflacji w zależności od składu granulometrycznego gleb, tzn. zawartości frakcji piasku, pyłu i części spławialnych. Dysponując cyfrową mapą gleb oraz opisem rzeźby terenu i warunków wietrznych dokonano ilościowej oceny zagrożenia erozją wietrzną w województwie podlaskim.

Opis modelu

Postać funkcji opisującej wielkość potencjalnej deflacji (D_{pot}) według przedstawionej koncepcji można zapisać wzorem:

$$D_{pot} = \lambda S(Sa, Si, Cl)W(V_i, f_i, h, sl, \varphi) \quad (1)$$

gdzie: S jest funkcją składu granulometrycznego gleby, czyli zawartości frakcji piasku (Sa), pyłu (Si) oraz części spławialnych (Cl); (rys. 1):

$$S = \text{Exp}(-1,85 \text{Ln}(Cl) - 1,09 \text{Ln}(Si) - 1,07 \text{Ln}(Sa) + 15,66) \quad R^2 = 0,57 \quad (2)$$

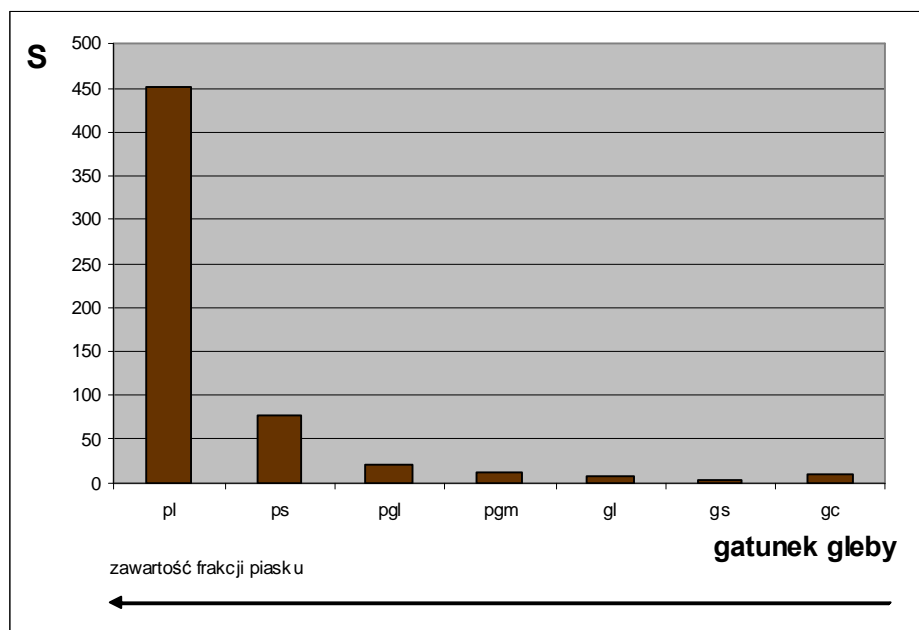
Stała $\lambda = 1/578,5$ została wybrana tak, aby wartość deflacji potencjalnej była w przybliżeniu masą gleby (w tonach) potencjalnie wywiewanej z jednego hektara w ciągu jednego roku.

Na podstawie danych literaturowych przyjęto, że średnia deflacja potencjalna dla Polski wynosi $30 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. Ponadto założono, że deflacja potencjalna w województwie podlaskim jest zbliżona do średniej deflacji potencjalnej dla kraju. Należy podkreślić, że wyznaczona w ten sposób bezwzględna wartość deflacji jest arbitralna i w przeciwieństwie do względnego zróżnicowania deflacji zobrazowanego na mapie traktowana być musi jedynie jako informacja pogładowa.

Ogólna postać wzoru opisującego wpływ rzeźby i warunków wietrznych na deflację jest następująca:

$$W = \sum_{i=1}^8 \left[f_i \left(1 + \frac{sl}{90} \Omega_i \right)^k V^3(V_i, h, \varphi) \right] \quad (3)$$

gdzie: f indeksowane przez i są częstościami wiatrów w 8 głównych kierunkach róży wiatrów, sl jest nachyleniem stoku w stopniach, Ω i k są współczynnikami empirycznymi, a V jest średnią prędkością wiatru wyznaczoną z algorytmów modelu agroklimatu Polski (5). Zależy ona od wysokości nad poziom morza (h), szerokości geograficznej (φ) i współczynnika dla prędkości wiatru w 8 kierunkach róży wiatrów (V_i). Powyższy wzór oznacza, że w celu uzyskania łącznej ilości wywianej gleby należy zsumować ilości gleby wywiewanej w okresach, gdy wiatr wieje w każdym z ośmiu przedziałów kierunków wyznaczonych przez różę wiatrów.



