

Krzysztof Stepniewski

Piotr Demczuk

Jan Rodzik

Krzysztof Siwek

Instytut Nauk o Ziemi

Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie

e-mail: k.step@poczta.umcs.lublin.pl

**ZWIĄZKI MIĘDZY OPADEM DESZCZU A SPŁYWEM
POWIERZCHNIOWYM I SPŁUKIWANIEM GLEBY NA POLETKACH
DOŚWIADCZALNYCH O RÓŻNYM UŻYTKOWANIU
(GUCIÓW – ROZTOCZE ŚRODKOWE)**

**Relationship between rainfall and runoff and slope wash on plots
of varying land use (Guciów – Central Roztocze Region)**

Abstract: The work contains results of observations on the relationship between precipitation and surface runoff and slope wash on the surface plots in UMCS Science Station in Guciów. Observations come from a period of 6 years (2000-2006). Tests were conducted on three plots with typical use of the area. Two plots, with meadow and fallow land, were on the south slope and inclination of 3-5°. The third plot was established in the forest, whose slope was inclined at an angle of 13-18° and east display. Cover of soil in the station area, are eroded podsol soil, with silty sand in the arable layer. Obtained results of the observations were included in the form of regression equations describing the relationship between rainfall during the summer and surface runoff, runoff and slope-wash of soil's, rainfall erosivity factor and slope wash.

Słowa kluczowe: spływ powierzchniowy, spłukiwanie gleby, erozyjność opadu

Key words: surface runoff, slope wash, rainfall erosivity factor

WSTĘP

Każdy opad atmosferyczny, w zależności od jego sumy, natężenia oraz czasu trwania, przeobrażany jest w parę wodną, spływ śródglebowy i powierzchniowy. Rodzaj transformacji zależy od charakteru opadu, właściwości fizycznych i struktu-

ry gruntu (uziarnienie, wilgotność) oraz od rodzaju i wielkości pokrywy roślinnej znajdującej się na stoku (Słupik 1973). Spływająca woda po stoku odrywa cząstki gleby, które są dalej transportowane zgodnie z nachyleniem terenu.

Obecny stan wiedzy na temat relacji pomiędzy opadem, spływem powierzchniowym a spłukiwaniem pochodzi przede wszystkim z badań w zlewniach – reprezentujących różne subsystemy oraz regiony geograficzne – a także na poletkach doświadczalnych. Pomiaru spływu wody i spłukiwania gleby na stokach prowadzone są w różnych regionach Polski od wielu lat (m.in. Gerlach 1966, Słupik 1981, Smolska 1993, 2005, Święchowicz 2002, Rodzik, Stępniewski 2005). Jednym z ośrodków zajmujących się tymi procesami – od 1998 roku – jest Roztoczańska Stacja Naukowa UMCS w Guciowie na Roztoczu Środkowym.

Wstępne wyniki pomiarów spływu i spłukiwania, prowadzonych na poletkach w Guciowie, zostały opublikowane (Stępniewski 2008). Stwierdzono decydującą rolę opadów deszczu w przemieszczaniu materiału glebowego na stoku, zarówno w skali roku jak i wielolecia, niezależnie od sposobu użytkowania. W okresie 1999-2006 na opady deszczu przypadało 98%, 90% i 88% masy gleby odprowadzonej z poletek, pozostawionych odpowiednio: w czarnym ugorze, darni i zagajniku. Spływ roztopowy, mimo że przeważał na poletkach z roślinnością (darni, zagajnik), miał ograniczone znaczenie w erozji. Roczne wielkości spłukiwania nie wykazały silnego związku z rocznymi sumami opadów, zwłaszcza na poletkach z roślinnością. Nie brano jednak pod uwagę wysokości opadów w poszczególnych okresach pomiarowych, a także ich erozyjności. Celem niniejszej pracy jest więc próba określenia zależności między opadem atmosferycznym a powierzchniowym spływem wody i erozją gleby na podstawie wyników pomiarów pojedynczych zdarzeń. Dla każdego z nich wielkość spływu powierzchniowego oraz erozja gleby na poletkach doświadczalnych zestawiona została z sumą opadu w danym okresie oraz czynnikiem erozyjności deszczu (EI_{30}).

METODY BADAŃ

Badania wielkości spływu i spłukiwania gleby prowadzono na trzech poletkach doświadczalnych: z czarnym ugorzem herbicydowym (odpowiadającym gruntom ornym), z koszoną trawą (odpowiednikiem łąki lub pastwiska) oraz z zagajnikiem brzozy, sosny i osiki, odpowiadającym terenom leśnym. Poletka założono na terenie Roztoczańskiej Stacji Naukowej UMCS w Guciowie ($50^{\circ}34'57''N$ i $23^{\circ}4'24.5''E$), na prostych i krótkich stokach, użytkowanych w przeszłości jako grunty orne. Wytworzona tu na drobno- i średnioziarnistych piaskach gleba bielcowa została zredukowana do profilu Ap-C (Rodzik, Stępniewski 2005). Jej poziom orno-próchniczny ma następujący skład granulome-

tryczny: piasek – 80% (1-0,1 mm – 70% oraz 0,1-0,05 – 10%), pył (0,05-0,002 mm) – 18%, w tym pył gruby – 12%, natomiast il (<0,002 mm) – tylko 2%. Według klasyfikacji PTGleb. jest to piasek gliniasty, chociaż właściwsze byłoby określenie – piasek pylasty. Poziom ten jest znacznie zakwaszony, a zawartość węgla organicznego wynosi w nim 1,5%.

