

**Jolanta Świąchowicz**

Zakład Geomorfologii, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej

Uniwersytet Jagielloński, Kraków

e-mail: j.swiechowicz@geo.uj.edu.pl

**SPLUKIWANIE GLEBY NA UŻYTKOWANYCH ROLNICZO  
STOKACH POGÓRSKICH W LATACH HYDROLOGICZNYCH  
2007-2008 W ŁAZACH (POGÓRZE WIŚNICKIE)**

**Slopewash on agricultural foothill slopes in hydrological years 2007-2008  
in Łazy (Wiśnicz Foothills)**

**Abstract:** The paper presents the results of slopewash studies carried out in hydrological years 2007-2008 on 7 runoff plots located within the marginal part of the Carpathian Foothills near the Research Station of the Institute of Geography and Spatial Management in Łazy. All the plots were 2 m wide. Four of them were 22.1m long while the remaining three were 11.1, 5.5 and 2.8 m in length. All the plots were closed with 2 m Gerlach troughs. Eroded material was collected in tanks placed by every plot, while runoff was registered by means of limnigraphs. The inclination of the plots' surface was 8°. Studies were carried on silty pseudogley soil (*Stagnic Luvisols*). Precipitation totals amounted to 814,1 mm (2007) and 585,3 mm (2008) and these values significantly differed from the mean precipitation total for 1987-2008 hydrological years (661,5 mm). In 2007 the rainfall erosivity factor ( $EI_{30}$ ) was 1628.9 MJ mm ha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup> and turned out to be almost two times as much as it was for 2008 (667.0 MJ mm ha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>). In the summer half-year of 2007 hydrological year there were 13 slopewash events whereas in 2008 there were none. Mean annual soil erodibility [K] reached the value of 0.0377 Mg ha h MJ<sup>-1</sup>mm<sup>-1</sup>ha<sup>-1</sup>, which is significantly lower than the value calculated on the basis of the USLE model (0.0738). Runoff varied considerably in the summer half-year. Maximum values of the runoff coefficient amounted to 39.2% for the potato, 34.2% for the fallow land, 16.3% for the winter wheat and 12.0% for the meadow. Mean annual slopewash values amounted to 31.4 kg ha<sup>-1</sup> for winter wheat, 41.9 kg ha<sup>-1</sup> for meadow, 43,396.0 kg ha<sup>-1</sup> for potato and 47,340.2 kg ha<sup>-1</sup> for fallow. The C factor value for the whole vegetation period of the potato was 0.92, and 0.0008 for the winter wheat.\*

**Słowa kluczowe:** splukiwanie, erozja gleby, erozyjność deszczu ( $EI_{30}$ ), czynnik podatności gleb na erozję (K), czynnik okrywy roślinnej (C), Pogórze Wiśnickie

**Key words:** slopewash, soil erosion, rainfall erosivity ( $EI_{30}$ ), soil erodibility factor (K), canopy factor (C), Wiśnicz Foothills

## WSTĘP

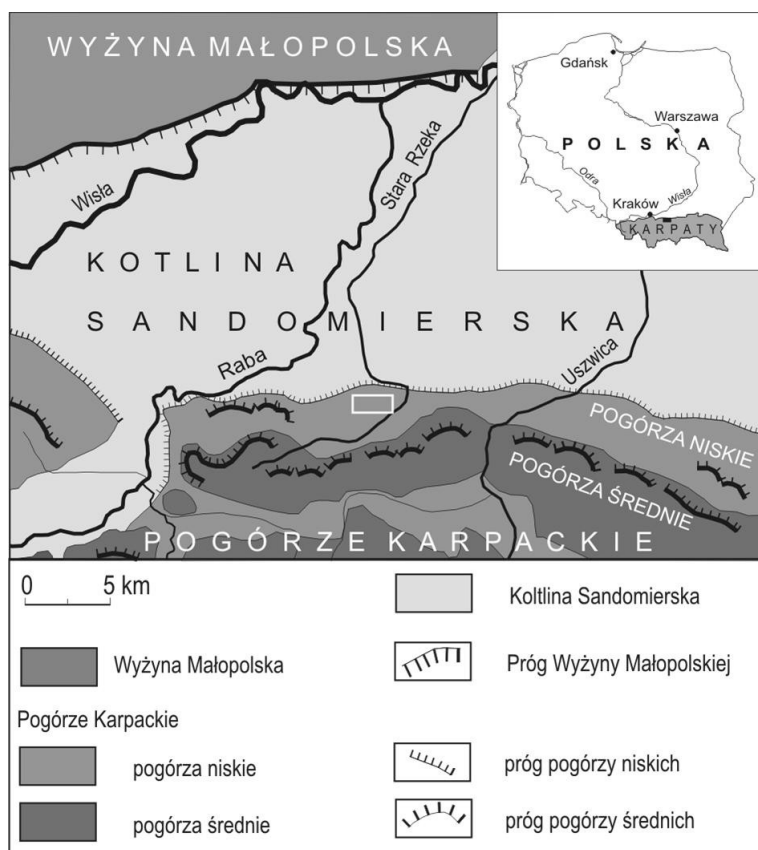
Pogórze Karpackie jest regionem rolniczym. Blisko 50% tego obszaru stanowią grunty orne. W strukturze upraw dominują zboża oraz uprawy rzędowe (ziemniaki, buraki, kukurydza). Konsekwencją uprawy roślin jest okresowy brak zwartej okrywy roślinnej, chroniącej powierzchnię przed skutkami lokalnych ulew, opadów rozlewnych i gwałtownych roztopów. Podstawowymi procesami przekształcającymi obszary użytkowane rolniczo są spłukiwanie gleby i erozja linijska na stokach. Procesy te mogą przybierać katastrofalne rozmiary powodując duże straty w rolnictwie, zwłaszcza w gospodarstwach wielkoobszarowych, gdzie dominują takie uprawy jak: burak cukrowy i kukurydza (Auzet i in. 1990, Boardman 1995, Stankoviansky 2002, Boardman i in. 2006, Evrard i in. 2007, Świąchowicz 2009).

Mimo, że badania spłukiwania w Karpatach mają długą tradycję (Gerlach 1958, 1966, 1976, Słupik 1970, Gil 1976), to jak dotąd prowadzone były tylko w kilku regionach Karpat: w Jaworkach w Beskidzie Sądeckim i w Łęczanach na terenie dołów Jasielsko-Sanockich (Gerlach 1966, 1976), w Szymbarku na pograniczu Beskidu Niskiego i Pogórza Ciężkowickiego (Gil 1976, 1994, 1999, 2009), w Łazach na progu Pogórza Wiśnickiego (Świąchowicz 1995, 1998, 2000, 2002) oraz w Polance Hallera na Pogórzu Wielickim (Drużkowski 1998). Nie udało się też wypracować jednej metody pomiarów prowadzonych na poletkach doświadczalnych. Pomiaru (z wyjątkiem Szymbarku) prowadzone były w krótkich okresach (1-5 lat), co sprawia, że porównywanie wyników uzyskanych w różnych regionach Karpat jest utrudnione (Świąchowicz 2010). Stacjonarne badania procesów erozyjnych na stokach są pracochłonne, czasochłonne i kosztochłonne, dlatego nie są podejmowane zbyt często. Jedynie Stacja Naukowa IGiPZ PAN w Szymbarku dysponuje długą serią pomiarową spłukiwania w Karpatach monitorowanego według tej samej metody od 1968 r. Wobec braku danych ilościowych pochodzących z różnych regionów Karpat, brakuje dobrego rozpoznania regionalnego zróżnicowania natężenia spłukiwania. Ponadto nadal ważnym zagadnieniem jest poznanie mechanizmu i natężenia spłukiwania na stokach różnie użytkowanych, podczas pojedynczych deszczów oraz poznanie związku pomiędzy zmywem gleby a erozyjnością deszczu i stopniem pokrycia powierzchni przez roślinność.

Celem pracy jest poznanie naturalnych i antropogenicznych uwarunkowań wystąpienia spłukiwania na stokach oraz natężenia procesu w nawiązaniu do cech opadu oraz użytkowania ziemi w obrębie progu Pogórza Karpat na podstawie pomiarów prowadzonych na poletkach doświadczalnych.

## OBSZAR BADAŃ

Badania splukiwania przeprowadzono w latach hydrologicznych 2007-2008 w zlewni Dworskiego Potoku położonej w obrębie progu Pogórza Karpat, w rejonie Stacji Naukowej IGiGP UJ w Łazach k. Bochni (rys. 1). Zlewnia zajmuje powierzchnię 0,3 km<sup>2</sup>, ma kształt niecki o przebiegu W-E, leży na wysokości 226,6-275 m n.p.m. i charakteryzuje się typem rzeźby pogórzy niskich (Gilewska, Starkel 1988, Starkel 1988, Świąchowicz 1991, 1992).



