

Ewa Smolska

*Uniwersytet Warszawski*

INTENSYWNOŚĆ EROZJI ŻŁOBINOWEJ NA OBSZARACH  
MŁODOGLACJALNYCH W ŚWIETLE BADAŃ TERENOWYCH  
W ZLEWNI GÓRNEJ SZESZUPY (POJEZIERZE SUWAŃSKIE, POLSKA NE)

**Wstęp**

Obszar pojezierzy wyróżnia się wśród nizin bardziej urozmaiconą rzeźbą oraz mozaikowatością pokrywy glebowej. Uwzględniając potencjalne warunki rozwoju erozji wodnej na stokach są to tereny w znacznie mniejszym stopniu zagrożone erozją niż wyżynne czy podgórskie (9). Obok znacznych spadków terenu przeważają tam stoki krótkie (tzw. rzeźba krótkopromienna), które wyraźnie ograniczają rozwój żłobin.

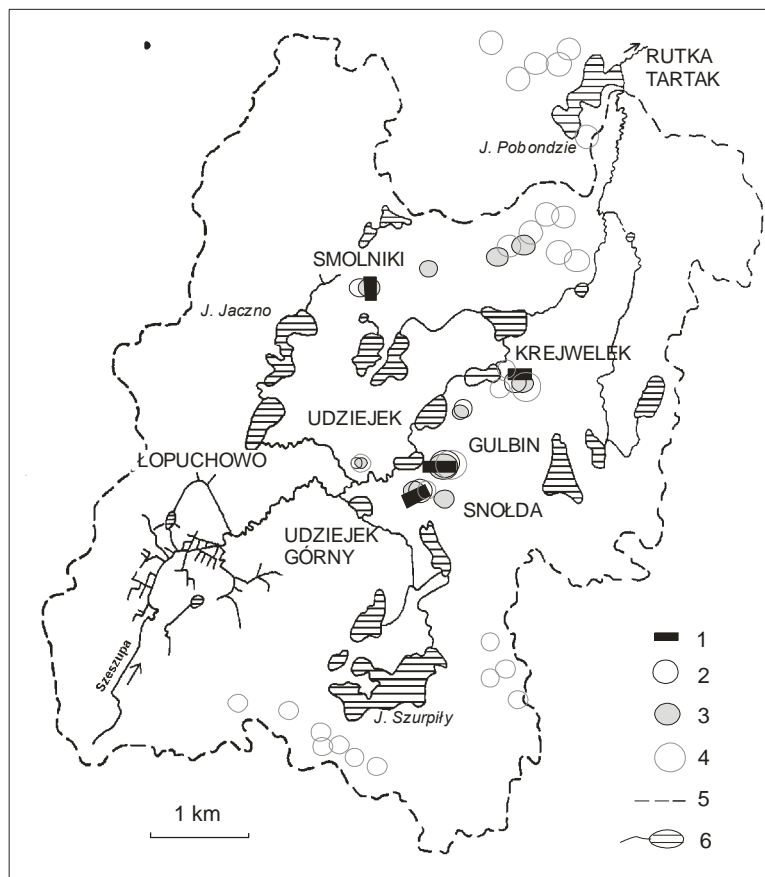
Dotychczasowe badania w Polsce północnej wskazują, że okresowo dochodzi do formowania się żłobin, a erozja może osiągać ponadprzeciętne natężenie (13). Zwracano wielokrotnie uwagę na nasilanie się erozji wodnej na stokach użytkowanych rolniczo zarówno na Pojezierzu Pomorskim (6, 11, 12, 21), jak i Mazurskim (14, 15, 17, 23, 24, 25). Podkreślano intensyfikację produkcji rolnej jako jedną z przyczyn rozprzestrzeniania się erozji na tereny o mniejszych nachyleniach, wskazywano na wzrastający stopień mechanizacji prac uprawowych oraz zagęszczanie poziomu uprawowego i warstwy podornej w wyniku stosowania coraz cięższych maszyn (7, 15, 21).

Celem badań prowadzonych w zlewni górnej Szeszupy na Pojezierzu Suwańskim, w Polsce NE, była ocena natężenia procesów erozji żłobinowej oraz warunków jej występowania.

**Metodyka badań**

W pracy przedstawiono wyniki obserwacji terenowych prowadzonych przez ponad 8 lat (1987–1989, 1998–1999, 2007–2009 oraz wiosną 2010 roku) na obszarze zlewni górnej Szeszupy.

Badania terenowe polegały na kartowaniu zlewni i rejestracji stoków, na których tworzyły się żłobiny (rys. 1). Kartowanie zlewni wykonywano po wystąpieniu intensywnych roztopów oraz opadów. Dla wybranych stoków wykonano pomiary żłobin w transektach poprzecznostokowych, to jest w wierzchowinowej i górnej części stoku, środkowej (zazwyczaj 2 transekty) i dolnej. Na danym stoku pomiary wykonywano zazwyczaj w 4-5 transektach. Liczono ilość żłobin oraz mierzono ich długość, sze-



Rys. 1. Lokalizacja obszaru badań: 1 – stoki objęte pomiarami żłobin; intensywna erozja żłobinowa po opadach: 2 – 20. 05.1988 r., 3 – 22.06.1999 r., 4 – 17.05.2010 r.; 5 – zlewnia górnej Szeszupy, 6 – rzeki i jeziora

rokość oraz głębokość i na tej podstawie szacowano objętość mikroform. Podobnie mierzono akumulację w dolnej części stoków i u ich podstawy, uwzględniając powierzchnię i miąższość naniesionego osadu.