Położone obok siebie poletka z czarnym ugiem i z trawą, miały nachylenie 3-5° i ekspozycję S. Poletko zalesione znajdowało się kilkanaście metrów dalej, na stoku o ekspozycji NE i nachyleniu 13-18°. Wszystkie poletka miały jednakowe wymiary (25 x 2 m) i były ekranowane blachą w dolnej części (na długości 4 m) oraz nasypami ziemnymi w pozostałej ich części (rys. 1). Jako urządzenia zbiorcze na poletkach, zastosowano aluminiowe zbiorniki Seilera o pojemności ok. 900 l.



Ugór herbicydowy
Black fallow



Stok zadarniony
Grassland



Zagajnik
Forest

Rys. 1. Poletka doświadczalne na terenie Roztoczańskiej Stacji Naukowej w Guciowie
Fig. 1. Experimental plots at the Roztocze Research Station in Guciw

Pomiary sływu i spłukiwania wykonywano w latach 1998-2005 z różną częstotliwością. W okresie letnim następowało to po większych opadach, w odstępach od kilku dni do kilku tygodni, tak więc jeden pomiar mógł obejmować jeden lub kilka epizodów sływu i spłukiwania. Z kolei w 2006 roku zawartość chwytaczy sprawdzano po każdym opadzie, który mógł wywołać powierzchniowy sływ wody. Pomiar sływu wykonywano odmierzając, za pomocą wyskalowanego naczynia, ilość wody zebranej w każdym ze zbiorników, a następnie wybierano z nich materiał glebowy, który suszono i ważono, otrzymując wielkość spłukiwania. Dane o sumie opadów pochodzą z deszczomierza Hellmanna. Dane o natężeniu opadów, jako 10-minutowe sumy z automatycznego deszczomierza, otrzymano z Zakładu Meteorologii i Klimatologii UMCS. Obydwa deszczomierze znajdują się w pobliżu poletek, dlatego zdarzające się luki w rejestracji uzupełniono danymi z deszczomierza Hellmanna. Dane opadowe wykorzystano do

obliczenia współczynnika erozyjności opadu EI_{30} [$\text{MJ cm ha}^{-1}\text{h}^{-1}$] (Wischmeier, Smith 1978), definiowanego jako iloczyn energii całkowitej opadu E_{ki} i jego maksymalnej intensywności w ciągu 30 minut [$I_{30} = \text{cm h}^{-1}$]:

$$EI_{30} = (E_{ki} \cdot I_{30})/100.$$

Wartość EI_{30} opisuje zdolność spadających kropel deszczu i spływającej po powierzchni stoku wody do odspajania oraz transportu cząstek gleby. Energię kinetyczną deszczu (E_{ki}) wyznacza się z równania:

$$E_{ki} = (206 + 87 \cdot \log I_i) \cdot P_i,$$

gdzie: E_{ki} – energia kinetyczna w i -tym przedziale [J m^{-2}], I_i – intensywność deszczu w i -tym przedziale [cm h^{-1}], P_i – warstwa opadu w i -tym przedziale [cm].

Parametr E_{ki} wyznaczano dla opadów w okresie, w którym obserwowano spływy wywołane opadami deszczu (od marca do listopada). Za opad pojedynczy przyjęto, zgodnie z definicją opadu podaną w modelu USLE, opad nie rozdzielony w czasie od następnego okresem 6 godzin (Wischmeier, Smith 1978). Wyniki pomiarów zestawiono dla lat hydrologicznych 2000-2006, dla których dysponowano danymi o natężeniu opadów, co umożliwiło przypisanie im określonej energii kinetycznej, wyrażonej indeksem EI_{30} . Przy obliczaniu zależności między erozyjnością opadu i spłukiwaniem pominięto wyniki pomiarów spływu i spłukiwania, które były skutkiem dwóch lub więcej opadów.

WYNIKI POMIARÓW

W okresie 2000-2006 występowały lata o różnych warunkach meteorologicznych, a pojawiające się spływy i towarzyszący im na ogół zmyw gleby były wynikiem opadów o różnej sumie, natężeniu i czasie trwania. Średnia roczna suma opadów dla Guciowa obliczona dla lat 2000-2006 (712 mm) była zbliżona do średniej wieloletniej (1951-2000) dla pobliskiego Zwierzyńca (704 mm), lecz inny był rozkład opadów w czasie (Kaszewski 2004). W stosunku do wielolecia wzrosły sumy opadów zwłaszcza w miesiącach wiosennych (o 9-18%) i w lipcu (o 30%). We wrześniu, październiku i grudniu opady były znacząco mniejsze, odpowiednio o 24%, 21% oraz 19% w stosunku do wielolecia. Opady w półroczach ciepłych były wyższe niż w półroczach chłodnych i stanowiły od 55 do 70% rocznej sumy. Najwyższą średnią sumą opadu (120 mm) charakteryzował się lipiec, najniższą zaś luty (37 mm).