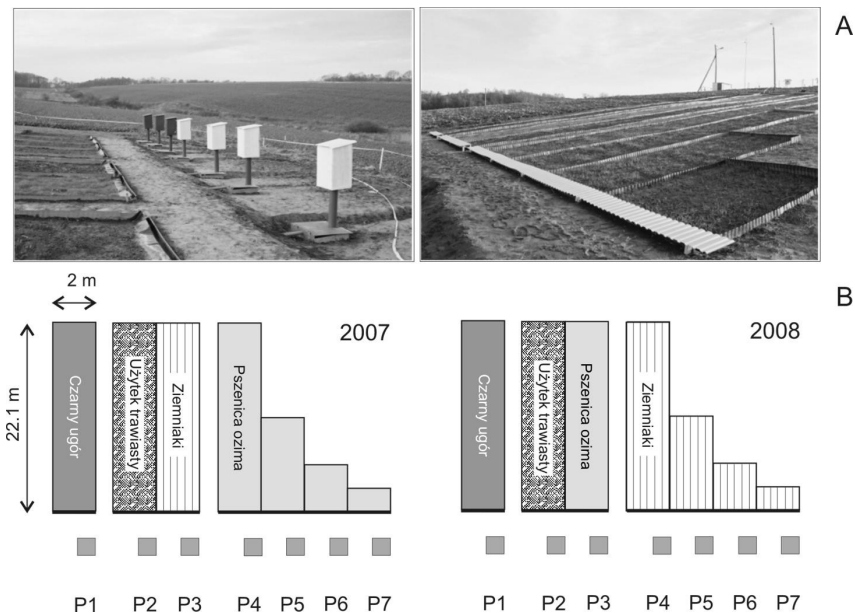
**Rys. 1.** Położenie obszaru badań  
**Fig. 1.** Location of the study area

Pokrywa glebowa zlewni jest mało zróżnicowana, ponieważ dominują gleby płowe (*Luvisols*). Na wierzchołkach i stokach o niewielkim nachyleniu występują gleby płowe opadowo-glejowe (*Stagnic Luvisols*). Na stokach o większym nachyleniu występują gleby płowe erodowane (*Cambic Luvisols*). Tylko w dnach dolin oraz w dnach niecki stokowych występują gleby glejowe (*Eutric Gleysols*) (Skiba 1991, Klimek 1995).

Zlewnię Dworskiego Potoku niemal w całości zajmuje gospodarstwo rolne Uniwersytetu Jagiellońskiego. Na jej terenie nie ma zabudowań gospodarczych ani mieszkalnych, a około 2/3 powierzchni jest zmeliorowane. W okresie badań większość zlewni zajmowały grunty orne (80%), które wykorzystywane były pod uprawy – głównie: rzepaku, buraków cukrowych i pszenicy. Lasy stanowiły zaledwie 3,5% powierzchni zlewni, a nieużytki 16,5%. Były to podmokłe łąki w dnie doliny, poniżej krawędzi, która stanowi granicę między różnymi formami użytkowania gruntów (Świąchowicz 2009).

## METODYKA

Pomiary spływu i spłukiwania prowadzono na poletkach doświadczalnych zlokalizowanych w zlewni Dworskiego Potoku, na wypukło-wklęsłym stoku o wystawie północnej, w pobliżu stacji meteorologicznej, z której pochodzą dane opadowe (rys. 2).



**Rys. 2.** Poletka doświadczalne w Łazach (fot. J. Świąchowicz) (A) oraz ich układ i użytkowanie w latach hydrologicznych 2007-2008 (B)

**Fig. 2.** Pattern of runoff plots (phot. by J. Świąchowicz) (A) and their landuse in 2007-2008 hydrological years 2007-2008 (B)

Poletka założono jesienią 2006 r., a pomiary prowadzone były od 1 listopada 2006 r. do 31 października 2008 r. na 7 poletkach. Wszystkie poletka miały 2 m szerokości. Długość czterech poletek wynosiła 22,1 m, natomiast pozostałych

trzech odpowiednio 11,1, 5,5 i 2,8 m. Wszystkie poletka były ekranowane za pomocą folii PCV i zamknięte dwumetrowymi rynnami Gerlacha. Górną granicę poletek zabezpieczano, przed spływem pochodzącym z wyżej położonej części stoku, dodatkową folią oraz rowem odprowadzającym wodę poza system poletek. Splukiwany materiał zbierany był w zbiornikach z przelewem trójkątnym, zainstalowanym przy każdym poletku, a spływ powierzchniowy rejestrowany za pomocą limnigrafów. Przed zamontowaniem zbiorniki zostały skalibrowane. Nachylenie powierzchni poletek wynosiło 8°. W obrębie poletek doświadczalnych występuje gleba płowa wytworzona z lessu. Zawierała ona 84% pyłu, 3% piasku oraz 13% iłu koloidalnego. Zawartość materiału organicznego wynosiła 1,5%.

W roku hydrologicznym 2007 poletko P1 (22,1 x 2 m) było pozostawione w czarnym ugorze, na P2 (22,1 x 2 m) posiano trawę, na P3 (22,1 x 2 m) posadzono ziemniaki, a pozostałe cztery (P4-P7) o różnej długości (22,1 x 2 m, 11,1 x 2 m, 5,5 x 2 m i 2,8 x 2 m) obsiano pszenicą ozimą (rys. 2). W roku hydrologicznym 2008 poletko P1 było pozostawione w czarnym ugorze, na P2 rosła trawa, na P3 posiano pszenicę, a na pozostałych czterech (P4-P7), o różnej długości, posadzono ziemniaki (rys. 2B).

Pomiary wykonywano po każdym opadzie erozyjnie skutecznym. Mierzono wysokość wody w zbiornikach i na tej podstawie objętość spływu powierzchniowego. Następnie po dokładnym wymieszaniu pobierano próby wody i osadów. Pobraną próbę sączone na sączkach i suszono do osiągnięcia stałej wagi w temperaturze 105°C. Na podstawie koncentracji materiału w pobranej próbce o znanej objętości, wyznaczano masę gleby zgromadzonej w pojemnikach zbiorczych. W przypadku, kiedy objętość spływu powierzchniowego przekraczała pojemność zbiornika, objętość wody obliczano w oparciu o zapisy limnigrafów i obliczony podczas kalibracji związek pomiędzy stanem wody a przepływem. W trakcie trwania spływów pobierano też próby wody z rury bezpośrednio doprowadzającej wodę do zbiornika, jak i próby wody odpływającej ze zbiornika.

W opracowaniu wykorzystano dane opadowe pochodzące z posterunku meteorologicznego Stacji Naukowej IGiGP UJ w Łazach, które rejestrowane były za pomocą deszczomierza Hellmanna i pluwiografu. Pojedyncze deszcze wyróżniono zgodnie z definicją opadu podaną w modelu USLE, według której za pojedynczy uznaje się deszcz rozdzielony w czasie od następnego okresem 6 godzin (Wischmeier i Smith, 1978).

Jednostkową energię kinetyczną deszczów obliczono na podstawie zapisów pluwiograficznych, stosując równanie opracowanego przez L. C. Browna i G. R. Foster (1987):

$$E_{kin} = \sum_{i=1}^n 0,29 \cdot \left[ -0,72 \cdot \exp(-0,05I_i) \right] \Delta P_i$$

gdzie:  $E_{kin}$  – energia kinetyczna deszczu przypadająca na jednostkę powierzchni,  $\text{MJ ha}^{-1}$ ,  
 $I_i$  – natężenie deszczu w okresie o stałym cząstkowym natężeniu  $i$ ,  $\text{mm h}^{-1}$ ,  
 $\Delta P_i$  – suma opadu deszczu w okresie o stałym cząstkowym natężeniu  $i$ ,  $\text{mm}$ .

Formuła ta była stosowana przez J. Rejmana (2006) do badania rozbryzgu i spłukiwania na glebach lessowych Płaskowyżu Nałęczowskiego.

Dla poszczególnych deszczów obliczono wskaźnik erozyjności deszczu i spływu powierzchniowego  $EI_{30}$  (Wischmeier i Smith 1978), definiowany jako iloczyn energii całkowitej opadu i jego maksymalnego natężenia w ciągu 30 minut.

$$EI_{30} = E_{kin} \cdot I_{30}$$

gdzie:  $EI_{30}$  – erozyjność deszczu,  $\text{MJ mm ha}^{-1}\text{h}^{-1}$ ,  
 $E_{kin}$  – energia kinetyczna deszczu przypadająca na jednostkę powierzchni,  $\text{MJ ha}^{-1}$ ,  
 $I_{30}$  – maksymalne 30-minutowe natężenie deszczu,  $\text{mm h}^{-1}$ .