Od 2007 roku opady mierzono pluwiografem z automatyczną rejestracją. We wcześniejszych okresach badawczych korzystano z danych pluwiograficznych z posterunku opadowego IMGW w Kleszczówku-Sidorach.

Szczególną uwagę zwrócono na warunki wystąpienia erozji żłobinowej: topograficzne (spadek, długość i nachylenie stoku), litologiczne i meteorologiczne oraz użytkowanie terenu.

## **Obszar badań**

Obszar badań reprezentuje typowy krajobraz polodowcowy młodoglacjalny. Przeważają tu obszary moreny falistej i pagórkowatej, licznie występują wzniesienia i pagórki moren czołowych oraz moren martwego lodu. Centralną część zlewni górnej Szeszupy zajmuje obniżenie o genezie egzaracyjno-wytopiskowej z licznymi formami szczelinowymi. Płaskie obszary sandrowe zajmują niewielkie powierzchnie (3, 4).

Mimo znacznej deniwelacji maksymalnej (142 m) lokalne różnice wysokości zazwyczaj kształtują się w granicach 10-30 m, tylko stoki niektórych wzniesień morenowych i stoki w dolinie Szeszupy mają większe deniwelacje (30-70 m). Podobnie jest z długością stoków – przeważają stoki krótkie, do 100 m długości, lokalnie osiągają ponad 200 m.

Gleby badanego terenu to brunatne i płowe rozwinięte na piaskach gliniastych, lokalnie mułkach z piaskiem oraz bielcowe i rdzawe na osadach piaszczysto-żwirowych. W dnach dolin i obniżeniach występują gleby hydromorficzne.

Klimat badanego obszaru jest umiarkowany z cechami kontynentalnymi (20). Średnia roczna suma opadów w ostatnim 30-leciu (1980–2009) wyniosła 591,7 mm. Największe opady dobowe występują w lipcu, rzadziej w czerwcu i sierpniu. Intensywność opadów jest tu niewielka i należy do jednych z najniższych w Polsce (1). Roztopy na Pojezierzu Suwalskim również nie przebiegają gwałtownie, są zwykle typu adwekcyjnego.

Grunty orne zajmują 43% powierzchni zlewni. Znaczny udział w strukturze użytkowania mają łąki i pastwiska – około 15%. Główne uprawy to zboża i ziemniak, lokalnie uprawia się też kukurydzę.

## **Wyniki badań i dyskusja**

### **Charakterystyka opadów i roztopów**

W okresie objętym badaniami średnia roczna suma opadów wyniosła 591,6 mm. W poszczególnych latach opady były zróżnicowane od 452,5 mm (2008) do 716,9 mm (1987); (tab. 1). Opady śniegu stanowiły w poszczególnych latach od 9 do 30% całkowitego opadu. Wskaźnik erozyjności opadów deszczu i spływów roztopowych  $EI_{30}$  wyniósł rocznie średnio 887  $MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1}$ . Zarówno erozyjność opadów deszczu, jak i spływów roztopowych była znacznie zróżnicowana (tab. 1). Najwyższymi opadami cechował się rok 1987, natomiast największą wartość czynnika  $EI_{30}$  osiągnął w 2007 r. Zdecydowanie przeważały opady o niewielkiej wydajności (do 10-15 mm) i małej erozyjności ( $<30 MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1}$ ).

Prawie każdego roku zdarzały się opady o wydajności ponad 20 mm i erozyjności w granicach 50-100  $MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1}$ , najczęściej 4-krotnie. Częściej występowały one w lipcu i sierpniu (8-krotnie) niż w czerwcu czy maju. Opady o większej erozyjności zdarzały się rzadziej. Zaledwie 2 razy w okresie badań wystąpiły opady o erozyjności powyżej 300  $MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1}$ . Do deszczu o wyjątkowej jak na badany region erozyj-

Tabela 1

## Wybrane charakterystyki opadów okresu badań

Rok	Opad (mm)		EI <sub>30</sub> (MJ mm · ha <sup>-1</sup> · h <sup>-1</sup> )	Liczba dni z opadem (mm)			Ilość deszczy o erozyjności EI <sub>30</sub> (MJ mm · ha <sup>-1</sup> · h <sup>-1</sup> )		
	całkowity	śnieg		≥10	≥20	≥30	≥50	≥100	≥200
1987	716,9	63,8	1170,1	13	5		4	3	
1988	584,6	112,1	1089,8	2	5		2		2
1989	623,2	94,4	656,5	13	2		1	1	
1998	700,6	81,3	868,7	16	3		1	2	
1999	523,6	122,1	898,3	3		2		1	1
2007	651,9	104,6	1213,1	9	2		4	1	1
2008	452,4	143	557,3	5			1		
2009	480,2	86,5	642,8	8	2			2	