Roczne sumy opadów atmosferycznych w Guciowie, w okresie badań wahały się w zakresie 563,2-873,1 mm. Dużo wyższe od średniej wieloletniej były opady w latach 2000 i 2002, najsuchszy był natomiast rok 2003, po którym nastąpił stopniowy wzrost rocznych sum opadów aż do osiągnięcia wartości średnich w 2006 r. Średnia roczna liczba dni z opadem wyniosła 162, a częste opady (ponad 170 dni), notowano na początku i w środku okresu badawczego, natomiast naj-

mniej było ich w roku 2003 – 146 dni. Wysokich opadów, ≥ 10 mm, najczęściej wystąpiło w roku 2006 (25 dni), najmniej w roku 2003 (15 dni), przy średniej prawie 20 dni w wieloleciu (tab. 1). Maksymalne dobowe sumy opadu wahały się od 35,7 do 59,3 mm (Stepniewski 2008).

Tabela 1. Charakterystyka opadów i sływ powierzchniowy spowodowany opadami deszczów oraz współczynnik sływu w latach 2000-2006 w Guciuwie

Table 1. Characteristic of precipitation, runoff due to rainfalls and rainfall index in Guciów between 2000-2006

Rok Year	Liczba dni z opadem Number of precipitation		Suma opadu Total precipitation	Sływ wody z poletek Runoff from plots					
	$\geq 0,1$ mm	≥ 10 mm		czarny ugor herbicydowy black fallow		darń grass		zagajnik forest	
			mm	mm	%*	mm	%*	mm	%*
2000	155	19	873,1	105,6	12,1	4,6	0,5	3,6	0,4
2001	174	16	710,3	42,1	5,9	3,4	0,5	4,8	0,7
2002	173	23	791,8	52,7	6,7	14,5	1,8	10,5	1,3
2003	146	15	563,2	31,9	5,7	2,7	0,5	5,1	0,9
2004	174	16	638,4	8,3	1,3	2,0	0,3	3,9	0,6
2005	158	23	686,7	30,0	4,4	2,2	0,3	6,0	0,9
2006	156	25	719,0	73,5	10,2	3,3	0,5	8,1	1,1
Średnia Mean	162,3	19,6	711,8	49,2	6,6	4,7	0,6	6,0	0,8

* rocznej sumy opadów; percentage of annual precipitation

Na czarnym ugorze, sływ powierzchniowy w wyniku opadów deszczu stanowił 69-98% jego rocznej wielkości (Stepniewski 2008). Współczynnik sływu na tym poletku wyniósł od 1,3 do ponad 12% w poszczególnych latach (tab. 1). Największy sływ w skali całego roku (105,6 mm) wystąpił na tym poletku w 2000 roku, charakteryzującym się najwyższymi opadami. Najmniejszy sływ powierzchniowy wystąpił w 2004 roku (8,3 mm), przy stosunkowo niskich opadach (tab. 1).

Na poletkach z roślinnością sływ wody opadowej w poszczególnych latach był, w porównaniu z czarnym ugiorem, od 2 do prawie 30 razy niższy i cechował się mniejszą zmiennością (tab. 1). Największy sływ wystąpił na tych stokach w 2002 r., który odznaczył się wysoką sumą opadów o dużej erozyjności. Sływ powierzchniowy osiągnął na stoku zadarnionym blisko 2%, a w zagajniku nieco ponad 1% rocznej sumy opadów. Najniższe wartości sływu powierzchniowego, wywołanego opadami deszczu, odnotowano w 2004 r., który był rokiem o małej liczbie dni z opadem ≥ 10 mm, a na stoku zadarnionym, dodatkowo w roku następnym o wyjątkowo niskiej erozyjności opadów (tab. 2). Na poletkach z okry-

wą roślinną, w przeciwieństwie do czarnego ugoru, spływ wody po opadzie deszczu stanowił tylko około 40% powierzchniowego spływu wody w ciągu roku (Stepniewski 2008).

Tabela 2. Wielkość spłukiwania propluwalnego w Guciowie w latach 2000-2006 i udział w spłukiwaniu ogółem na tle wskaźnika EI₃₀

Table 2. Propluvial wash and its share in total annual wash in Guciów between 2000-2006 and EI₃₀

Rok Year	Spłukiwanie na poletkach <i>Soil wash on plots</i>						EI ₃₀ ^{**} [MJ cm ha ⁻¹ h ⁻¹]
	czarny ugor herbicydowy <i>black fallow</i>		darń <i>grass</i>		zagajnik <i>forest</i>		
	kg ha ⁻¹	%*	kg ha ⁻¹	%*	kg ha ⁻¹	%*	
2000	37634	99,9	108,0	95,4	6,6	90,4	72,5
2001	5802	98,5	22,3	97,0	5,9	98,3	51,3
2002	1999	99,9	41,9	99,5	10,6	99,1	182,8
2003	3126	77,2	7,9	50,0	1,6	39,0	99,9
2004	139	85,8	0,0	0,0	0,0	0,0	44,4
2005	4599	99,9	10,6	100,0	7,4	100,0	27,2
2006	23539	99,5	2,9	100,0	7,3	100,0	107,4
Średnia Mean	10977	98,5	27,7	91,8	5,6	88,1	83,6