## WYNIKI

### *Charakterystyka opadów*

Suma opadów w latach hydrologicznych 2007 i 2008 wyniosła odpowiednio 814,1 i 585,3 mm, a wartości te w obu przypadkach znacząco odbiegały od średniej z lat 1987-2008 (661,5 mm). Suma opadów w roku 2007 stanowiła 123,1% średniej wieloletniej, a suma opadów w 2008 odpowiednio 88,5%. Zgodnie z klasyfikacją opadów Z. Kaczorowskiej (1962) rok 2007 był rokiem wilgotnym, a rok 2008 rokiem suchym. W obu latach 71% opadów wystąpiło w półroczu letnim. Przy skrajnie zróżnicowanych rocznych sumach opadów, wartości czynnika erozyjności opadu i spływu powierzchniowego  $EI_{30}$  były również bardzo zróżnicowane. W roku 2007 czynnik  $EI_{30}$  wyniósł 1628,9  $\text{MJ mm ha}^{-1}\text{h}^{-1}$  i był on 2,4-krotnie wyższy w porównaniu do roku 2008, kiedy wyniósł tylko 667,0  $\text{MJ mm ha}^{-1}\text{h}^{-1}$ . Różnica ta spowodowana była głównie wystąpieniem w roku 2007 kilku opadów o dużej erozyjności (przekraczającej 100  $\text{MJ mm ha}^{-1}\text{h}^{-1}$ ), natomiast w roku 2008 takie deszcze nie wystąpiły w ogóle (tab. 1).

W 2007 r. najwyższe miesięczne sumy opadów zanotowano we wrześniu (211,2 mm) i w czerwcu (116,1 mm), co stanowiło odpowiednio 25,9% i 14,3% rocznej sumy opadów w tym roku (tab. 2). Suma opadów we wrześniu 2007 r. stanowiła 301% średniej miesięcznej sumy opadów z lat hydrologicznych 1987-2008 dla tego miesiąca, a suma opadów w czerwcu 2007 r. – 120,2% średniej miesięcznej sumy z lat hydrologicznych 1987-2008 dla czerwca. Opady półro-

cza letniego (V-X) stanowiły 71,6% rocznej sumy opadów. Najbardziej wilgotną porą roku była jesień (42% rocznej sumy opadów), w mniejszym stopniu lato (28,9% rocznej sumy opadów).

**Tabela 1.** Charakterystyka opadów w latach hydrologicznych 2007-2008 (Stacja Naukowa IGiGP UJ w Łazach k. Bochni)

**Table 1.** Characteristic of rainfall in 2007-2008 hydrological years (Łazy Field Research Station of the Institute of Geography and Spatial Management of the Jagiellonian University)

Parametr – <i>Parameter</i>	2007	2008	
Opad – <i>Precipitation</i> [mm]	814,1	585,3	
Erozyjność opadów – <i>Rainfall erosivity</i> EI <sub>30</sub> [MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ]	1628,9	667,0	
Liczba opadów o erozyjności [MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ]	>50	6	2
	>100	6	–
	>150	4	–
	>200	2	–
	>250	–	–

W 2008 r. najwyższe miesięczne sumy opadów zanotowano w lipcu (137,5 mm) i we wrześniu (103,6), co stanowiło odpowiednio 23,5% i 17,7% rocznej sumy opadów w tym roku (tab. 2). Suma opadów w lipcu 2008 r. stanowiła 141,2% średniej miesięcznej sumy opadów z lat hydrologicznych 1987-2008 dla tego miesiąca, a suma opadów we wrześniu – 147,6% średniej miesięcznej sumy z lat hydrologicznych 1987-2008 dla września. Opady półrocza letniego (V-X) stanowiły 71% rocznej sumy opadów. Najbardziej wilgotnymi porami roku były: lato (36,8% rocznej sumy opadów) i jesień (33,8% rocznej sumy opadów).

### ***Częstość zdarzeń splywu powierzchniowego i splukiwania***

Lata hydrologiczne 2007-2008, które były latami kontrastowymi pod względem rocznych sum opadu oraz ich erozyjności, charakteryzowały się również różną częstością i dynamiką splywu powierzchniowego i splukiwania w ciągu roku (tab. 3). W wilgotnym roku hydrologicznym 2007 wystąpiło 14 zdarzeń splywu powierzchniowego i splukiwania, z czego tylko 1 zdarzenie wystąpiło w półroczu zimowym i spowodowane było topnieniem śniegu. W suchym roku hydrologicznym 2008 wystąpiło 5 zdarzeń, wszystkie w półroczu zimowym i spowodowane były one topnieniem śniegu lub topnieniem śniegu i opadami deszczu.

W roku hydrologicznym 2007 najwięcej zdarzeń zanotowano w miesiącach letnich (czerwiec, lipiec i sierpień) i jesiennych (wrzesień) (tab. 3). Zdarzenia splywu i splukiwania wywołane były przez deszcze o zróżnicowanej erozyjności, ale prawie wszystkie spowodowane były przez opady, których maksymalne 30-minutowe natężenie przekraczało 15 mm h<sup>-1</sup>.

**Tabela 2.** Miesięczne sumy opadów [mm] w latach hydrologicznych 2007-2008 (Stacja Naukowa IGI GP UJ w Łazach k. Bochni)

**Table 2.** Monthly totals of precipitation [mm] in 2007-2008 hydrological years (Łazy Field Research Station of the Institute of Geography and Spatial Management of the Jagiellonian University)

Miesiąc	Rok							
	2007		2008		1987-2008			
	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]	S.D. <sup>1</sup> [mm]	C.V. <sup>2</sup> [%]
XI	55,2	6,8	47,4	8,1	35,3	5,3	14,0	39,8
XII	20,8	2,6	18,8	3,2	28,7	4,3	13,2	45,9
I	54,9	6,7	22,2	3,8	26,8	4,1	12,7	47,5
II	29,2	3,6	9,5	1,6	24,7	3,7	11,4	46,1
III	44,9	5,5	40,4	6,9	36,9	5,6	18,0	48,9
IV	25,9	3,2	31,7	5,4	55,4	8,4	34,4	62,0
V	60,8	7,5	49,7	8,5	75,7	11,4	25,3	33,4
VI	116,1	14,3	29,9	5,1	96,6	14,6	59,6	61,7
VII	69,9	8,6	137,5	23,5	97,4	14,7	59,5	61,1
VIII	49,6	6,1	47,9	8,2	69,7	10,5	33,6	48,3
IX	211,2	25,9	103,6	17,7	70,2	10,6	40,4	57,6
X	75,6	9,3	46,7	8,0	44,1	6,7	27,9	63,4
XI-X	814,1	100,0	585,3	100,0	661,5	100,0	104,8	15,8
XI-IV	230,9	28,4	170,0	29,0	207,8	31,4	50,5	24,3
V-X	583,2	71,6	415,3	71,0	453,7	68,6	90,0	19,8

<sup>1</sup> – odchylenie standardowe – standard deviation, <sup>2</sup> – współczynnik zmienności – variation coefficient

Liczba przypadków spływu powierzchniowego i spłukiwania na poletkach o tej samej długości była różna w zależności od użytkowania poletka. Najwięcej przypadków odnotowano na poletku P1 (czarny ugor) oraz poletku P3 (ziemniaki). Najmniej na poletku P4 (pszenica). Zdarzenia spłukiwania nie występowały równocześnie na wszystkich poletkach podczas tych samych zdarzeń opadowych. Różna była również liczba zdarzeń w zależności od wielkości poletka.

### ***Wielkość spływu powierzchniowego***

Spływ powierzchniowy w letnim półroczu hydrologicznym zmieniał się w szerokim zakresie. Maksymalne wartości współczynnika spływu wynosiły dla poletka z ziemniakami 39,2%, dla poletka utrzymywanego w czarnym ugorze 34,2%, dla poletka z pszenicą ozimą – 16,3% i trawą – 12,0% (tab. 3).