Rys. 1. Zależność funkcji S od zawartości frakcji piasku w różnych gatunkach gleby
 Źródło: Opracowanie własne.

Erodująca siła wiatru, jak wynika z badań *Chepila* (3), jest proporcjonalna do trzeciej potęgi prędkości wiatru i zależy od nachylenia stoku, tak jak to przedstawiono w tabeli 1.

Konieczna poprawka uwzględniająca rzeźbę terenu i odróżniająca wzór na funkcję W od wzoru *Skidmore'a i Woodruffa* (12) jest zapisana jako wyraz podniesiony do potęgi k . Jego konstrukcja została przeprowadzona tak, aby spełnić następujące warunki (8):

1. wzór powinien być możliwie prosty i zawierać niewielką liczbę stałych empirycznych;
2. skutek erozyjny wiatru wiejącego wzdłuż stoku jest taki sam, jak wiatru wiejącego nad powierzchnią nienachyloną;

Tabela 1

Względne wartości deflacji przy zróżnicowanej rzeźbie terenu

Spadek stoku (sl) (%)	Względna wartość deflacji (Drel)	
	wierzchowina	górną część stoku
do 1,5	100	100
3,0	150	130
6,0	320	230
10,0	660	370

Źródło: *Chepil W. S. i in.*, 1964 (2).

3. w przypadku granicznego nachylenia 90° na zawietrznej erozja nie występuje;
4. wiatry pośrednie między wiatrem prostopadłym i równoległym do kierunku nachylenia stoku mają skutek erozyjny większy od wiatru równoległego o pewien ułamek tego o ile większy skutek erozyjny ma wiatr prostopadły od wiatru równoległego do stoku. Wartość tego ułamka to *cosinus* kąta pomiędzy wektorem prędkości wiatru a ekspozycją stoku;
5. wpływ nachylenia stoku na wartość deflacji jest taki, jak u C h e p i l a (2).

Wymóg spełnienia warunków 2-4 pozwala wyznaczyć współczynniki Ω zależne od kierunku wiatru i ekspozycji stoków (tab. 2).

Tabela 2

Postać współczynników Ω w zależności od kierunków wiatrów i ekspozycji stoku

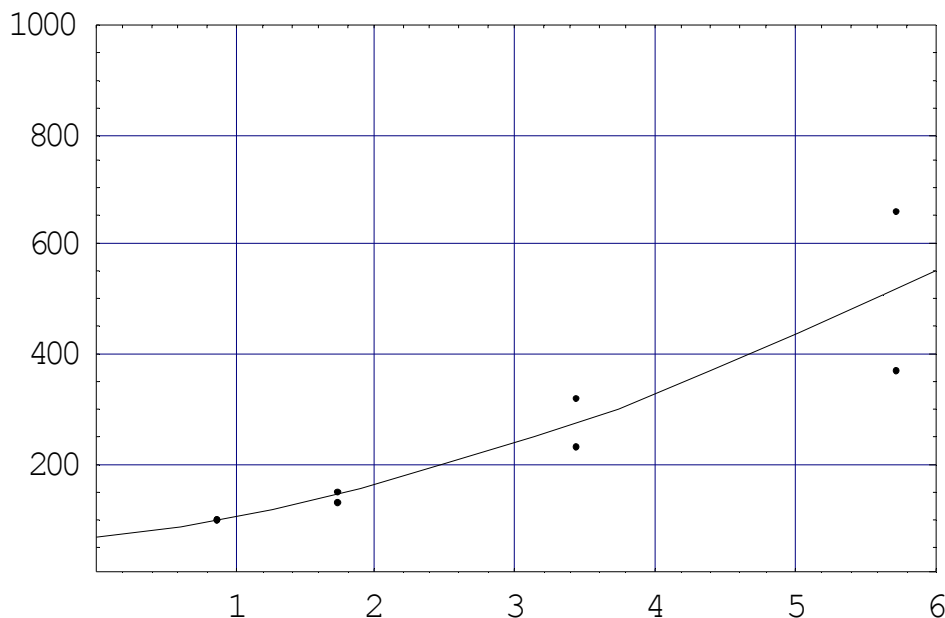
Ekspozycja stoku Kierunek wiatru	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
N	Ω	$\frac{\sqrt{2}}{2} \omega$	0	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	-1	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	0	$\frac{\sqrt{2}}{2} \omega$
NE	$\frac{\sqrt{2}}{2} \omega$	Ω	$\frac{\sqrt{2}}{2} \omega$	0	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	-1	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	0
E	0	$\frac{\sqrt{2}}{2} \omega$	ω	$\frac{\sqrt{2}}{2} \omega$	0	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	-1	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$
SE	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	0	$\frac{\sqrt{2}}{2} \omega$	ω	$\frac{\sqrt{2}}{2} \omega$	0	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	-1
S	-1	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	0	$\frac{\sqrt{2}}{2} \omega$	ω	$\frac{\sqrt{2}}{2} \omega$	0	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$
SW	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	-1	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	0	$\frac{\sqrt{2}}{2} \omega$	ω	$\frac{\sqrt{2}}{2} \omega$	0
W	0	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	-1	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	0	$\frac{\sqrt{2}}{2} \omega$	ω	$\frac{\sqrt{2}}{2} \omega$
NW	$\frac{\sqrt{2}}{2} \omega$	0	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	-1	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	0	$\frac{\sqrt{2}}{2} \omega$	ω