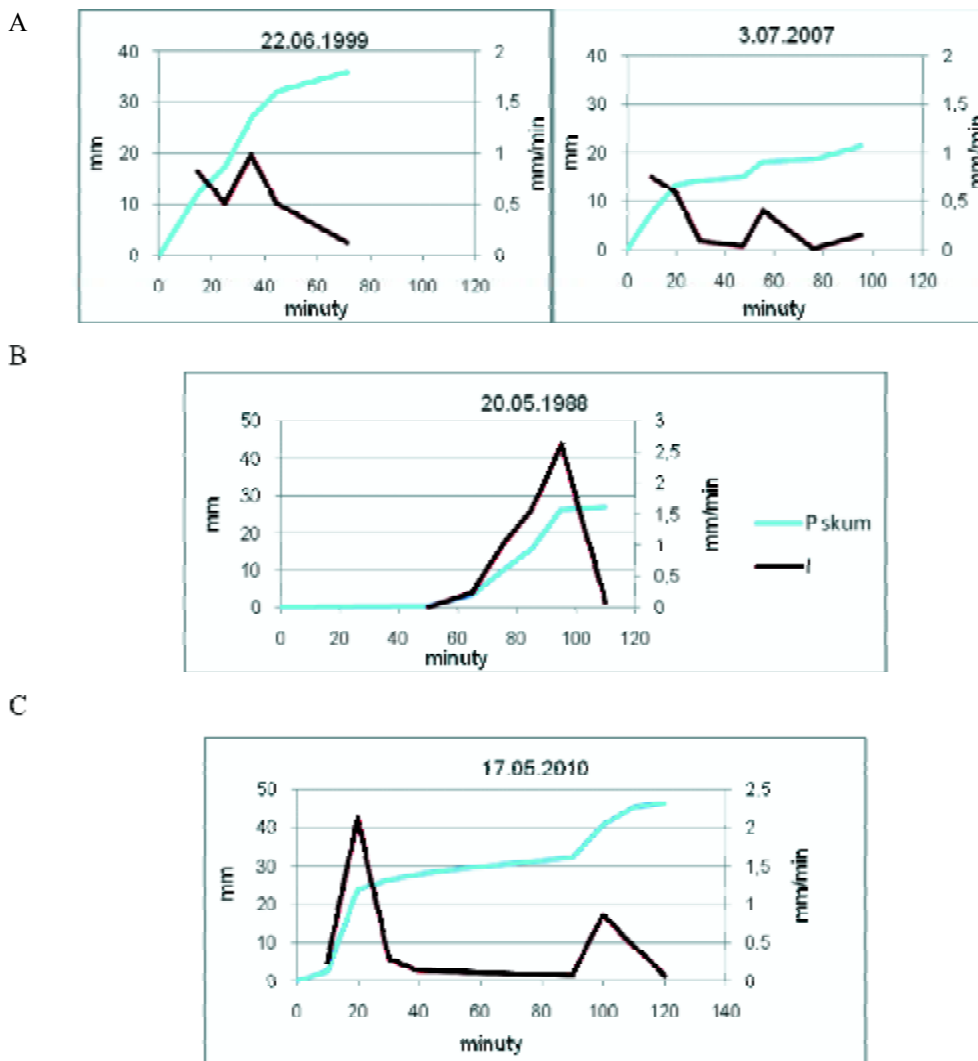
Źródło: obliczenia własne na podstawie danych z posterunku opadowego IMGW w Kleszczówku-Sidorach, od 2007 r. własnych danych.

ności (EI<sub>30</sub> = 607 MJ·mm·ha<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>) należy zaliczyć opad o wydajności 46,1 mm, który wystąpił 17 maja 2010 r.

Cechą typową dla regionu jest niewielka intensywność deszczy i związana z tym ich niewielka erozyjność (1). Przykład przebiegu typowych ulew występujących w okresie od maja do września przedstawiono na rysunku 2. Zazwyczaj intensywny deszcz notowano jedynie przez niewielką część czasu trwania całego opadu. Maksymalne 10–15-minutowe natężenie zazwyczaj osiągało niewiele ponad 0,5 mm·min<sup>-1</sup>, a średnie natężenie nie przekraczało 0,2 mm·min<sup>-1</sup>. Również opady o znacznej erozyjności (EI<sub>30</sub> > 50 MJ·mm·ha<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>) cechowały się niewielką średnią intensywnością, kształtowała się ona w zakresie 0,2–0,5 mm·min<sup>-1</sup>. Według klasyfikacji C h o m i c z a (5) były to opady zwykłe (określane jako intensywne). Większe natężenie odpowiadające ulewowi (powyżej 1 mm·min<sup>-1</sup>) rejestrowano jedynie przez krótki czas trwania opadu, zwykle nie dłużej niż 15–20 minut (rys. 2B), natomiast natężenie przekraczające 2 mm·min<sup>-1</sup> występowało sporadycznie (rys. 2BC).

Opad jaki wystąpił 17 maja 2010 roku (rys. 2C) miał średnie natężenie I = 0,36 mm·min<sup>-1</sup>, a więc typowe, jak dla późnowiosennych i letnich opadów określanych przez U g g l ę (23) jako burzowe. Podczas opadu trwającego prawie 2 godziny dwukrotnie deszcz miał dużą intensywność, określaną przez miejscową ludność jako „oberwanie chmury”. Można to określenie powiązać z intensywnością deszczu na początku i pod koniec jego trwania, kiedy 10-minutowa intensywność opadu wyniosła odpowiednio 2,12 i 0,86 mm·min<sup>-1</sup>, a chwilowa 3,45 (przez 4 minuty) i 1,36 (5 minut). Maksymalne natężenie opadu w ciągu 30 minut wyniosło I<sub>30</sub> = 0,88 mm·min<sup>-1</sup>.

Generalnie roztopy wiosenne na badanym obszarze nie mają dynamicznego przebiegu. W okresie badań przeważnie występowały łagodne zimy. Opady śniegu były zbliżone do występujących w wieloleciu (20), ale pokrywa śnieżna zalegała znacznie krócej. Słabo przemarznięty grunt i kilkakrotne roztopy śródzimowe znacznie redukowały objętość spływu roztopowego. Wskaźnik erozyjności opadów i spływów EI<sub>30</sub> szacowany na podstawie opadów śniegu nie odzwierciedlał rzeczywistego ekwiwa-



Rys. 2. Wydajność i intensywność wybranych deszczy w okresie badań wg klasyfikacji Chomicza (5): A – opady zwykłe, B i C – opady zwykłe intensywne  
 Źródło: opracowanie autorki.

lentu wodnego śniegu podczas wiosennych roztopów. Jedynie w latach 1987, 1988 i 2009 wodny ekwiwalent śniegu przypadający na wiosenny okres roztopowy był znaczący i wyniósł od 40 do 70 mm.