Wielkość spływu powierzchniowego zależała od rodzaju upraw. Największe wartości współczynnika spływu zazwyczaj występowały na czarnym ugorze. Wyjątek stanowiły dwa zdarzenia, które miały miejsce 15 maja i 2 czerwca 2007. Podczas tych zdarzeń spływ powierzchniowy był większy na poletku z ziemniakami, które w tym czasie znajdowały się w fazie wschodu i nie stanowiły wystarczającej ochrony dla gleby, a występowanie bruzd między redlinami



**Tabela 3.** Opad efektywny [mm], spływ powierzchniowy [mm] i współczynnik odpływu [%] na poletkach różnie użytkowanych w okresie od V-X w roku hydrologicznym 2007  
**Table 3.** Effective rainfall [mm], surface runoff [mm] and runoff coefficient [%] on differently used plots in the summer half-year of 2007 hydrological year

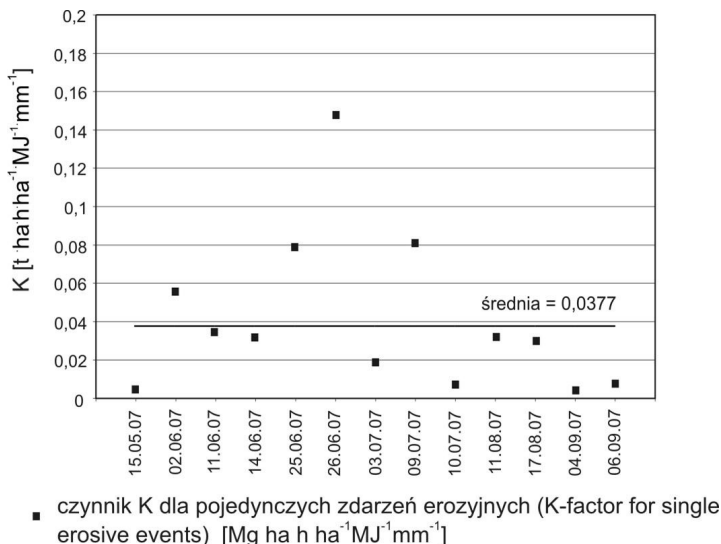
L.p. No	Data Date	Opad Rainfall [mm]	Spływ powierzchniowy – <i>Runoff</i>							
			Czarny ugór <i>Black fallow</i>		Ziemniaki <i>Potatoes</i>		Użytek trawiasty <i>Grassland</i>		Pszenica ozima <i>Winter wheat</i>	
			[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]
1.	15.05	33,8	2,3	6,7	5,2	15,5	2,4	7,0	0,1	0,2
2.	02.06	52,3	17,9	34,2	20,5	39,2	6,3	12,0	6,6	12,7
3.	11.06	10,2	2,7	26,2	0,4	3,7	0,1	0,8	0,0	0,0
4.	14.06	9,3	1,4	15,1	0,5	4,9	0,1	0,8	0,0	0,0
5.	25.06	11,6	4,2	36,2	2,7	23,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6.	26.06	8,1	1,2	14,7	0,7	8,5	0,1	0,9	0,0	0,0
7.	03.07	6,0	0,6	9,4	0,2	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0
8.	09.07	40,6	11,0	27,2	6,0	14,8	3,0	7,5	2,0	4,9
9.	10.07	5,6	0,6	10,9	0,4	6,8	0,0	0,0	0,0	0,0
10.	11.08	10,0	2,4	24,4	1,4	13,7	0,0	0,0	0,0	0,0
11.	17.08	24,8	7,7	30,8	5,6	22,8	0,3	1,4	0,1	0,3
12.	04.09	85,9	8,7	10,1	6,1	7,1	0,2	0,3	0,9	1,1
13.	06.09	94	15,7	16,7	15,9	16,9	8,0	8,6	15,3	16,3
Suma		392,2	76,4	19,5	65,6	16,7	20,5	5,2	25,0	6,4

ułatwiło skoncentrowany spływ wody. Zdecydowanie mniejsze wartości współczynnika spływu zanotowano na użytku trawiastym, a najmniejsze w większości przypadków na poletku z pszenicą ozimą. Spływy powierzchniowe na poletkach doświadczalnych miały głównie charakter spływów nienasyconych i spowodowane były opadami o dużym natężeniu. Jedynie podczas deszczu o dużej sumie opadu i stosunkowo niewielkim średnim natężeniu, który wystąpił 6 września 2007 r. wartości współczynnika spływu były zbliżone na wszystkich typach użytków (czarny ugór, ziemniaki w fazie pełni zasychania liści, poletko ze ścierniskiem). Natomiast na użytku trawiastym wartość współczynnika była o połowę mniejsza.

### **Podatność gleby na erozję**

W modelu USLE, stosunek wielkości erozji ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) do czynnika  $\text{EI}_{30}$  ( $\text{MJ mm ha}^{-1}\text{h}^{-1}$ ) zdefiniowany został jako czynnik podatności gleby na erozję (czynnik K). W roku hydrologicznym 2007 na poletku z czarnym ugiem splukiwanie gleby miało miejsce 13 razy w półroczu letnim. Masa zerodowanej gleby wyniosła 209,2 kg, co w przeliczeniu odpowiadało  $47,34 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Średnia roczna wielkość podatności gleb na erozję, obliczona przez podzielenie masy zmytej gleby przez łączną erozyjność deszczów, które ten zmyw spowodowały, osiągnęła wartość  $0,0377 \text{ Mg ha h ha}^{-1}\text{MJ}^{-1}\text{mm}^{-1}$  (rys. 3). Była to wartość niemal

dwukrotnie mniejsza od wyznaczonej z modelu USLE, w oparciu o skład granulometryczny, zawartości substancji organicznej, klasy struktury i przepuszczalności wodnej gleby ( $0,0738 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ).



**Rys. 3.** Podatność gleby na erozję (czynnik K) [ $\text{Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ] w roku hydrologicznym 2007 (Łazy, czarny ugór, poletko o długości 22,1m)

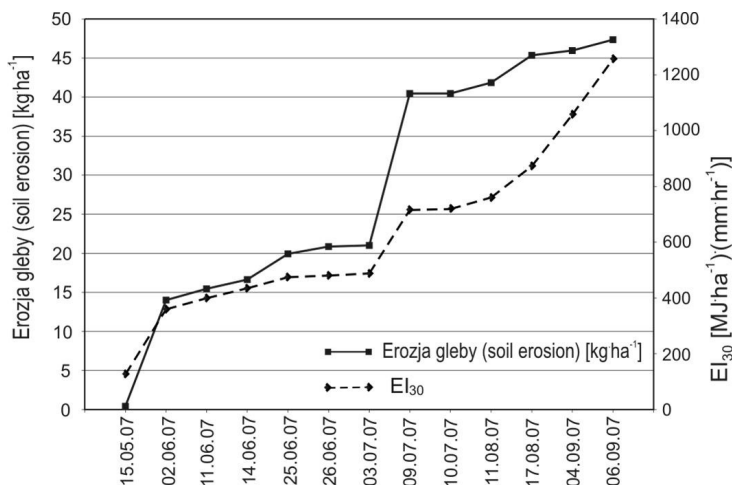
**Fig. 3.** Soil erodibility (factor K) [ $\text{Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ] in 2007 hydrological year (Łazy, fallow land, plot length – 22.1m)

Wartości czynnika K dla poszczególnych zdarzeń zmieniały się w zakresie od 0,0032 do 0,1583. Największą wartość (0,1583) zanotowano 26.06.2007, kiedy opad o niewielkiej erozyjności, występujący bezpośrednio po opadzie o stosunkowo wysokim maksymalnym 30-minutowym natężeniu, wywołał relatywnie znaczny zmyw gleby przy dużej wilgotności gruntu. Kolejną wysoką wartość współczynnika, zdecydowanie przekraczającą wartość średnią, odnotowano 9 lipca 2007 r. podczas zdarzenia wywołanego deszczem o dużej erozyjności ( $226,8 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) i wysokim maksymalnym 30-minutowym natężeniu ( $27,1 \text{ mm h}^{-1}$ ) (rys. 3).

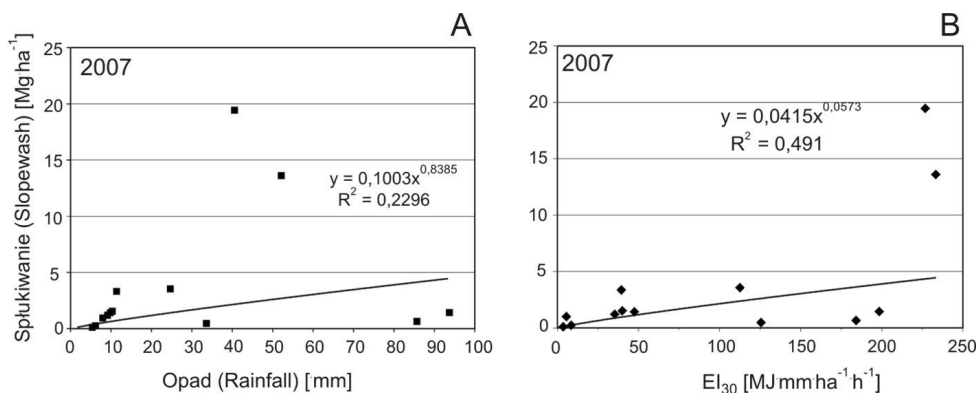
Największe splukiwanie miało miejsce 2 czerwca i 9 lipca 2007 r., podczas opadów o największej erozyjności przekraczającej  $200 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ . Były to stosunkowo krótkotrwałe opady, ale o dużym maksymalnym 30-minutowym natężeniu, wynoszącym odpowiednio 23,2 i 27,1  $\text{mm h}^{-1}$ . Stosunkowo niewielki zmyw gleby odnotowano podczas dwóch zdarzeń mających miejsce we wrześniu, które spowodowane były opadami o czynniku erozyjności bliskim 200

MJ mm ha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>. Były to jednak deszcze długotrwałe o wysokich sumach, ale zdecydowanie niższych natężeniach (rys. 4).