Źródło: Opracowanie własne.

Wielkość ω jest stałą, która wraz ze stałą k mogą być wyznaczone dzięki spełnieniu warunku 5 przez dopasowanie funkcji:

$$Drel(sl) = const. \left\{ \left[\frac{1}{8} \left(1 + \frac{sl}{90} \omega \right)^k \right] + \left[\frac{1}{8} \left(1 + \frac{sl}{90} (-1) \right)^k \right] + \left[\frac{2}{8} \left(1 + \frac{sl}{90} 0 \right)^k \right] + \left[\frac{2}{8} \left(1 + \frac{sl}{90} \left(\frac{\sqrt{2}}{2} \omega \right) \right)^k \right] + \left[\frac{2}{8} \left(1 + \frac{sl}{90} \left(-\frac{\sqrt{2}}{2} \right) \right)^k \right] \right\} \quad (4)$$

do danych doświadczalnych (tab. 1).



Rys. 2. Dopasowanie funkcji Drel do danych doświadczalnych

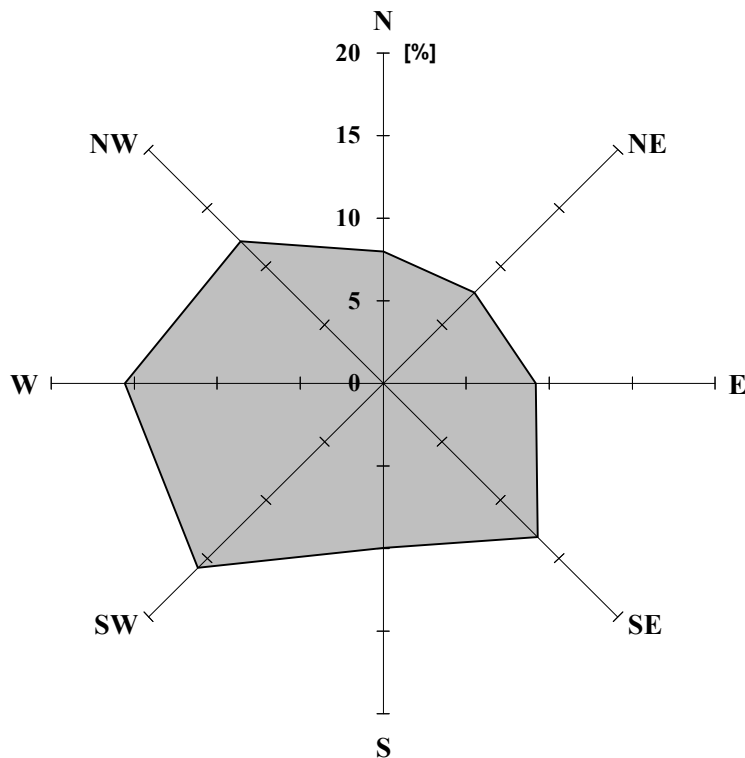
Źródło: Opracowanie własne.