### Występowanie i intensywność erozji żłobinowej

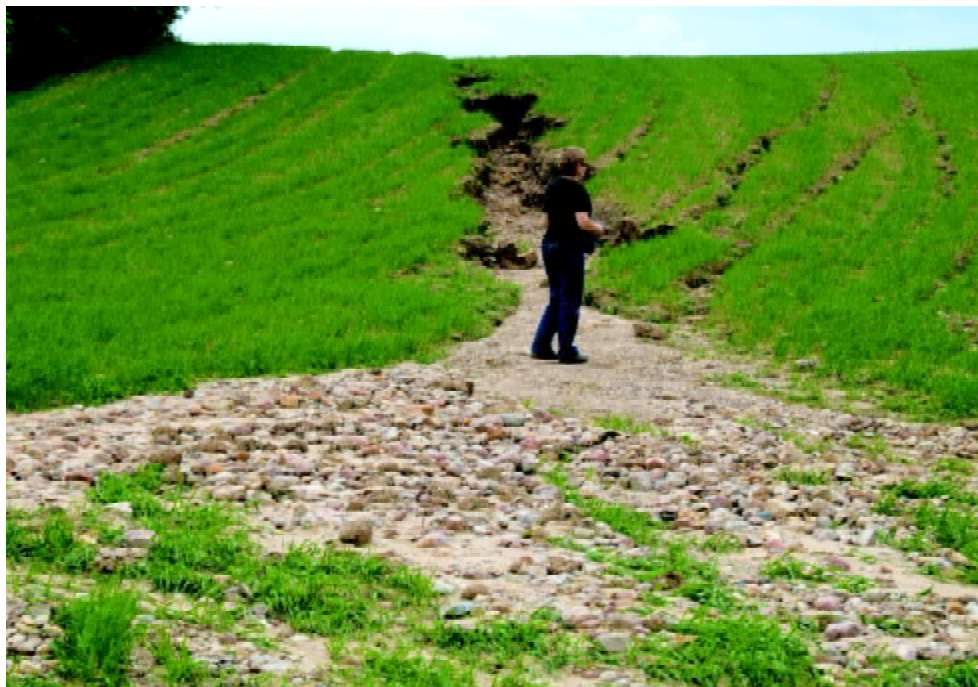
Występowanie żłobin obserwowano na stokach piaszczysto-gliniastych. Ich formowanie się było uwarunkowane mikrorzeźbą stoku związaną z uprawą. Pojedyncze żłobiny występowały każdego roku. Po opadach o znacznym natężeniu sieć żłobin

formowała się na stokach dłuższych niż 100 m. Głębokość żłobin była zazwyczaj niewielka. W wierzchwinowej części wzgórz i pagórków nie zaobserwowano powstawania żłobin. Pierwsze tworzyły się poniżej górnego wypukłego załomu, ich głębokość wynosiła 5-7 cm. W środkowych i dolnych fragmentach stoków głębokość żłobin była większa, zazwyczaj do 10 cm, lokalnie w granicach 10-20 cm, a sporadycznie osiągała 50 cm. Szerokość żłobin mieściła się zazwyczaj w zakresie od kilku do kilkunastu centymetrów.

Wraz ze wzrostem natężenia opadu zwiększała się ilość płytkich żłobin, których gęstość przekraczała 100 m/100 m<sup>2</sup>, a lokalnie osiągała 180 m/100 m<sup>2</sup>. Powstawały one głównie w maju i czerwcu po opadach o większym niż przeciętne natężeniu, przy słabo rozwiniętej szacie roślinnej. W okresie badań jedynie w maju 2010 r. lokalnie zaobserwowano formowanie się pojedynczych rozcięć osiagających ponad 1 m głębokości, które zaliczane są do efemerycznej erozji wąwozowej (rys. 3). Głębokie rozcięcia częściej tworzą się na gruntach lessowych i lessopodobnych (10, 8, 18, 22). Badania prowadzone na Pojezierzu Pomorskim w Makronosach (21) czy Dłusku (11) oraz na Pojezierzu Mazurskim (15, 23, 24) również wskazują na formowanie się zazwyczaj płytkich żłobin. Jedynie sporadycznie, podczas opadów ekstremalnych, dochodziło do rozwoju głębszych rozcięć (13). Podobna sytuacja na badanym terenie miała miejsce w maju 2010 roku.

W dolnej części stoków żłobiny stawały się płytsze (10-15 cm) i jednocześnie szersze (30-50 cm, rzadziej do 100 cm). W ich dnie następowała akumulacja części transportowanego materiału. W strefie podstokowej u wylotów żłobin następowała akumulacja erodowanej gleby, najczęściej były to niewielkie stożki. Tylko okresowo łączyły się one w pokrywy akumulacyjne obejmujące całe podnóża stoków. Miąższość akumulacji wynosiła 2-3 cm, lokalnie 5-7 cm, jedynie sporadycznie przekraczała 10 cm. Większe miąższości pojawiały się tylko w miejscach, gdzie wody spływające ze stoku nie mogły swobodnie rozprzestrzeniać się po strefie podstokowej. W miejscach utrudnionego odpływu przez miedze lub drogi polne następowała zwiększona depozycja.