* rocznej ilości zmytego materiału glebowego po opadach; percentage of total wash

** suma za okres III – XI; total for period III – XI

W objętych opracowaniem latach, wartość wskaźnika EI₃₀ w Guciowie zmieniła się od 27,2 do 182,8 MJ cm ha⁻¹h⁻¹, wahając się w poszczególnych miesiącach od 0,6 do 104,4 MJ cm ha⁻¹h⁻¹. Spływ powierzchniowy i spłukiwanie występowały najczęściej w okresie od maja do lipca, kiedy miały miejsce zwykle po 2-3 takie zdarzenia. Średnia suma erozyjności deszczów (EI₃₀) w Guciowie w latach 2000-2006 obliczona dla sezonu od marca do listopada, wyniosła 83,7 MJ cm ha⁻¹h⁻¹ (tab. 2). Jest to wartość większa od obliczonych (dla całego roku) dla stacji położonych na zachód i północo-zachód od Roztocza (Puławy – 77,1, Sandomierz – 78,5) i mniejsza niż na północnych stokach Karpat, np.: w Limanowej – 113,5 (Banasik i in. 1995) czy Szymbarku – 93,1 (Demczuk 2009).

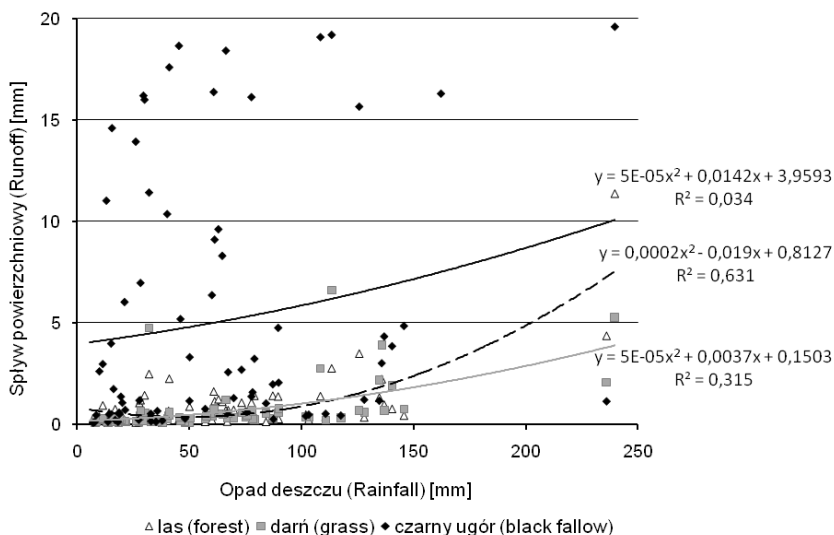
Na czarnym ugorze spłukiwanie gleby było głównie wynikiem powierzchniowego spływu po opadach deszczu i cechowało się dużą zmiennością w poszczególnych latach, od 139 kg ha⁻¹rok⁻¹ (2004) do ponad 37 t ha⁻¹rok⁻¹ (2000). Spłukiwanie deszczowe średnio stanowiło 98,5% masy spłukanego rocznie materiału (tab. 2).

Splukiwanie na poletkach z roślinnością było w tym czasie wielokrotnie mniejsze i maksymalnie osiągnęło $108 \text{ kg ha}^{-1}\text{rok}^{-1}$ (2000) na stoku trawiastym oraz $10,6 \text{ kg ha}^{-1}\text{rok}^{-1}$ (2002) w zagajniku. Podobnie jak na stoku użytkowanym jako czarny ugór, na poletkach z uprawami udział spływów deszczowych w erodowaniu gleby był dominujący – tylko w 2004 r. spływy deszczowe nie spowodowały erozji gleby z tych poletek (tab. 2).

Wielkości spływu i splukiwania na eksperymentalnych poletkach w Guciowie i wzajemne relacje między nimi są zbliżone do wyników uzyskanych przez E. Smolską (2005) na glebach piaszczystych Pojezierza Suwalskiego.

ANALIZA: OPAD – SPŁYW – SPŁUKIWANIE

W latach 2000-2006 wykonano blisko 80 pomiarów spływu i splukiwania, dla których przeanalizowano relacje między sumą opadu atmosferycznego a spływem powierzchniowym i zmywem gleby na poletkach eksperymentalnych w Guciowie. Relacje między sumą opadu, a wielkością spływu wody deszczowej po stoku najlepiej opisuje regresja wielomianowa drugiego stopnia. Na poletku z czarnym ugiem odnotowano słabą korelację ($r^2=0,2$; $n=78$) między sumą opadu deszczu a spływem powierzchniowym. Dla poletka z darnią siła związku korelacyjnego była średnia ($r^2=0,6$ przy $n=80$), a silna ($r^2=0,8$ przy $n=79$) na poletku zlokalizowanym w zagajniku (rys. 2).