W rezultacie uzyskuje się: $k = 1,83$ i $\omega = 79,8$; przy $R^2 = 0,94$ (rys. 2).

Opis warunków wietrznych

Wartości częstości wiatru f_i (wzór 1) dla 8-kierunkowej róży wiatrów zostały wyznaczone jako średnia z 4 stacji meteorologicznych w województwie podlaskim (rys. 3). Z przeprowadzonej analizy wynika, że na obszarze tym dominują wiatry z sektora zachodniego (SW – 15,8%, W – 15,6%, NW – 12,1%). Ponadto dużą częstość w tym regionie mają wiatry z kierunku SE – 13,2%. Najmniejsze częstości wiatrów występują z kierunków NE – 7,8%, N – 8,0%, E – 9,2%, S – 10,0%.

Średnie prędkości wiatru (V) w województwie podlaskim (rys. 4) wyznaczono według algorytmu średnich prędkości wiatru w Polsce z modelu agroklimatu Polski (5). W algorytmie tym notowania z poszczególnych stacji opisane zostały metodą analizy harmonicznej w funkcji współrzędnych geograficznych (h i φ). Ponadto algorytm uwzględnia dwie poprawki związane z położeniem komórki grida w obrębie dolin i wierzchołków. Przyjęto że doliny pokrywają się z obszarami kompleksów przydatności rolniczej – użytki zielone (1z, 2z, 3z), a jako wierzchołki sklasyfikowano obszary o spadkach od 0 do 5%. Obliczona według algorytmu średnia prędkość wiatru w województwie podlaskim wynosi $3,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Minimalne wartości występują w dolinach części południowo-zachodniej (około $3,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$), a maksymalne na obszarach wyżej położonych w północnej części województwa (powyżej $5,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$). Średnie