Zmyw gleby podczas wszystkich zdarzeń splukiwania był słabo skorelowany z sumą opadów (rys. 5A). Znacznie lepiej korelował on z czynnikiem erozyjności EI<sub>30</sub>. Związek ten najlepiej opisuje równanie potęgowe o współczynniku korelacji 0,7 na poziomie istotności 0,05 (rys. 5B). Jednak o masie wyerodowanej



**Rys. 4.** Krzywe kumulacyjne erozyjności opadu EI<sub>30</sub> i splukiwania na czarnym ugorze w okresie V-X w roku hydrologicznym 2007



**Rys. 5.** Zależność między splukiwaniem gleby a wysokością opadu (A) i czynnikiem erozyjności opadu EI<sub>30</sub> (B) (Łazy, czarny ugor, długość poletka: 22,1 m)

**Fig. 5.** Slopewash in relation to rainfall depth (A) and rainfall erosivity EI<sub>30</sub> (B) (Łazy, fallow land, plot length – 22.1m)

gleby w większym stopniu decydowało maksymalne 30-minutowe natężenie opadów niż ich wysokość.

#### ***Wpływ użytkowania ziemi na erozję gleby***

Proces spłukiwania najbardziej dynamicznie zachodził w letnim półroczu hydrologicznym, szczególnie na przełomie wiosny i lata. Spowodowane było to przede wszystkim słabą okrywą roślinną na niektórych uprawach (głównie ziemniakach, burakach cukrowych, kukurydzy itp.), prowadzeniem zabiegów agrotechnicznych oraz dużą częstością występowania deszczów erozyjnych (krótkotrwałych o dużym natężeniu).

W roku hydrologicznym 2007 największe wartości spłukiwania wystąpiły na poletku z ziemniakami. Były one o 8,3% mniejsze niż na poletku utrzymywanym w czarnym ugorze. Spłukiwanie na poletku z pszenicą ozimą było niewielkie i o 25% mniejsze niż na poletku obsianym trawą. Roczne spłukiwanie gleby w roku hydrologicznym 2007 na poletkach wynosiło: na pszenicy ozimej  $31,4 \text{ kg ha}^{-1}$ , na trawie –  $41,9 \text{ kg ha}^{-1}$ , na ziemniakach –  $43396,0 \text{ kg ha}^{-1}$ , a na czarnym ugorze –  $47340,2 \text{ kg ha}^{-1}$ . Proporcje w wielkości spłukiwania gleby wynosiły odpowiednio 1:1,3:1350,2:1507,7 (tab. 4).

Na wszystkich uprawach blisko 100% ogólnej masy wyerodowanej gleby zostało zmyte w letnim półroczu hydrologicznym. Najbardziej dynamicznie proces przebiegał w miesiącach letnich (w czerwcu, lipcu i sierpniu) oraz jesiennych (we wrześniu). Jedynie na użytku trawiastym duży udział w odprowadzaniu gleby miał okres wiosenno-letni (rys. 6). Duże spłukiwanie notowano zarówno podczas pojedynczych zdarzeń, jak i podczas kilku zdarzeń następujących po sobie w krótkim czasie. Najskuteczniejsze były zdarzenia z 2 czerwca i 9 lipca 2007 r., spowodowane opadami o dużej erozyjności (powyżej  $200 \text{ MJ mm ha}^{-1}\text{h}^{-1}$ ).

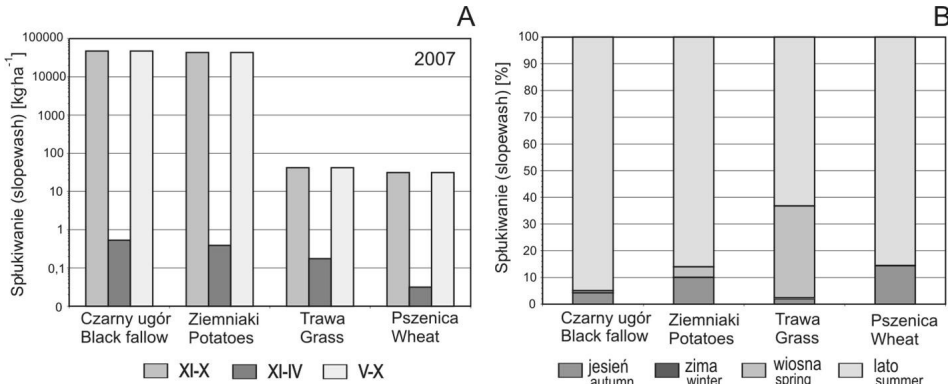
Oceny wpływu danej rośliny na ograniczanie erozji wodnej dokonuje się poprzez porównanie masy gleby przemieszczonej z poletka z roślinami do poletka bez roślin. W modelu USLE jest to tzw. czynnik okrywy roślinnej (C). W roku hydrologicznym 2007 dla całego okresu wegetacyjnego ziemniaka wyniósł on 0,92. W początkowym okresie wzrostu ziemniaka, spłukiwanie gleby było zdecydowanie większe na poletku z ziemniakami niż na poletku bez roślin, np. podczas deszczu, który miał miejsce w początkowym okresie wschodu ziemniaków (15 maja). Na poletku z ziemniakami, które były posadzone w redliny o rozstawie rzędów co 65 cm, znacznie szybciej doszło do koncentracji spływu powierzchniowego w bruzdach między redlinami niż na wyrównanym poletku bez roślin. Wartość czynnika C podczas tego zdarzenia była bardzo wysoka, a masa przemieszczanej gleby na poletku z ziemniakami ponad 4-krotnie wyższa niż na poletku bez roślin (rys. 7). Wartość czynnika C ulegała zmniejszeniu wraz ze wzrostem okrywy roślinnej – podczas opadu o bardzo dużej erozyjności, który wystąpił 2 czerwca, zmyw gleby na poletku z ziemniakami i na poletku bez roślin był prawie taki sam (rys. 7). Związane to było ze wzrostem roślin i zakrywaniem rzędów.

**Tabela 4.** Splukiwanie gleby [ $\text{kg ha}^{-1}$ ] na poletkach doświadczalnych w Łazach k. Bochni w latach hydrologicznych 2007-2008**Table 4.** Slopewash [ $\text{kg ha}^{-1}$ ] on differently used experimental plots in Łazy near Bochnia in 2007-2008 hydrological years

Rok Year	L.p.	Data Date	Opad Rainfall [mm]	Czynnik Factor $EI_{30}$ [MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ]	Splukiwanie – Slopewash [ $\text{kg ha}^{-1}$ ]			
					Czarny ugór Black fallow	Ziemniaki Potatoes	Trawa Grass	Pszenvica ozima Winter wheat
2007	1.	29.01	–	–	0,5	0,4	0,2	0
	2.	15.05	33,8	125,6	417,2	1731,4	14,4	0
	3.	02.06	52,3	233,3	13594,3	14271,2	9,7	24,2
	4.	11.06	10,2	40,0	1445,8	185,0	0	–
	5.	14.06	9,3	35,5	1168,9	147,2	0	–
	6.	25.06	11,6	39,5	3295,5	2555,8	0	–
	7.	26.06	8,1	5,9	933,9	658,0	–	–
	8.	03.07	6,0	8,4	160,0	109,0	–	–
	9.	09.07	40,6	226,8	19432,4	16164,4	15,9	2,6
	10.	10.07	5,6	3,8	25,2	31,3	–	–
	11.	11.08	10,0	41,3	1367,7	715,3	–	–
	12.	17.08	24,8	112,6	3509,5	2468,2	1,0	0
	13.	04.09	85,9	184,1	596,2	867,2	0	0,7
	14.	06.09	94	198,5	1393,1	3491,5	0,8	3,8
	Suma		392,2	1255,3	47340,2	43396,0	41,9	31,4
2008	1	07.01	–	–	–	–	2,3	–
	2	08.01	–	–	1,6	–	–	4,1
	3	12.01	–	–	0,7	–	–	1,5
	4	13.01	–	–	0,6	–	–	1,4
	5	19.01	–	–	–	–	–	1,0
		Suma		–	–	2,9	–	2,3