Efektywność erozji żłobinowej była wielokrotnie wyższa w porównaniu ze splukiwaniem rozproszonym (19), natomiast obszar jej występowania był stosunkowo niewielki. Wartość erozji oszacowaną na podstawie objętości żłobin przedstawiono w tabeli 2. Wyniosła ona średnio w ciągu roku 0,5-3,78 t·ha<sup>-1</sup>. Na poszczególnych stokach proces występował z bardzo różnym natężeniem, także w obrębie jednego pola (mikrozlewni stokowej). Największe rozmiary osiągała erozja w środkowej części stoku, zwykle o największym nachyleniu, od kilku ton do ponad 30 t·ha<sup>-1</sup>. W wielu sezonach nie obserwowano rozwoju żłobin. Znacznie częściej formowały się jedynie pojedyncze płytkie żłobiny, wówczas erozja wynosiła 0,5-2 t·ha<sup>-1</sup>. Na stokach wybranych do systematycznych pomiarów liczne występowanie płytkich żłobin miało miejsce jedynie 2-3-krotnie w całym okresie badawczym. Przykładem stoku, na którym prawie każdego roku formowały się żłobiny jest obiekt Gulbin. Podczas zdarzeń ekstremalnych erozja osiągnęła tam wartości wielokrotnie większe niż przeciętnie i wówczas wynosiły one 9-19 t·ha<sup>-1</sup> – stok Gulbin i stok Krejwelek – 25-30 t·ha<sup>-1</sup> (rys. 4a).



Rys. 3. Głęboka żłobina i stożek u jej wylotu na stoku w okolicy jeziora Krejwelek – maj 2010 r. (fot. R. Smolski)

Tabela 2

Wybrane charakterystyki stoków oraz średnie roczne wartości erozji całej mikrozelewni stokowej i maksymalne wartości erozji podczas zdarzeń ekstremalnych w okresie badań

Stok litologia	Długość (m)	Wysokość (m)	Spadek (°)	Erozja ( $t \cdot ha^{-1}$ )		
				średnio w roku*	maksymalna erozja (środkowa część stoku)	
					20.05.1988 lub 22.06.1999	17.05.2010
Smolniki Piasek, glina	280	45	4-17	3,78	4,73	-
Krejwelek Piasek gliniasty	155	32	3-12	2,36	31,10	103
Snolda Piasek gliniasty	120	27	2-10	0,47	9,61	42,5
Gulbin Glina piaszczysta	175	45	4-15	0,60	18,92	129,73

\* uwzględniając powierzchnię całej mikrozelewni stokowej oraz bez ekstremalnego zdarzenia 2010 roku  
Źródło: pomiary terenowe autorki.

Zdarzenia te zazwyczaj decydowały o natężeniu procesu w całym kilkuletnim okresie pomiarowym. Cechą typową była depozycja erodowanego materiału glebowego na dolnej wklęsłej części stoku i u jego podnóża. Na podstawie powierzchni i miąższości zdeponowanego materiału oraz jego ciężaru objętościowego oszacowano, że wielkość tej depozycji jest jedynie nieco mniejsza od erozji. Szacunkowy bilans denudacyjny wskazuje, że na większe odległości odprowadzane było od kilku do maksymalnie 30% materiału ze stoków, tj. do dna dolin i zagłębień.

Opad, który wystąpił 17 maja 2010 r. był zdarzeniem wyjątkowym na badanym terenie. Wówczas na wszystkich stokach, na których prowadzono pomiary, erozja żłobinowa była znacznie większa niż w całym dotychczasowym okresie badań i osiągnęła od  $42 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  (Snołda) do  $130 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  (Gulbieniszki), uwzględniając całą powierzchnię pola, a lokalnie w strefie stoku lekko zbieżnego lub w miejscu uformowania się głębszej na ponad 1 m żłobiny osiągała  $140\text{-}170 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Również akumulacja w strefie podstokowej objęła swoim zasięgiem powierzchnię znacznie większą niż w poprzednich latach, jej miąższość natomiast była podobna, tj. w granicach 5-7 cm, tylko lokalnie u wylotów głębszych żłobin przekraczała 15 cm. Po raz pierwszy zaobserwowano wypełnione rowy przydrożne materiałem pochodzącym ze stoków. Do podnóża stoków przemieszczeniu uległy otoczaki 10-15 cm długości. Erozji i transportowi na większe odległości ulegały nie tylko frakcje piasku i drobnego żwiru, ale również materiał zawierający żwir o dłuższych osiach 3-5 cm.

Żłobiny rzadko tworzyły się podczas roztopów, zazwyczaj powstawało kilka pojedynczych płytkich żłobin. Erozja żłobinowa osiągała do  $1\text{-}2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , jedynie w 1988 roku proces miał większą intensywność, topnienie śniegu było przyspieszone niewielkim opadem deszczu, a erozja lokalnie osiągnęła  $6\text{-}7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  (obiekt Gulbieniszki i Snołda).

### **Warunki występowania**

W okresie objętym badaniami ponadprzeciętne natężenie erozji żłobinowej wystąpiło 3-krotnie i było spowodowane opadami o erozyjności ponad  $300 \text{ MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ , które wystąpiły przed pełnią sezonu wegetacyjnego. Najbardziej na erozję narażone były stoki zajęte pod uprawę kukurydzy i zbóż jarych. Podczas tych opadów żłobiny nie tworzyły się na stokach zalesionych lub zajętych pod pastwiska. Także zboża ozime znacznie ograniczały rozwój żłobin. W pełni sezonu wegetacyjnego nowe żłobiny nie powstawały nawet podczas opadów o dużym natężeniu, co najwyżej dalszemu rozwojowi ulegały już istniejące.