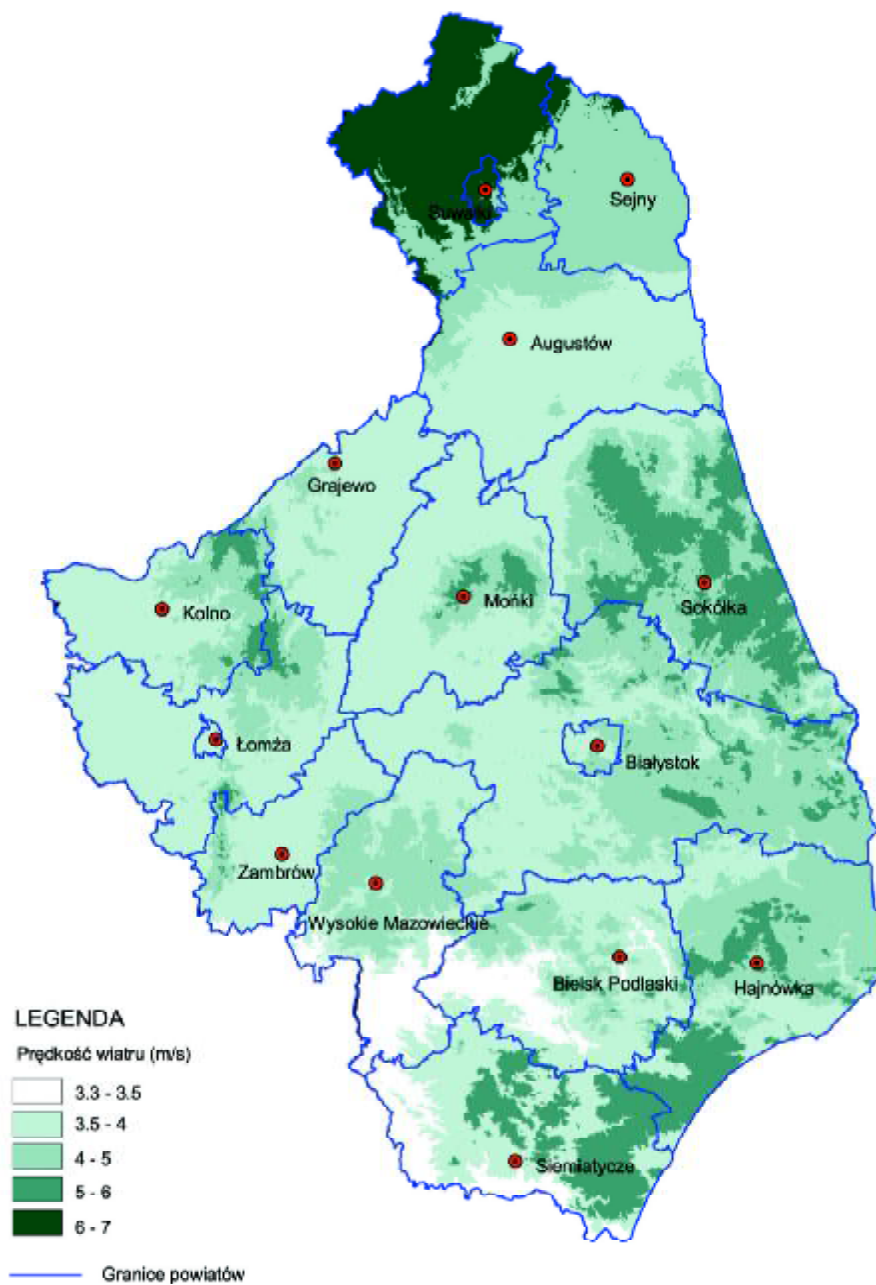


Rys. 3. Udział kierunków wiatru w województwie podlaskim (%)

Źródło: Opracowanie własne.

prędkości wiatru w zależności od kierunku określono na podstawie notowań z 4 stacji znajdujących się na obszarze województwa, wyznaczając odpowiednie wagi względem wartości średniej (tab. 3). Z przeprowadzonej analizy wynika, że średnie prędkości wiatru z kierunku W są większe od wartości średniej prędkości o 13%, a z kierunków SE i SW większe o około 10%. Natomiast średnie prędkości wiatrów z kierunków N i NE są mniejsze od średniej prędkości o około 15%.

Średnie prędkości i częstości występowania wiatru według 8-kierunkowej róży wiatrów ze stacji w Białej Podlaskiej, Białymstoku, Osowcu, Sokółce i Suwałkach zaczerpnięto z „Atlasu klimatycznego Polski” (1). Do wyznaczenia średniej prędkości wiatru dla punktów modelu wysokościowego wykorzystano algorytm opracowany na podstawie danych dla całej Polski z modelu agroklimatu (5). Cyfrowy model wysokościowy wykorzystany w pracy obejmował obszar województwa podlaskiego. Zawartość poszczególnych frakcji granulometrycznych została wyznaczona według algorytmu opisanego szczegółowo w metodzie wyznaczania retencyjności gleb województwa podlaskiego (9).



Rys. 4. Średnie prędkości wiatru w województwie podlaskim
Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 3

Średnie prędkości wiatru w województwie podlaskim z 8 kierunków róży wiatrów (V_k) i wartość względna (V_i) w stosunku do wartości średniej

Kierunek wiatru	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
V_k	3,2	3,3	4,0	4,3	3,8	4,2	4,3	3,7
$V_i(V_k/V)$	0,84	0,85	1,03	1,11	0,98	1,10	1,13	0,97

Źródło: Opracowanie własne.