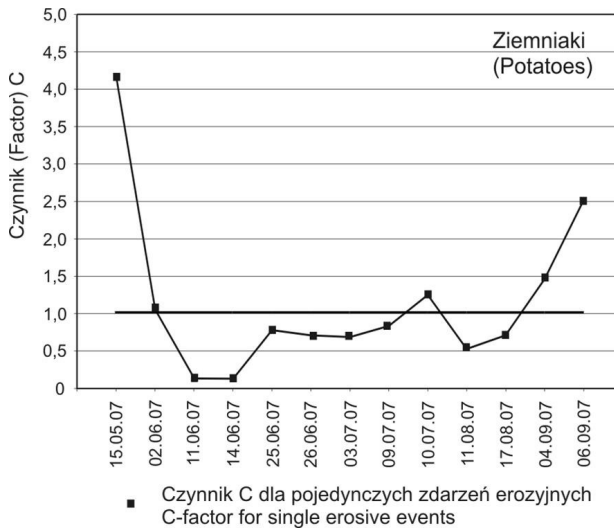
W kolejnych fazach wzrostu roślin (kwitnienia, pełni kwitnienia, początku fazy zasychania liści) wartość czynnika C wynosiła poniżej 1. Dobrze rozwinięta okrywa roślinna wyraźnie ograniczyła zmyw gleby podczas opadu o erozyjności powyżej  $200 \text{ MJ mm ha}^{-1}\text{h}^{-1}$ , który miał miejsce 9 lipca 2007 r. (rys. 7). Podczas opadu o niewielkiej erozyjności, który wystąpił następnego dnia przy dużej wilgotności gleby, bruzdami między redlinami została odprowadzona niewielka masa gleby, ale wartość czynnika C przekroczyła 1. Wyraźny wzrost wartości czynnika C nastąpił pod koniec okresu wegetacyjnego, kiedy redliny i bruzdy pokryte były uschniętymi łętami ziemniaczanymi. We wrześniu miały miejsce dwa opady o bardzo dużej wysokości i niewielkim natężeniu – wartość czynnika C była zdecydowanie większa podczas drugiego zdarzenia, przy dużym nasyceniu gruntu wodą.

Na poletku z pszenicą ozimą zmyw gleby był minimalny. Średnia wartość dla okresu wegetacyjnego czynnika C dla pszenicy ozimej wynosiła 0,0008. Oddziaływanie pszenicy ozimej było bardzo efektywne nawet podczas opadów o największej erozyjności, które wystąpiły 2 czerwca i 9 lipca. Wartości czynnika C dla tych zdarzeń wyniosły odpowiednio: 0,00177 i 0,00014.



**Rys. 6.** Słukiwanie gleby [kg ha<sup>-1</sup>] na różnie użytkowanych poletkach doświadczalnych (A) oraz procentowy udział słukiwania gleby w poszczególnych porach roku (B) w roku hydrologicznym 2007

**Fig. 6.** Slopewash [kg ha<sup>-1</sup>] on differently used experimental plots (A) and percentage of slope wash in particular seasons of the year (B) in 2007 hydrological year



**Rys. 7.** Zmiany czynnika pokrywy roślinnej C na poletku z ziemniakami podczas pojedynczych zdarzeń słukiwania w okresie V-X w roku hydrologicznym 2007 (poletko o długości 22,1m)

**Fig. 7.** Variability of C factor on potatoes plot during single rainfall events in the summer half-year of 2007 hydrological year (plot length – 22.1m)

**Splukiwanie gleby na poletkach o różnej długości**

Wstępne wyniki pomiarów uzyskane na poletkach o różnej długości, o takim samym użytkowaniu (poletka obsiane pszenicą) wskazują na zróżnicowanie liczby zdarzeń w zależności od długości poletka (tab. 5). Najwięcej zdarzeń miało miejsce na poletku najdłuższym (22,1 m), a najmniej na poletkach najkrótszych (5,5 i 2,75 m). Zdarzenia splukiwania miały tu miejsce tylko podczas opadów o najwyższej erozyjności, przekraczającej 200 MJ mm ha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>. Jedynie podczas spływu 6 września splukiwanie wystąpiło na wszystkich poletkach. Jednak to zdarzenie miało miejsce już po skoszeniu pszenicy, a na poletku było ściernisko. Ze względu na niewielką liczbę zdarzeń i nieznaczące ilości splukiwanej gleby na poletku z pszenicą ozimą, trudno jest wnioskować na temat prawidłowości odprowadzania materiału z poletek o różnej długości.

**Tabela 5.** Splukiwanie gleby [kg i kg m<sup>2</sup>] na poletkach o różnej długości z pszenicą ozimą w roku hydrologicznym 2007 w Łazach k. Bochni

**Table 5.** Slopewash [kg and kg m<sup>2</sup>] on winter wheat plots of different length in 2007 hydrological year in Łazy near Bochnia

L.p. No	Data Date	Czynnik Factor EI <sub>30</sub> [MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ]	Powierzchnia poletek – Area of plots [m <sup>2</sup> ]							
			44,2	22,1	11,0	5,5	44,2	22,1	11,0	5,5
			Splukiwanie – Slopewash [kg]				Splukiwanie – Slopewash [kg m <sup>2</sup> ]			
1.	29.01	–	n	n	n	n	n	n	n	n
2.	15.05	125,6	n	–	–	–	n	–	–	–
3.	02.06	233,3	0,11	0,01	–	–	n	n	–	–
4.	11.06	40,0	–	–	–	–	–	–	–	–
5.	14.06	35,5	–	–	–	–	–	–	–	–
6.	25.06	39,5	–	–	–	–	–	–	–	–
7.	26.06	5,9	–	–	–	–	–	–	–	–
8.	03.07	8,4	–	–	–	–	–	–	–	–
9.	09.07	226,8	0,01	–	–	–	n	–	–	–
10.	10.07	3,8	–	–	–	–	–	–	–	–
11.	11.08	41,3	–	–	–	–	–	–	–	–
12.	17.08	112,6	n	–	–	–	n	–	–	–
13.	04.09	184,1	n	–	–	–	n	–	–	–
14.	06.09	198,5	0,02	0,03	0,06	n	n	n	n	n
Suma Pszenica – Wheat		718,8	0,12	0,01	n	n	n	n	n	n
Suma Ściernisko – Stubble		536,5	0,02	0,03	0,06	n	n	n	n	n
Suma – Total		1255,3	0,14	0,04	0,06	n	n	n	n	n

n – nieznaczące

## DYSKUSJA

W Karpatach fliszowych na stokach użytkowanych rolniczo proces spłukiwania charakteryzuje się zwykle dużym natężeniem (Gerlach 1966, 1976, Gil 1994, 1999, 2009, Drużkowski 1998, Świąchowicz 2002, 2008). Ale nawet i tam liczba zdarzeń w ciągu roku jest bardzo zróżnicowana, bo uwarunkowana często równoczesnym brakiem zwartej okrywy roślinnej w sezonie wegetacyjnym na wielu uprawach i wystąpieniem opadów o wystarczającej sile erozyjnej (Świąchowicz 1995, 2002, Gil 1999, 2009). Jak pokazują prezentowane wyniki, zdarzenia spłukiwania w półroczu letnim mogą nie wystąpić w ogóle, jeśli rok charakteryzuje się niską sumą opadów, a pojedyncze deszcze mają zbyt małą erozyjność, by w pełni okresu wegetacyjnego i przy niskiej wilgotności gleby spowodować jej erozję. Sytuacja taka miała miejsce w suchym 2008 r., kiedy dwa największe deszcze, o erozyjności nieco przekraczającej  $80 \text{ MJ mm ha}^{-1}\text{h}^{-1}$ , nie spowodowały spłukiwania – nawet na czarnym ugorze, całkowicie w sezonie wegetacyjnym pozbawionym ochrony okrywy roślinnej. Natomiast w wilgotnym roku 2007 siedem deszczów o niewielkiej sile erozyjnej (od 3,8 do  $41,3 \text{ MJ mm ha}^{-1}\text{h}^{-1}$ ) wywołało spłukiwanie i odprowadziło z poletka z czarnym ugorzem blisko 18%, a z poletka z ziemniakami nieco ponad 10% gleby zerodowanej w półroczu letnim.

Uzyskane wyniki odnoszą się do strefy proggu Pogórza Karpat, pokrytej pyłowymi utworami lessopodobnymi, na których rozwinęły się głównie gleby płowe opadowo-glejowe. Gleby pylaste uznaje się za bardzo podatne na spłukiwanie. Wyznaczona empirycznie, na podstawie pomiarów spłukiwania w roku 2007, średnia roczna podatność gleb na erozję (czynnik K) osiągnęła wartość  $0,0377 \text{ Mg ha h ha}^{-1}\text{MJ}^{-1}\text{mm}^{-1}$ . Jest to wartość zdecydowanie niższa od wartości podatności wyznaczonej z modelu USLE, która dla gleb wytworzonych na lessach wynosi  $0,0738 \text{ Mg ha h ha}^{-1}\text{MJ}^{-1}\text{mm}^{-1}$ .