Dla formowania się żłobin szczególne znaczenie miała intensywność opadu przekraczająca  $0,8 \text{ mm}/\text{min}$ , nawet jeśli opad o takim natężeniu występował bardzo krótko, chociaż przez 5 min. Był to już wystarczający impuls do zainicjowania erozji liniowej i powstania pojedynczych mikroform. Jednak aby utworzyła się sieć żłobin obejmująca znaczne partie stoków natężenie deszczu w granicach  $0,8\text{-}1 \text{ mm}/\text{min}$  musiało utrzymywać się przynajmniej przez 15 minut. Te warunki były spełnione podczas opadów w maju 1988 r., w czerwcu 1999 r. oraz w maju 2010 r. (rys. 4). Zasięg przestrzenny takich opadów zazwyczaj jest niewielki i podobnie było na obszarze badań. Stoki z intensywną erozją rejestrowano na obszarze  $20\text{-}50 \text{ km}^2$ .



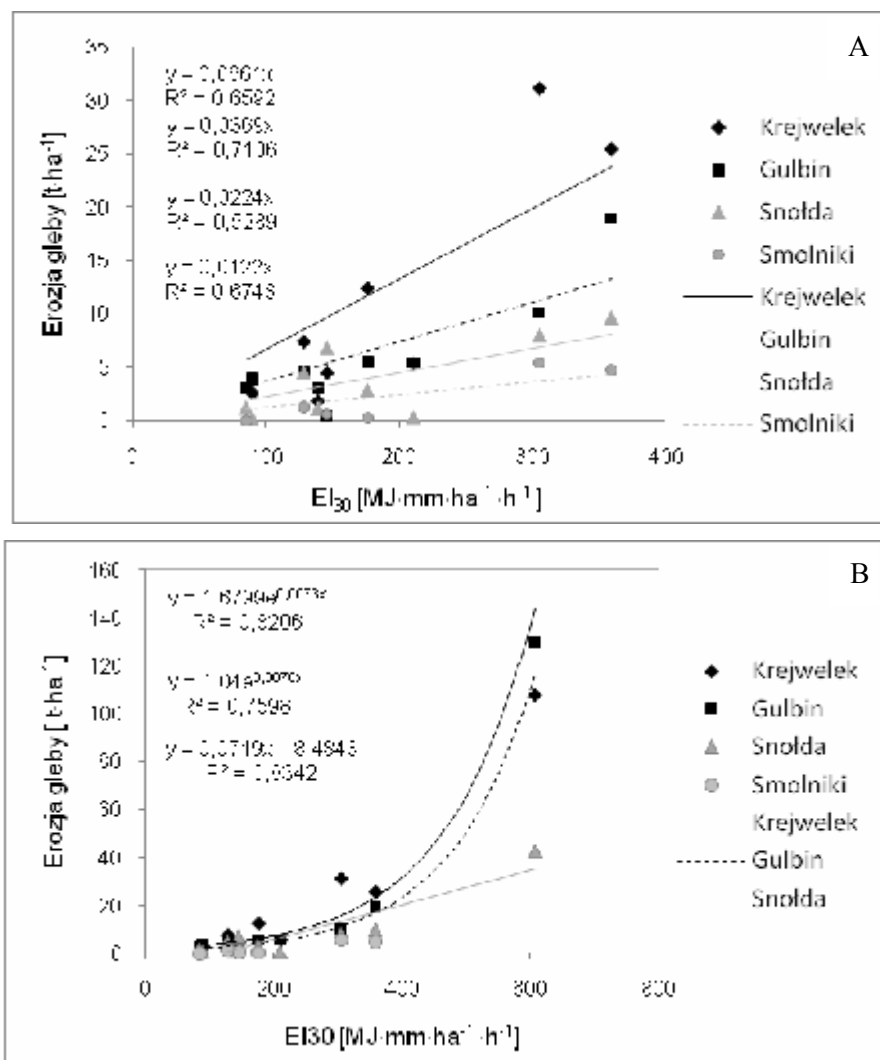
Na podstawie 10-letnich badań na Pojezierzu Mazurskim Niemiński (14) zwracał uwagę na przypadkowość występowania wzmożonej erozji liniowej w stosunku do terenów sąsiednich, charakteryzujących się podobnymi cechami litologicznymi podłoża, glebami, morfometrią stoków i użytkowaniem.

Powtarzane kartowanie w zlewni górnej Szeszupy i rejestracja stoków, na których zaobserwowano erozję żłobinową wskazują, że większe nasilenie procesu miało miejsce na stokach dłuższych. Do formowania się spływu skoncentrowanego niezbędny był dopływ wód powierzchniowych z większego obszaru umożliwiający jego koncentrację i następnie erozję podłoża. Najwięcej żłobin występowało w ich części środkowej, zazwyczaj o znacznym nachyleniu (powyżej 9°). Takie krótkotrwałe intensywne opady określane jako burzowe powodowały erozję żłobinową w przypadku co najmniej kilku czynników sprzyjających procesowi, takich jak: słabszy rozwój roślinności, długość i kształt stoku, kierunek orki zgodny z nachyleniem terenu, większy udział frakcji pylastej w glebie, a także ekspozycja opadowa. Dlatego sąsiadujące ze sobą stoki były w różnym stopniu objęte tym procesem. Sieć żłobin przekraczającą gęstość 100/100 m<sup>2</sup> zarejestrowano na kilku do kilkunastu stokach w badanej zlewni (rys. 1). Na podstawie powtarzanego kartowania oszacowano, że erozją żłobinową zagrożone jest około 1/4 powierzchni gruntów rolnych badanej zlewni.