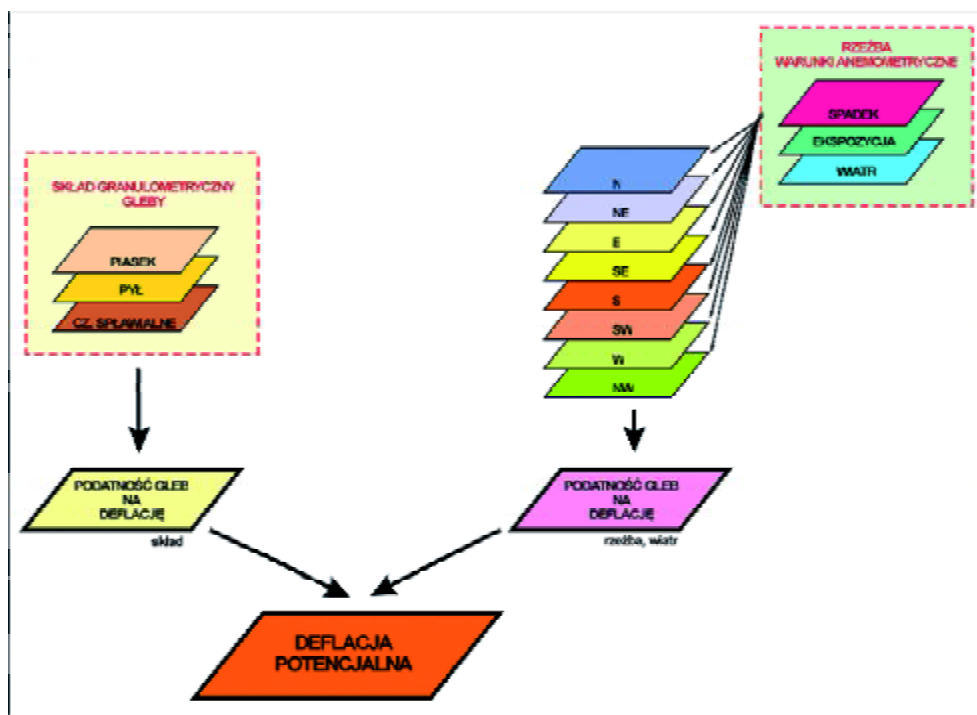
Algorytm analizy erozji wietrznej

Analizy GIS wykonano w programie ERDAS IMAGINE. Pierwszym etapem pracy było wyodrębnienie dolin i wierzchołków do potrzeb algorytmu wyznaczającego średnią prędkość wiatru. Następnie opracowano mapę ekspozycji stoków, która została przeklasyfikowana zgodnie z 8-kierunkową różą wiatrów i mapą spadków. Wyznaczone warstwy posłużyły jako dane wejściowe do określenia (według zaprezentowanej metody) potencjalnej deflacji (D_{pot}); (rys. 5).

Mapa erozji wietrznej gleb województwa podlaskiego

Na mapie potencjalnej erozji wietrznej gleb została zobrazowana przestrzenna zmienność deflacji modelowana z zastosowaniem opisanej metody (rys. 6). Opracowanie oddaje istotę deflacji potencjalnej, niemniej przyjęto, że na obszarach leśnych i użytkach zielonych deflacja jest znikoma i wymienione użytki zostały zakwalifikowane do terenów, na których erozja nie występuje. W opracowaniu wyróżniono cztery kategorie narażenia gleb na erozję:

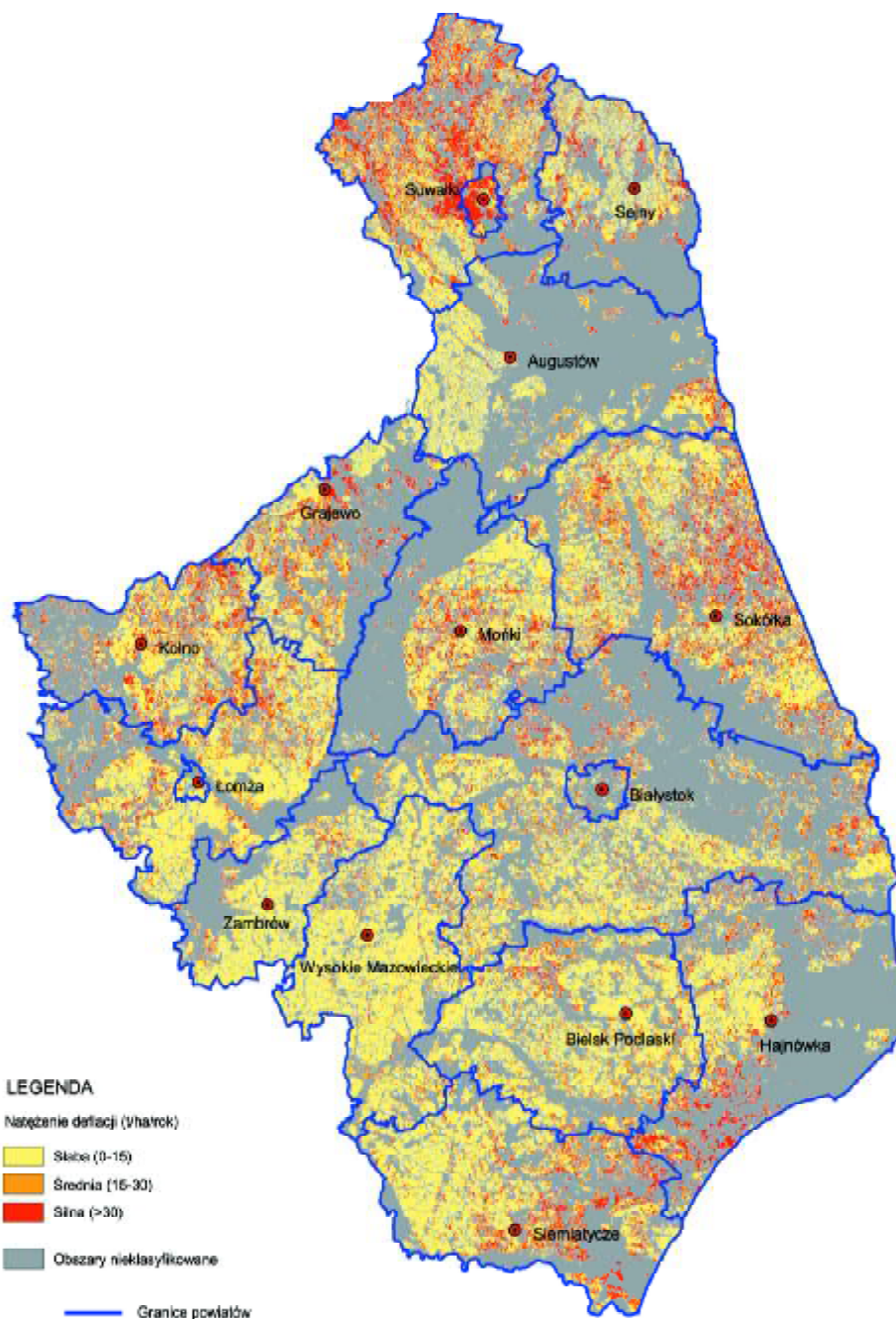
1. nie występuje (lasy, użytki zielone, wody, tereny zabudowane, nieużytki rolnicze, nieużytki wodne, żwirny);
2. słaba ($0-15 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$), występująca na 68,84% powierzchni gruntów orných woj. podlaskiego;
3. średnia ($15-30 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$), występująca na 13,39% powierzchni woj. podlaskiego;
4. silna (powyżej $30 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$), występująca na 17,77% powierzchni woj. podlaskiego.



Rys. 5. Schemat algorytmu obliczeń deflacji potencjalnej

Źródło: Opracowanie własne.

Przedstawione na mapach wyniki stanowią pierwszą w Polsce próbę ilościowego podejścia do wyznaczenia przestrzennego zróżnicowania deflacji z uwzględnieniem właściwości gleb i topoklimatu. Opracowana metoda może być wykorzystana w dalszych pracach zmierzających do ilościowej oceny erozji wietrznej gleb w Polsce. Do obszarów najbardziej narażonych na erozję wietrzną w województwie podlaskim należy zaliczyć następujące powiaty: suwalski, sokólski, kolneński, hajnowski i grajewski (tab. 4). Najmniejszym zagrożeniem erozją wietrzną charakteryzuje się pokrywa glebowa powiatów zambrowskiego i wysoko-mazowieckiego. Na obszarach, gdzie zagrożenie erozją wietrzną w stopniu silnym obejmuje ponad 20% powierzchni gleb uzasadnione jest wdrożenie odpowiednich działań zapobiegawczych, do których należy przede wszystkim wykonywanie zabiegów uprawowych przy optymalnym uwilgotnieniu gleb. Dodać należy, że wobec wydatnego zmniejszenia emisji pyłów pochodzenia przemysłowego w ostatnich latach istotnym źródłem zapylenia powietrza są procesy erozji wietrznej. Zagadnienie to nie jest dostatecznie doceniane jako istotny czynnik kształtujący poziom narażenia zdrowotnego populacji zamieszkującej obszary zagrożone.