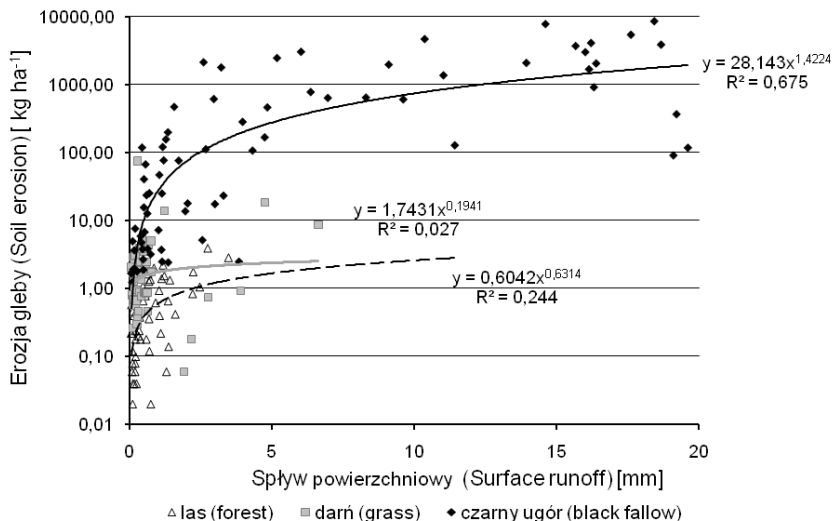


Rys. 2. Zależność między wielkością opadu i spływem powierzchniowym na poletkach doświadczalnych w Guciowie w latach 2000-2006

Fig. 2. Relationship between rainfall and runoff from experimental plots in Guciów in the period 2000-2006

Na silną zależność między sumą opadu a splywem powierzchniowym w zagajniku wpływają stabilne warunki, związane z pokryciem roślinnym i znaczną intercepcją oraz obecnością liściastej ściółki, zalegającej na tym, stosunkowo stromym, stoku. Pochłania ona wodę podczas niskich opadów, natomiast podczas wysokich ogranicza infiltrację, przyspiesza splyw i każdorazowo stwarza zbliżone warunki dla splywu wody. Na poletku zadarnionym słabsza korelacja mogła być spowodowana koszeniem trawy i zmienną intercepcją. Zabieg ten zmienia też warunki splywu wody, zwłaszcza na stoku o małym nachyleniu. Z kolei, na poletku użytkowanym jako czarny ugór, słaba zależność między sumą opadu a splywem powierzchniowym może być związana z różnym stanem gruntu w początkowej fazie splywu (przede wszystkim z jego wilgotnością) i różną zdolnością do infiltracji. Istotna jest również struktura gruntu uwarunkowana zabiegami pielęgnacyjnymi. Znaczny rozrzut punktów świadczy także o dużym znaczeniu czynników, mających wpływ na rozbryzg i przebieg splywu, takich jak: wielkość kropeł czy natężenie opadu.

Do analizy zależności między wielkością splywu powierzchniowego i erozją gleby wykorzystano dane z tych samych okresów, co w przypadku relacji opad – splyw. Najlepiej opisują ją równania potęgowe. Bardzo silny związek splywu ze splukiwaniem stwierdzono na czarnym ugorze ($r^2=0,8$; $n=76$), średni w zagajniku ($r^2=0,5$; $n=56$), natomiast w przypadku poletka zadarnionego stwierdzono słabą korelację między wielkością splywu, a erozją gleby ($r^2=0,2$; $n=56$) (rys. 3).

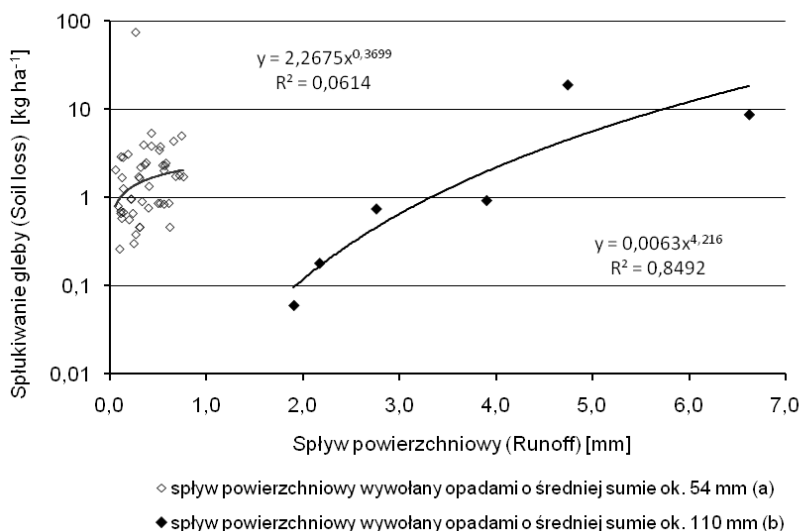


Rys. 3. Zależność między wielkością splywu powierzchniowego i splukiwaniem na poletkach w Guciowie w latach 2000-2006