Opad w dniu 17 maja 2010, którego erozyjność była wyjątkowa w przypadku Polski NE i przekroczyła 600 jednostek erozyjności, spowodował rozwój sieci żłobin na wszystkich dłuższych stokach piaszczysto-gliniastych, gliniasto-piaszczystych (w tym piaszczysto-mułkowych) zajętych pod uprawę kukurydzy, ziemniaka i zbóż jarych (ponad 50% gruntów ornych). Silną erozję obserwowano nie tylko na obszarze badanej zlewni, ale również poza tą zlewnią. Kartowanie i monitoring stoków z siecią żłobin wskazuje na wyraźne 2 centra o największym natężeniu procesu: w południowej i centralnej części zlewni (rejon Szurpiły – Krejwelek) oraz w północnej części (Pobondzie – Rutka Tartak). Opad o dużej intensywności objął wówczas prawie całe Pojezierze Suwalskie i Sejneńskie. Podobne centrum wyjątkowego jak na obszar Polski NE natężenia procesu wystąpiło w okolicy Gołdapi.

Zazwyczaj podkreślane jest szczególne znaczenie zwiększonej wilgotności gleby dla erozji gleby i rozwoju żłobin. Opady 22.06.1999 r. i 17.05.2010 r. były poprzedzone kilkoma opadami o różnej wydajności i natężeniu. Suma opadów w ciągu tygodnia poprzedzającego wymienione zdarzenia była znaczna i wyniosła odpowiednio 50,8 mm i 39,9 mm. Natomiast opad 20.05.1988 r. spadł na suchy grunt – w ciągu 2 tygodni poprzedzających opad spadło zaledwie 3 mm deszczu (18.05.1988).

W przypadku rozwoju żłobin na stokach w obszarze młodoglacjalnym, o urozmaiconej rzeźbie, duże znaczenie miała intensywność opadu oraz jego wydajność. Wydajność i intensywność opadów odzwierciedla czynnik erozyjności deszczy  $EI_{30}$ . Dla wybranych do szczegółowego monitoringu stoków zestawiono obliczone na podstawie objętości żłobin wartości erozji i czynnika  $EI_{30}$  (rys. 4A). Zależność pomiędzy erozją a czynnikiem erozyjności kształtuje się w zakresie  $r^2 = 0,5-0,7$  i opisują ją funkcje liniowe. Nie w każdym przypadku opad o największej erozyjności skutkował naj-



Rys. 4. Zależność pomiędzy erozją żłobinową gleby a czynnikiem erozyjności opadów  $EI_{30}$  na badanych stokach w okresie badań do 2009 roku (A) i z uwzględnieniem zdarzenia z dnia 17.05.2010 r. (B)

Źródło: badania własne.

silniejszą erozją żłobinową, głównie ze względu na rodzaj uprawy i stopień rozwoju roślin. Uwzględnienie zdarzenia ekstremalnego z 17 maja 2010 r. znacznie poprawia korelację. Opad o około 2-krotnie większej erozyjności generował kilkukrotnie większe wartości erozji na wszystkich monitorowanych stokach (rys. 4B).

## Podsumowanie

Na podstawie monitoringu erozji żłobinowej prowadzonego w zlewni górnej Szeszupy wykazano stoki zagrożone tym procesem w obszarze młodoglacjalnym. Są to stoki o długości ponad 100 m, zbudowane z osadów piaszczysto-gliniastych, z uprawą prowadzoną zgodnie z nachyleniem terenu.

Badania potwierdziły szczególną rolę krótkotrwałych opadów, określanych jako burzowe, w rozwoju sieci żłobin. Podczas roztopów na badanym obszarze sporadycznie formowały się żłobiny. W pełni sezonu wegetacyjnego roślinność skutecznie ograniczała erozję, powstawały jedynie pojedyncze żłobiny. Przed pełnią sezonu wegetacyjnego (maj, czerwiec) szczególnie zagrożone erozją były stoki z uprawą kukurydzy i zbóż jarych.

Do formowania się żłobin na gruntach ornych dochodziło jedynie podczas opadów o intensywności przekraczającej  $0,8-1 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ , trwających co najmniej 15 minut. Rozwój sieci żłobin następował w przypadku wystąpienia takich opadów przed pełnią sezonu wegetacyjnego. Wówczas erozja wynosiła od 7 do  $30 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  w skali roku. Przy sprzyjających warunkach (opad 17.05.2010 r.) i szczególnie słabym rozwoju szaty roślinnej na polach erozja osiągała  $50-97 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , a lokalnie na stokach z pojedynczymi głębokimi (na ponad 1 m) rozcięciami nawet  $170 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

Uwzględniając cechy stoków, litologię oraz strukturę upraw około 14% powierzchni gruntów ornych w badanej zlewni jest zagrożone erozją żłobinową.