Rys. 6. Potencjalna erozja wietrzna gleb województwa podlaskiego
Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 4

Powierzchnie gruntów ornych (GO) narażonych na różne stopnie erozji wietrznej według powiatów

Powiat	Erozja słaba		Erozja średnia		Erozja silna	
	ha	%	ha	%	ha	%
Augustów	34576,1	78,4	5210,8	11,8	4290,4	9,7
Białystok	78953,8	69,7	18315,3	16,2	16081,4	14,2
Bielsk Podlaski	62058,7	79,5	9915,1	12,7	6098,4	7,8
Grajewo	24442,2	59,9	6772,0	16,6	9576,4	23,5
Hajnówka	29497,3	59,0	6691,2	13,4	13768,3	27,6
Kolno	30323,5	58,6	9115,1	17,6	12299,3	23,8
Łomża	60459,6	76,5	9501,3	12,0	9034,6	11,4
Mońki	35909,1	69,4	6437,8	12,4	9398,4	18,2
Sejny	22939,4	70,6	2652,9	8,2	6887,3	21,2
Siemiatycze	53991,8	70,1	8827,0	11,5	14158,7	18,4
Sokółka	65690,4	60,3	16535,5	15,2	26663,4	24,5
Suwałki	32595,8	40,6	15776,9	19,6	31954,5	39,8
Wysokie Mazowieckie	75548,6	89,0	6364,6	7,5	3011,4	3,5
Zambrów	32652,3	88,7	2260,3	6,1	1905,6	5,2
WOJ. PODLASKIE	639618,9	68,8	124365,5	13,4	165131	17,8

Źródło: Opracowanie własne.

Literatura

1. Atlas klimatyczny Polski. Część tabelaryczna – wiatr. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 1971.
2. Ch e p i l W. S., S i d d o w a y F. H., A r m b r u s t D. V.: Wind erodibility of knolly terrain. J. Soil Water Conserv., 1964, **19(5)**: 179-181.
3. Ch e p i l W. S.: Influence of moisture on erodibility of soil by wind. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 1956, **20**: 288-291.
4. COM 231 Communication from the Commission to The Council and European Parliament. The European Economic and Social Committee of The Regions. Thematic Strategy for Soil Protection, 2006.
5. G ó r s k i T., Z a l i w s k i A.: Model agroklimatu Polski. Pam. Puł., 2002, **130**: 251-260.
6. J ó z e f a c i u k Cz., J ó z e f a c i u k A.: Erozja agroekosystemów. Bibl. Monit. Środ., Warszawa, 1995.
7. J ó z e f a c i u k Cz., J ó z e f a c i u k A.: Mechanizm i wskazówki metodyczne badania procesów erozji. Bibl. Monit. Środ., Warszawa, 1996.
8. K o z y r a J., Ł o p a t k a A., P u d e ł k o R.: Próba oceny deflacji do potrzeb modelowania potencjalnej erozji wietrznej gleb. Mat. XXXIV Semin. Zast. Matematyki, Kobyla Góra, 2004.
9. Ł o p a t k a A., S t u c z y Ń s k i T., C z y ż E., K o z y r a J., J a d c z y s z y n J.: Analiza warunków wodnych gleb i zagrożeń związanych z suszą na przykładzie województwa podlaskiego. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2007, **5**: 79-105.
10. N o w o c i e Ń E., P o d o l s k i B., W a w e r R., J a d c z y s z y n J.: Określenie wskaźników podatności różnych gatunków gleb na erozję wodną i wietrzną. Raport końcowy z tematu badawczego nr 2.21. IUNG Puławy, 2002.

11. P o d s i a d ł o w s k i S.: Rola uprawy mechanicznej w stymulacji procesu erozji eolicznej gleb lekkich. Roczn. AR Poznań, Rozpr. Nauk., 1995, **264**.
12. S k i d m o r e E. L., W o o d r u f f N. P.: Wind erosion forces in the United States and their use in predicting soil loss. USDA, ARS, Agriculture Handbook, 1968, **346(42)**.
13. S t u c z y Ń s k i T., K o z y r a J., Ł o p a t k a A., S i e b i e l e c G., J a d c z y s z y n J., K o z a P., D o r o s z e w s k i A., W a w e r R., N o w o c i e Ń E.: Przyrodnicze uwarunkowania produkcji rolniczej w Polsce. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2007, **7**: 77-115.

Adres do korespondencji:

dr Artur Łopatka
Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel.: (081) 886-34-21, w 325
e-mail: artur@iung.pulawy.pl