Fig. 3. Relationship between propluwal runoff and slope wash from experimental plots in Guciów in the period 2000-2006

Na poletku w czarnym ugorze silną zależność między sływem powierzchniowym, a splukiwaniem należy wiązać z brakiem ochronnego czynnika przeciwerozyjnego, jaki stanowi okrywa roślinna. Występują tu najmniej zmienne warunki dla porywania cząstek gleby przez wodę płynącą po stoku. W zagajniku warunki sływu także wydają się stosunkowo stabilne, jednakże związane z ochronną rolą roślinności. Na pewną ich zmienność mogą wpływać fenologiczne pory roku (rozwój runa), a zwłaszcza stan ściółki, ulegającej rozkładowi w okresie wegetacyjnym.

Z kolei brak korelacji pomiędzy sływem i splukiwaniem na poletku zadarnionym może być spowodowany największą tu zmiennością wilgotności gruntu, wskutek pobierania wody przez trawę, a także możliwością „czystego” sływu po źdźbłach skoszonej trawy. Dane dla poletka z darnią układają się ponadto w dwóch grupach. Pierwsza grupa punktów zlokalizowana jest blisko osi rzędnych, natomiast druga grupa rozciąga się w zakresie od 2 do 9 mm sływu powierzchniowego (rys. 4).



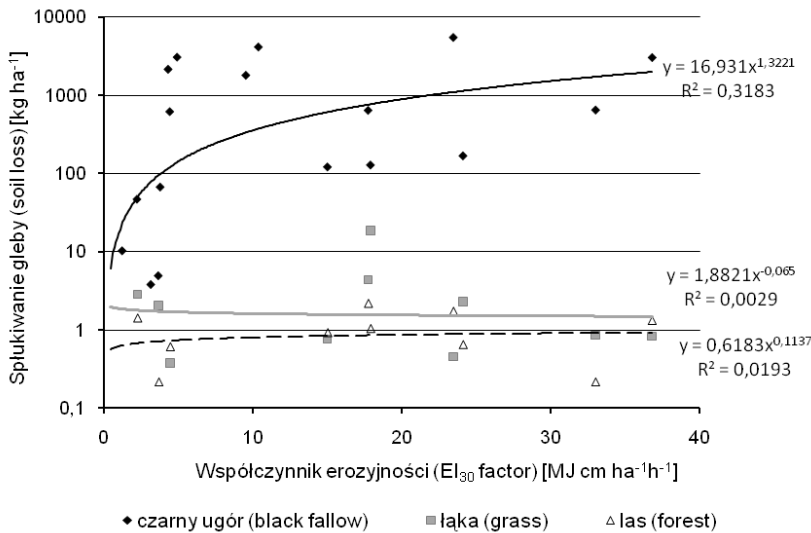
Rys. 4. Zależność między wielkością sływu powierzchniowego a splukiwaniem na poletku z darnią w Guciowie w latach 2000-2006

Fig. 4. Relationship between surface runoff and soil loss on experimental plot with grass in the period 2000-2006 (blue – surface runoff triggers off rainfall mean equal sum about 54 mm; brown – surface runoff triggers off rainfall mean equal sum about 110 mm)

Pierwsza grupa związana jest z okresami o opadach niższych, których średnia suma wynosi 54 mm. Skutkowały one niewielkim sływem, przy czym niektóre z nich, wywołane przez krótkotrwałe, intensywne opady – relatywnie dużym splukiwaniem. W grupie tej związek między sływem powierzchniowym,

a spłukiwaniem właściwie nie występuje. Druga grupa objęła tylko 6 okresów, o średniej sumie opadu 110 mm, w tym tylko jeden o sumie niższej od 100 mm. Wszystkie skutkowały znacznym, ale mało intensywnym i stosunkowo długotrwałym spływem powierzchniowym i niewielkiej intensywności spłukiwaniem. Stosunkowo prostą zależność wielkości spłukiwania od wielkości, a w tym przypadku także i czasu trwania spływu, odzwierciedla bardzo silny związek między tymi elementami, na poziomie korelacji $r^2=0,9$, przy $n=6$ (rys. 4).

Oceny bezpośredniej relacji między opadem (jego erozyjnością wyrażoną czynnikiem EI_{30}), a wielkością spłukiwania dokonano dla 19 epizodów, odnoszących się do pojedynczych, konkretnych zdarzeń, dla których autorzy posiadali dane o intensywności opadu oraz wielkości spływu i spłukiwania (rys. 5).