## Literatura

1. Banasik K., Górski D.: Evaluation of rainfall erosivity for east Poland. In: K. Banasik i A. Żbikowski (red.) - Runoff and sediment yield modelling (RSY-93). Wyd. SGGW Warszawa, 1993, 129-134.
2. Ber A.: Objąsnienia do szczegółowej mapy geologicznej Polski 1:50 000. Ark. Jeleniewo. Inst. Geol., Warszawa, 1968.
3. Ber A.: Plejstocen Polski północno-wschodniej w nawiązaniu do głębszego podłoża i obszarów sąsiednich. Prace Państw. Inst. Geol., 2000, **170**: 1-89.
4. Bogacki M.: Budowa geologiczna i ukształtowanie powierzchni W: Województwo Suwalskie – studia i materiały 1. OBN Białystok i IGiPZ PAN Warszawa, 1985.
5. Chomicz K.: Przebieg, rozmieszczenie i częstotliwość deszczów nawalnych w Polsce. Gosp. Wodna, 1951, **7-8**: 262-265.
6. Chudecki Z., Niedźwiecki E.: Nasilanie się erozji wodnej na obszarach słabo urzeźbionych Pomorza Zachodniego. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1983, **272**: 7-18.
7. Chudecki Z., Koćmit A., Niedźwiecki E.: Przejawy i skutki erozji wodnej w strefie czołowo morenowej Wyżyny Inńskiej w świetle wieloletnich badań. Zesz. Nauk. PAN „Człowiek i Środowisko”, 1993, **6**: 31-33.
8. Govers G., Quine T. A., Desmet P. J. J., Walling D. E.: The relative contribution of soil tillage and overland flow erosion to soil redistribution on agricultural land. Earth Surf. Proces. and Landforms, 1996, **21**: 929-946.
9. Józefaciuk A., Józefaciuk Cz.: Erozja agroekosystemów. Bibl. Monit. Środ., Warszawa, 1995, 1-168.
10. Kirbky M. J. (red.): Hillslope hydrology. Willey and Sons. Chichester, 1978.

11. Koćmit A.: Erozja wodna obszarach młodo glacialnych Pomorza i możliwości jej ograniczenia. *Bibl. Fragm. Agron.*, 1998, **4A/98**: 10-11.
12. Koćmit A., Podlasiński M., Roy M., Tomaszewicz T., Chudecka J.: Water erosion in the catchment basin of the Jeleni Brook. *J. Water Land. Dev.*, 2006, **10**: 121-131.
13. Kostrzewski A., Klimczak R., Stach A., Zwoliński Z.: Wpływ procesów katastrofalnych na funkcjonowanie współczesnego systemu denudacyjnego obszarów młodoglacialnych – Pomorze Zachodnie. *Bad. Fizjograf. nad Polską Zach.*, 1992, **43**: ser. A: 55-82.
14. Niewiadomski W.: System gospodarki w zlewni mazurskiej w świetle 10-letnich badań WSR w Olsztynie. *Zesz. Nauk. AR Olsztyn*, 1964, **17(2)**: 171-192.
15. Niewiadomski W.: Badania nad erozją gleb na północy Polski (okres 1950–1976). W: S. Ziemiński (red.) – Procesy erozyjne i problem ochrony gleby w Polsce. *WSR Lublin, PWRiL*, 1968, **2**: 29-49.
16. Niewiadomski W.: Ochrona przeciwoerozyjna - systemy regionalne. Wprowadzenie do konferencji. *Bibl. Fragm. Agron.*, 1998, **4A/98**: 10-11.
17. Niewiadomski W., Skrodzki H.: Nasilenie spływów i zmywów a system rolniczego zagospodarowania ziemi. *Zesz. Nauk. WSR w Olsztynie*, 1964, **17(2)**: 269-291.
18. Rodzik J., Janicki G., Zagórski P., Zglobicki W.: Deszcze nawalne na Wyżynie Lubelskiej i ich wpływ na rzeźbę obszarów lessowych. W: L. Strakel (red.) – Geomorfologiczny i sedimentologiczny zapis lokalnych ulew. *Dok. Geogr.*, 1998, **11**: 45-68.
19. Smolska E.: Znaczenie splukiwania w modelowaniu stoków młodoglacialnych (na przykładzie Pojezierza Suwalskiego). *Wyd. WGSR UW, Warszawa*, 2005.
20. Stopa-Boryczka M., Martyn D.: Klimat. W: *Województwo Suwalskie – Studia i Materiały*. 1. OBN Białystok i IGiPZ PAN, Warszawa, 1985.
21. Szafranski C., Fiedler M., Stasik R.: Erozja wodna w małej zlewni użytkowanej rolniczo na Pojezierzu Gnieźnieńskim. *Bibl. Fragm. Agron.*, 1998, **4B/98**: 73-81.
22. Świechowicz J.: Soil erosion on cultivated foothill slopes during extreme rainfall events in Wiśnicz Foothills of southern Poland. *Folia Geogr., Series Geographice-Physica*, 2008, **39**: 79-93.
23. Ugła H., Mirowski Z., Garbarczyk S., Nożyński A., Rytelowski J., SolarSKI H.: Strefy zagrożenia erozją wodną gleb regionu północno-wschodniego Polski. *Zesz. Nauk. WSR Olsztyn*, 1962, **23(565)**: 225-242.
24. Ugła H., Mirowski Z., Garbarczyk S., Nożyński A., Rytelowski J., SolarSKI H.: Proces erozji wodnej w terenach pagórkowatych północno-wschodniej Polski. *Rocz. Glebozn.*, 1968, **18(2)**: 415-447.
25. Ugła H., SolarSKI H., Rytelowski J., Mirowski Z., Nożyński A., Garbarczyk S.: Problematyka erozji wodnej gleb północno-wschodniej Polski. *Bibl. Fragm. Agron.*, 1998, **4B/98**: 179-197.

Adres do korespondencji:

*dr hab. Ewa Smolska*  
*Zakład Geomorfologii*  
*Wydział Geografii i Studiów Regionalnych*  
*Uniwersytet Warszawski*  
*ul. Krakowskie Przedmieście 30*  
*00-927 Warszawa*  
*tel.: (22) 552-07-88*  
*e-mail: e.smolska@uw.edu.pl*