Dla poszczególnych zdarzeń spłukiwania straty gleby wykazują słabą korelację z wysokością opadów, natomiast znacznie lepiej są skorelowane z ich erozyjnością ( $EI_{30}$ ). Związek ten dla poletka utrzymywanego w czarnym ugorze najlepiej opisuje równanie potęgowe o współczynniku korelacji 0,7, na poziomie istotności 0,05. Na wielkość zmywu znacznie większy wpływ miało maksymalne 30-minutowe natężenie deszczu niż wysokość opadu.

W innym regionie Karpat fliszowych, w północnej, pogórskiej części zlewni Bystrzanki (w rejonie Szymbarku), określono na podstawie wieloletniej serii pomiarowej z lat 1969-1993 zależność pomiędzy czynnikiem erozyjności  $EI_{30}$ , a zmywem gleby na różnych typach użytków rolnych. Najlepiej opisują je wielomiany drugiego stopnia. Najwyższy współczynnik korelacji odnosił się do upraw ziemniaków ( $r = 0,51$ ), niższy do zbóż, a najniższy do łąki ( $r = 0,31$ ) (Demczuk 2009).



Wyniki pomiarów w rejonie Łazów potwierdzają prawidłowości stwierdzone w innych regionach Karpat, że splukiwanie na stokach użytkowanych rolniczo najbardziej dynamicznie zachodzi w półroczu letnim, a największe straty gleby występują na uprawach rzędowych takich jak ziemniaki i buraki cukrowe (Gerlach 1976, Gil 1994, 1999, 2009, Świąchowicz 2002, 2008, 2009). Empirycznie wyznaczony czynnik C dla upraw ziemniaka, prowadzonych zgodnie ze spadkiem terenu, w roku hydrologicznym 2007 wynosił 0,92, a na jego wartość wpływ miały intensywne opady w początkowym okresie wzrostu roślin (maj-czerwiec). Czynnik C empirycznie wyznaczony dla pszenicy ozimej i łąki był bardzo mały i wynosił odpowiednio 0,0008 i 0,0009.

Wartości splukiwania w półroczu letnim na uprawach ziemniaków uzyskane w rejonie Łazów mieszczą się w zakresie wartości dla półroczu letniego uzyskanych w wieloletnim 1969-2000 w rejonie Szymbarku (tab. 6). Jednak są ponad połowę niższe od wartości maksymalnej dla tego okresu. Zgodnie z wyznaczonym przez E. Gila (2009) kryterium wyróżniania ekstremalnych rocznych wartości splukiwania, ustalonym na poziomie  $48 \text{ t ha}^{-1}$ , uzyskana roczna wartość splukiwania w 2007 r. na uprawach ziemniaczanych nie spełnia tego warunku. Największe splukiwanie gleby stwierdzono na uprawach ziemniaków podczas dwóch zdarzeń, które miały miejsce 2 czerwca i 9 lipca 2007, podczas których zostało zmyte odpowiednio  $14271,2$  i  $16164,4 \text{ kg ha}^{-1}$  (tab. 4). Ich udział w wartości splukiwania w półroczu letnim wynosił odpowiednio 32,9% i 37,2%. Podczas żadnego z tych zdarzeń nie została jednak przekroczona wartość  $20 \text{ t ha}^{-1}$ , którą E. Gil (2009) podaje jako progową dla pojedynczych ekstremalnych zdarzeń splukiwania.

**Tabela 6.** Porównanie natężenia splukiwania w półroczu letnim w Łazach i Szymbarku  
**Table 6.** Comparison of sloopewash in Łazy and Szymbark in summer half-year

Region; autor; okres badań <i>Region, author, study period</i>	Typ uprawy <i>Crop or land use</i>	Roczne wartości splukiwania <i>Annual values of sloopewash</i> [ $\text{t ha}^{-1}$ ]			
		min.	maks.	śred.	ekstrem.
Szymbark; (Beskid Niski/Pogórze); Gil 2009; 1969-2000	ziemniaki	0,371	99,920	25,666	48,000
	zboże	0,005	6,468	0,396	–
	łąka	0,003	0,346	0,048	–
Łazy (próg Pogórza Wiśnickiego); Świąchowicz (wyniki w tekście); 2007-2008	ziemniaki	0,000	43,396	21,698	–
	zboże	0,000	0,313	0,156	–
	łąka	0,000	0,418	0,209	–

Roczna wartość spłukiwania gleby w Łazach (strefa progu Pogórza Wiśnickiego) na uprawach ziemniaków była 2,3 razy mniejsza od maksymalnej rocznej wartości spłukiwania zanotowanego w Szymbarku (północna, pogórska część zlewni Bystrzanki, położonej na granicy Beskidu Niskiego i Pogórza Ciężkowickiego) i blisko 1,7 razy większa od średnich wartości spłukiwania podawanych dla tego obszaru w okresie 1969-2000. Zbyt krótka seria pomiarowa w Łazach nie pozwala na stwierdzenie, w którym regionie Karpat natężenie spłukiwania jest większe. Czy w strefie progu Pogórza Karpackiego, gdzie występują gleby pylaste, czy w obrębie wyższych pogórzy (Szymbark), gdzie występują gleby ze znaczną zawartością frakcji kamienistej i ilastej. Porównania te mają charakter jedynie orientacyjny, jednak w Szymbarku w okresie 1969-2000 roczne spłukiwanie, wyższe niż w Łazach, notowane było tylko trzykrotnie, a w pozostałych latach było zdecydowanie niższe.

Mimo, że na stokach użytkowanych rolniczo natężenie spłukiwania w obrębie pól jest bardzo duże, to transport materiału na stoku odbywa się zwykle na krótkie odległości, a akumulacja następuje w obrębie działek z gęstą roślinnością, bruzd poprzecznych na granicach działek, na częściach stoków o mniejszym nachyleniu lub u ich podnóży. Prowadzi to do tworzenia się schodowego profilu stoków (Gerlach 1966, Gil 1976, Świąchowicz 2002). Charakterystyczny dla Karpat fliszowych mozaikowy układ pól różnie użytkowanych i oddzielonych od siebie miedzami, bruzdami i polnymi drogami sprawia, że mechanizm dostawy materiału ze stoków do koryt potoków jest złożony (Gil 1976, Froehlich 1982, Świąchowicz 2002). Do den dolin rzecznych lub koryt dociera materiał tylko podczas gwałtownych ulew i deszczów rozlewnych, w czym główną rolę odgrywają drogi polne (bezpośrednio dochodzące do koryt) i naturalne rozcięcia, natomiast rola przyrzeczy jest znikoma (Froehlich, Słupik 1980, 1986, Froehlich 1982). Te dwa systemy transferu cząstek nazywane są: liniowym – ciągłym (zachodzącym na całej długości stoku systemem dróg i rozcięć erozyjnych podczas roztopów i większości deszczów) i kaskadowym–odcinkowym (zachodzącym w obrębie działek ograniczonych terasami rolnymi) (Froehlich, Walling 1995).

## PODSUMOWANIE

Przeprowadzone pomiary wskazują na zmienną liczbę zdarzeń erozyjnych i zróżnicowaną erozję szczególnie w letnim półroczu hydrologicznym, wyraźnie zależną od erozyjności deszczów oraz rodzaju i struktury upraw. Największe wartości spłukiwania odnotowano podczas deszczów o największej erozyjności (powyżej 200 MJ mm ha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>) i wysokim maksymalnym 30-minutowym natężeniu (powyżej 20 mm h<sup>-1</sup>).

Średnie roczne wartości spłukiwania kształtowały się od 31,3 kg ha<sup>-1</sup>(psze-

nica ozima) i  $41,8 \text{ kg ha}^{-1}$  (trawa) do  $43396,0 \text{ kg ha}^{-1}$  (ziemniaki) i  $47339,6 \text{ kg ha}^{-1}$  (czarny ugór). Okrywa roślinna znacznie ograniczała erozję: wartość czynnika okrywy roślinnej C w roku hydrologicznym 2007 wyniosła dla całego okresu wegetacyjnego ziemniaka 0,92 i znacznie mniej dla pszenicy ozimej – 0,0008 oraz łąki – 0,0009.

Splukiwanie gleby w Łazach (strefa proggu Pogórza Wiśnickiego) w okresie badań cechowało się mniejszym natężeniem w porównaniu do występującego w Szymbarku (północna pogórska część zlewni Bystrzanki położonej na granicy Beskidu Niskiego i Pogórza Ciężkowickiego) w latach 1969-2000. W uprawie ziemniaków średnie roczne wartości splukiwania były nieco mniejsze (o 15%), a zboża znacznie mniejsze (o połowę).

## PODZIĘKOWANIA

Jestem wdzięczna Recenzentowi artykułu za cenne uwagi. Panu dr inż. Mariuszowi Klimkowi, kierownikowi Stacji Naukowej IGiGP UJ w Łazach k. Bochni oraz paniom mgr inż. Monice Adamskiej i Danucie Szewczyk dziękuje bardzo serdecznie za pomoc w badaniach terenowych. Analizy laboratoryjne zostały wykonane przez panią mgr inż. Monikę Adamską w laboratorium Stacji Naukowej w Łazach.