Rys. 5. Zależność między erozyjnością opadu (EI_{30}), a wielkością erozji na polstkach doświadczalnych w Guciowie w latach 2000-2006

Fig. 5. Relationship between rainfall erosivity (EI_{30}) and soil erosion on plots in the years 2000-2006

Wybrane zdarzenia pochodzą z lat: 2002 (4 zdarzenia), 2003 (2 zdarzenia), 2005 (1 zdarzenie) oraz 2006 (12 zdarzeń) i odnoszą się do opadów o różnej sumie: od 7,2 mm do 39,0 mm i czasie trwania opadu: od 20 minut do 20 godzin. Współczynnik erozyjności EI_{30} tych opadów wahał się od 0,5 do 36,8 jednostek erozyjności, przy maksymalnych natężeniach od 0,1 do 1 mm min^{-1} . Skuteczność erozyjna wybranych opadów była bardzo zróżnicowana: dwa z nich nie spowodowały spłukiwania gleby na żadnym z poletek, mimo wystąpienia spływu powierzchniowego. Wśród pozostałych zdarzeń, tylko 10 z nich skutkowało

erozją gleby na stokach z roślinnością. Najbardziej narażony na zmyw gleby był stok utrzymywany w czarnym ugorze, na którym wielkość splukiwania wynosiła od 0 do 5,5 t ha⁻¹. Zdecydowanie mniejsza i mniej zróżnicowana była skala zmywu gleby na poletkach z roślinnością: na stoku trawiastym do 18,6 kg ha⁻¹, a w zagajniku do 2,2 kg ha⁻¹.

Współczynniki korelacji dla równań regresji (rys. 5) wskazują na brak zależności między erozyjnością opadu (EI₃₀), a wielkością erozji gleby na poletkach z okrywą roślinną ($r^2=0,1$ przy $n=10$ dla zagajnika oraz $r^2=0,04$ przy $n=10$ dla poletka zadarnionego). Można to tłumaczyć ochronną rolą roślinności, przede wszystkim przed rozbrzygiem, który traktowany jest jako proces przygotowujący splukiwanie (Rejman 2006). W takiej sytuacji na wielkość splukiwania większy wpływ może mieć wielkość i długotrwałość opadu niż jego intensywność. Dla poletka użytkowanego jako czarny ugór siła korelacji wyniosła $r^2=0,6$ przy $n=17$ – jest to więc wartość mniejsza od uzyskanej na glebie lessowej przez Rejmana (2006). Należy to łączyć przede wszystkim z większą zmiennością wilgotności przypowierzchniowej warstwy gleby przed wystąpieniem opadu na glebie piaszczystej (Rejman 2006, Rodzik, Stępniewski 2005, Stępniewski 2008).

Porównanie korelacji między erozyjnością deszczu i erozją gleby w Guciowie, z wynikami ze stacji IGiPZ PAN w Szymbarku na glebach gliniastych, wskazuje na podobieństwo tylko na poletkach w czarnym ugorze. Korelacja w obu tych przypadkach jest na poziomie średnim i wynosi odpowiednio $r^2=0,6$ i $r^2=0,5$. Dla poletek utrzymanych jako łąki, lepszą siłę związku uzyskano dla gleby gliniastej w Szymbarku, gdzie kształtowała się ona na poziomie średnim (Demczuk 2009).

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Okres prowadzenia pomiarów spływu i splukiwania na poletkach doświadczalnych w Guciowie był zróżnicowany pod względem opadowym, a pojawiające się zdarzenia erozyjne były skutkiem opadów o bardzo różnych parametrach.

Średni spływ powierzchniowy spowodowany opadami deszczu, na stoku pozabawionym roślinnością, stanowił 6,6% średniej rocznej sumy opadów i był odpowiadający za 98,5% wielkości splukiwania, obejmującej średnio prawie 11 t ha⁻¹rok⁻¹ wyerodowanej gleby, przy dużej zmienności z roku na rok. Na poletkach z darnią i w zagajniku, spływ powierzchniowy wyniósł mniej niż 1% średniej rocznej sumy opadu atmosferycznego i był przyczyną, odpowiednio: 91,8% i 88,1% rocznej wielkości splukiwania. Splukiwanie było tu mniej zmienne z roku na rok i dużo niższe: średnio 27,7 na stoku trawiastym i 5,6 kg ha⁻¹rok⁻¹ na stoku zalesionym.

Pomiary w zagajniku wykazały wyraźną zależność spływu powierzchniowego od wielkości opadu deszczu, niezależnie od jego natężenia. Na poletku zadar-

nionym nie rysowała się ona już tak wyraźnie, natomiast na poletku bez roślinności – związek między tymi elementami był bardzo słaby. Świadczy to o stabilizującej roli roślinności w formowaniu, a praktycznie w ograniczaniu spływu powierzchniowego. Jej brak na czarnym ugorze powoduje natomiast, że o wielkości spływu decydowały głównie: natężenie opadu oraz stan chwilowy powierzchni gruntu.

Wielkość spływu powierzchniowego nie wpływała w sposób istotny na natężenie spłukiwania na poletkach z roślinnością, na których słabo oddziałuje rozbryzg. Wyjątkiem są relatywnie wysokie i będące skutkiem wysokich (sum) opadów, spływy na poletku zadarnionym, gdzie zależność ta jest wyjątkowo silna. Relacje te wskazują, że na stokach z roślinnością większy wpływ na spłukiwanie mają: wysokość opadu i czas jego trwania niż jego intensywność. Potwierdzeniem jest brak zależności między erozyjnością opadu, a spłukiwaniem na poletkach z roślinnością, podczas gdy na poletku jej pozbawionym zależność ta jest widoczna. Na czarnym ugorze spłukiwanie najwyraźniej jednak koreluje z wielkością spływu, a więc o wielkości spłukiwania na stoku bez roślinności decydują przede wszystkim czynniki kształtujące spływ w takich warunkach. Ważne jest niewątpliwie natężenie opadu, wpływające także na proces rozbryzgu, ale wydaje się, że niezmiernie istotne znaczenie ma stan gruntu, decydujący o możliwości i wielkości infiltracji.

Przeprowadzone analizy relacji składowych obiegu wody i materii na stoku wskazują, że bezpośredni związek między wielkością i natężeniem spływu i zmywu materiału glebowego, a jakimkolwiek parametrem opadu, powodującego ich wystąpienie, jest słaby. W badaniach tych procesów powinno się uwzględniać szereg, wpływających na ich intensywność, zmiennych parametrów – zarówno wśród czynników jak i warunków. Czynniki EI₃₀ wydaje się w niewystarczający sposób charakteryzować erozyjność opadu, istotniejsze może być natężenie opadu w początkowej fazie. Niezmiernie istotne znaczenie ma rozpoznanie stanu początkowego gruntu, a zwłaszcza jego wilgotności, natomiast na stokach z roślinnością powinno się uwzględniać nie tylko stan wegetacji, ale także zabiegi pielęgnacyjne.

Literatura:

- Banasik K., Skibiński J., Górski D., 1995, Metody oceny erozji powierzchniowej i akumulacji rumowiska w zbiornikach, [w]: A. Ciepeliowski (red.), *Metodyka zagospodarowania zasobów wodnych w małych zlewniach rzecznych*, Wyd. SGGW, Warszawa, 63–76.
- Bochenek W., Gil E., 2007, Procesy obiegu wody i denudacji chemicznej w zlewni Bystrzanki, *Przegl. Nauk. Inżynieria i Kształtowanie Środowiska* XVI, 2 (36), 28–42.
- Demczuk P., 2009, *Wpływ erozyjności deszczu na wielkość erozji gleb w zlewni Bystrzanki w latach 1969-1993*, Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego,

- Funkcjonowanie Środowiska przyrodniczego w okresie przemian gospodarczych w Polsce*, Bibl. Monitor. Środ., Szymbark, 231–238.
- Gerlach T., 1966, *Współczesny rozwój stoków w dorzeczu Górnego Grajcarka (Beskid Wyspowy – Karpaty Zachodnie)*, Prace Geogr. IG PAN, 52, 111 s.
- Gil E., 1999, *Obieg wody i spłukiwanie na fliszowych stokach użytkowanych rolniczo w latach 1980-1990*, Zesz. IGiPZ PAN, 60, 78 s.
- Kaszewski B. M., 2004, Warunki klimatyczne, [w]: A. Świeca (red.), *Przyrodnicze uwarunkowania dynamiki obiegu wody i natężenia transportu fluwialnego w zlewni górnego Wieprza*, Wyd. UMCS, Lublin, 41–49.
- Rejman J., 2006, *Wpływ erozji wodnej i uprawowej na przekształcanie gleb i stoków lessowych*, Acta Agrophysica, Rozprawy i Monografie, 136, Wyd. IA PAN, Lublin, 90 s.
- Rodzik J., Stepniewski K., 2005, Spłukiwanie na zróżnicowanych litologicznie użytkowanych rolniczo stokach Roztocza Środkowego, [w]: A. Kotarba, K. Krzemień, J. Święchowicz (red.), *Współczesna ewolucja rzeźby Polski, VII Zjazd Geomorfologów Polskich, Kraków 19-22 września 2005*, 389–396.
- Słupik J., 1973, *Zróżnicowanie spływu powierzchniowego na fliszowych stokaach górskich*, Dokum. Geogr. 2, 118 s.
- Słupik J., 1981, *Rola stoku w kształtowaniu odpływu w Karpatach fliszowych*, Prace Geogr. IGiPZ PAN, 142 s.
- Smolska E., 1993, Rola spłukiwania w dostawie materiału do transportu fluwialnego w obszarze młodo glacialnym (na przykładzie górnej Szeszupy) – wstępne wyniki badań, *Zesz. Nauk. PAN „Człowiek i Środowisko”*, 6, 159–165.
- Smolska E., 2005, *Znaczenie spłukiwania w modelowaniu stoków młodoglacialnych (na przykładzie Pojezierza Suwalskiego)*, Wydż. Geogr. i Studiów Region. UW, Warszawa, 146 s.
- Stepniewski K., 2008, Wpływ spływu roztopowego i deszczowego na wielkość spłukiwania z poletek o różnym użytkowaniu, *Landform Analysis* 9, 49–52.
- Święchowicz J., 2002, *Współdziałanie procesów stokowych i fluwialnych w odprowadzaniu materiału rozpuszczonego i zawiesiny ze zlewni pogórskiej*, Przemiany środowiska na Pogórzu Karpackim 3, 134 s.
- Wischmeier W.H., Smith D.D., 1978: *Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning*, Agricultural Handbook No. 537, USDA, Washington, DC.