Zebrane dane uzyskano w ramach projektu badawczego nr Nr 2 P04E05330 „Przyrodnicze i antropogeniczne uwarunkowania splukiwania w Polsce (na przykładzie wybranych obszarów)”, finansowanego przez MNiSW w latach 2006-2009.

## Literatura

- Auzet A.V., Boiffin J., Papy F., Maucorps J., Ouvry J.F., 1990, An approach to the assessment of erosion forms and erosion risk on agricultural land in the northern Paris Basin, France, [w:] J. B. Boardman, I. D. L. Foster, J. A. Dearing (red.), *Soil Erosion on Agricultural Land*, John Wiley & Sons, 384–400.
- Boardman J.B., 1995, Damage to property by runoff from agricultural land, South Downs, southern England, 1976-93, *Geographical Journal* 161, 177–191.
- Boardman J.B., Verstraeten G., Bielders Ch., 2006, Muddy floods, [w:] J.B. Boardman, J. Poesen (red.), *Soil erosion in Europe*, John Wiley & Sons, 743–755.
- Brown, L.C., Foster, G.R., 1987, Storm erosivity using idealized intensity distributions, *Transactions of the ASAE* 30, 379–386.
- Demczuk P., 2009, Wpływ erozyjności deszczu na wielkość erozji gleb w zlewni Bystrzanki w latach 1969-1993, [w:] W. Bochenek, M. Kijowska (red.), *Funkcjonowanie środowiska przyrodniczego w okresie przemian gospodarczych w Polsce*, Bibl. Monitor. Środ., Szymbark, 231–238.
- Drużkowski M., 1998, *Współczesna dynamika, funkcjonowanie i przemiany krajobrazu Pogórza Karpackiego*, Instytut Botaniki UJ, Kraków, 285 s.
- Evrard O., Bielders Ch., Vandaele K., Vesemael B., 2007, Spatial and temporal variation of muddy floods in central Belgium of-site impacts and potential control measures, *Catena* 70, 443–454.

- Froehlich W., 1982, *Mechanizm transportu fluwialnego i dostawy zwietrzelin do koryta w górskiej zlewni fliszowej*, Prace Geogr. IGiPZ PAN, 143, 144 s.
- Froehlich W., Słupik J., 1980, Drogi polne jako źródła dostawy wody i zwietrzelin do koryta cieków, *Zesz. Problem. Post. Nauk Roln.* 235, 257–268.
- Froehlich W., Słupik J., 1986, Rola dróg w kształtowaniu spływu i erozji w karpaccich zlewniach fliszowych, *Przeł. Geogr.* 58, 1–2, 129–160.
- Froehlich, W., Walling, D.E., 1995, Ewolucja użytkowanego rolniczo stoku beskidzkiego w świetle badań metodami klasycznymi i radioizotopowymi, [w:] *Procesy geomorfologiczne. Zapis w rzeźbie i osadach, III Zjazd Geomorfologów Polskich. Streszczenia komunikatów, posterów i referatów*, WNoZ UŚ, SGP, Sosnowiec, 22–23.
- Gerlach T., 1958, Wstępne wyniki badań nad intensywnością współczesnych procesów denudacyjnych w Jaworkach k. Szczawnicy, *Rocz. Nauk Roln.* F–72–3.
- Gerlach T., 1966, *Współczesny rozwój stoków w dorzeczu górnego Grajcarka (Beskid Wysoki)*, Prace Geogr. IG PAN 52, 124 s.
- Gerlach T., 1976, *Współczesny rozwój stoków w polskich Karpatach Fliszowych*, Prace Geogr. IG PAN 122, 116 s.
- Gil E., 1976, *Splukiwanie gleby na stokach fliszowych w rejonie Szymbarku*, Dokum. Geogr. 2, 1–65.
- Gil E., 1994, Monitoring obiegu wody i splukiwania na stokach, [w:] *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Stacja Bazowa Szymbark (Karpaty Fliszowe)*, PIOŚ, Warszawa, 66–87.
- Gil E., 1999, *Obieg wody i splukiwanie na fliszowych stokach użytkowanych rolniczo w latach 1980-1990*, Zeszyty IGiPZ PAN 60, 78 s.
- Gil E., 2009, Ekstremalne wartości splukiwania gleby na stokach użytkowanych rolniczo w Karpatach Fliszowych, [w:] W. Bochenek, M. Kijowska (red.) *Funkcjonowanie środowiska przyrodniczego w okresie przemian gospodarczych w Polsce*, Bibl. Monitor. Środ., Szymbark, 191–218.
- Gilewska S., Starkel L., 1988, Geomorfologia, [w:] K. Trafas (red.) *Atlas miejskiego województwa tarnowskiego*, PAN, Oddział w Krakowie – Komisja Nauk Geograficznych, Urząd Wojewódzki w Tarnowie, Kraków, s. 9.
- Kaczorowska Z., 1962, *Opady w Polsce w przekroju wieloletnim*, Prace Geogr. IG PAN 33, 112 s.
- Klimek M., 1995, Charakterystyka pokrywy glebowej eksperymentalnej zlewni Dworskiego Potoku (Pogórze Wielickie), [w:] L. Kaszowski (red.) *Struktura i funkcjonowanie środowiska przyrodniczego prognozy Karpat*, Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr. 100, 99–111.
- Rejman J., 2006, *Wpływ erozji wodnej i uprawowej na przekształcenie gleb i stoków lessowych*, Instytut Agrofizyki PAN, Acta Agrophysica, 136, 3, 106 s.
- Słupik, J., 1970. Methods of investigating the water cycle within a slope, *St. Geomorph. Carpatho-Balcan.* 4, 127–136.
- Starkel L., 1988, Rzeźba, [w:] J. Warszńska (red.) *Województwo tarnowskie – monografia*, PAN Kraków, 19–28.
- Skiba S. 1992, Gleby zlewni Starej Rzeki, *Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr.* 88, 39–47.
- Stankoviansky M., 2002, Bahenné povodne – hrosba úvalín a suchých dolín, *Geomorphologia Slovaca* 2, 5–15.
- Świąchowicz J., 1991, Budowa geologiczna i rzeźba zlewni Starej Rzeki, *Zesz. Nauk. UJ Prace Geogr.* 83, 165–184.
- Świąchowicz J., 1992, Naturalne i antropogeniczne uwarunkowania rzeźby w zlewni Starej Rzeki, *Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr.* 88, 49–69.

- Świąchłowicz 1995, Opadowe uwarunkowania wystąpienia spływu powierzchniowego w zlewni Starej Rzeki na Pogórzu Karpackim, [w:] L. Kaszowski (red.), *Dynamika i antropogeniczne przeobrażenia środowiska przyrodniczego prognozy Karpat między Rabą a Uszwicą*, Instytut Geografii UJ, Kraków, 185–193.
- Świąchłowicz J., 1998, Splukiwanie gleby na stoku eksperymentalnym w rejonie Łazów (Pogórze Wielickie), [w:] A. Kostrzewski (red.), *Funkcjonowanie i tendencje rozwoju geosystemów Polski*, Bibl. Monitor. Środ., Warszawa, 217–227.
- Świąchłowicz J., 2000, The threshold conditions for slope wash processes in the foothill catchment (Carpathian Foothills, South Poland), *St. Geomorph. Carpatho-Balcan.* 34, 67–88.
- Świąchłowicz J., 2002, *Współdziałanie procesów stokowych i fluwialnych w odprowadzaniu materiału rozpuszczonego i zawiesiny ze zlewni pogórskiej*, Instytut Geografii UJ, Kraków, 150 s.
- Świąchłowicz J., 2008, Wpływ splukiwania, sufozji i procesów eolicznych na współczesną ewolucję stoków Karpat fliszowych, [w:] L. Starkel, A. Kotarba, A. Kostrzewski, K. Krzemień (red.), *Współczesne przemiany rzeźby Polski*, IGIGP UJ, Kraków, 80–94.
- Świąchłowicz J., 2009, Geomorfologiczne i ekonomiczne skutki deszczu nawalnego z dnia 17 czerwca 2006 r. na terenie Rolniczego Zakładu Doświadczalnego UJ w Łazach (Pogórze Wiśnickie), [w:] W. Bochenek, M. Kijowska (red.), *Funkcjonowanie środowiska przyrodniczego w okresie przemian gospodarczych w Polsce*, Bibl. Monitor. Środ., Szymbark, 219–230.
- Świąchłowicz J., 2010, Ekstremalne splukiwanie i erozja liniowa na stokach użytkowanych rolniczo w Karpatach fliszowych, *Pr. i St. Geogr.* 45, 29–48.
- Wischmeier W. H., Smith D. D. 1978, *Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning*, Agricultural Handbook No 537, U.S. Department of Agriculture, Washington D.C., 58 s.