
Stacja Naukowa w Szymbarku, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN,
38-311 Szymbark 430, mkijowska@zg.pan.krakow.pl, kiskzak@zg.pan.krakow.pl

MAŁGORZATA KIJOWSKA-STRUGAŁA, KRZYSZTOF KISZKA

Ocena wielkości rozbryzgu gleby na stoku pogórskim (Karpaty fliszowe, zlewnia Bystrzanki)

Assessment of the Splash on the Foothill Slope (Flysch Carpathians,
Bystrzanka Catchment)

Słowa kluczowe: rozbryzg, spływ powierzchniowy, eksperymentalne poletka, czarny ugor, łąka, stok pogórski, zlewnia Bystrzanki

Keywords: splash, runoff, experimental plots, black fallow, meadows, foothill slope, Bystrzanka catchment

WPROWADZENIE

Funkcjonowanie systemu denudacyjnego w Karpatach fliszowych warunkowane jest m.in. przez procesy rozbryzgu i splukiwania gleby (Gerlach 1976; Froehlich, Słupik 1980; Śmietana 1987; Rejman 2006; Gil 2009; Święchowicz 2012). Opady atmosferyczne powodują odrywanie i przemieszczanie cząstek gleby, co doprowadza do niszczenia struktury oraz pogorszenia przepuszczalności gleby (Fox i in. 1998). Siła oddziaływania na grunt zależy przede wszystkim od energii kinetycznej deszczu, prędkości spadania kropeł i masy wody (Poesen 1985; Renard 1992; Wischmeier, Smith 1978). Istotne znaczenie ma również erozyjność gleby, wynikająca z jej fizyczno-chemicznych właściwości: zdolności infiltracji, charakteru agregatów glebowych, zawartości substancji organicznej, spójności, porowatości, uziarnienia (Poesen, Torri 1988; Govers 1991; Szpikowski 2001). Największe rozmiary erozyjnej działalności kropeł deszczu notuje się na powierzchniach pozbawionych stale lub okresowo roślinności (Gil 2009). Wielkość rozbryzgu maleje wraz ze wzrostem gęstości pokrycia terenu (Szpikowski 2010). Procesy rozbryzgu mają istotne znaczenie głównie w sezonie letnim, ze względu na największą częstość występowania opadów deszczu o dużym natężeniu.

niu. Badania eksperymentalne prowadzone przez Parsons i in. (1994) ukazują, że maksimum rozbryzgu przypada zazwyczaj na 15–20 minutę deszczu, następnie natężenie procesu maleje z powodu pojawienia się warstwy wody redukującej energię kropli deszczu. Dodatkowo warstwa wody zwiększa kąt wyrzucania materiału i zmniejsza odległość jego przemieszczania (Poeson, Savat 1981).

Poniżej zaprezentowano wstępne wyniki badań nad rozbryzgiem na czarnym ugorze na stoku pogórskim w Szymbarku. Głównym celem artykułu jest analiza dynamiki rozbryzgu w czasie różnych zdarzeń opadowych w okresie letnim w 2012 roku na powierzchniach o różnym nachyleniu i użytkowaniu ziemi.

METODY I OBSZAR BADAŃ

Badania nad rozbryzgiem prowadzono na pogórskim stoku doświadczalnym Stacji Naukowej IGiPZ PAN w Szymbarku, zlokalizowanym w dolnej części zlewni Bystrzanki, na wysokości 310–330 m n.p.m. Obszar położony jest w obrębie Karpat fliszowych (Karpaty Zewnętrzne), na granicy Beskidu Niskiego i Dółów Jasielsko-Sanockich (Starkel 1972). Podłoże geologiczne stoku pogórskiego stanowią łupkowo-piaszkowcowe warstwy inoceramowe, okryte gliniasto-kamienną pokrywą zwietrzelinową o miąższości od 1–1,5 m w górnej części stoku do 2,5 m w dolnej (Słupik 1973; Gil 1976). Materiał budujący pokrywy zwietrzelinowe ma skład mechaniczny glin średnich pylastych, o łącznym udziale procentowym frakcji piaszczystej i pylastej około 60% (Adamczyk i in. 1973).

Pomiary rozbryzgu wykonywano od maja do sierpnia 2012 roku. Zarejestrowano łącznie 15 zdarzeń opadowych o charakterze ulewnym oraz rozlewnym (tab. 1). Badania polegały na pomiarze ilości materiału oderwanego od podłoża w wyniku erozyjnej działalności kropli deszczu za pomocą lejków o zróżnicowanej średnicy (75, 110 mm). Lejki włożono do słoików, które umieszczano we wkopanych w glebę rurach PCV, o średnicach dostosowanych do średnicy lejków. Chwytnice rozbryzgu umieszczano kilka milimetrów nad gruntem, co uniemożliwiało (fot. 1) dostawę gleby pochodzącej ze splukiwania. Dodatkowo w poprzek stoku zostały zamontowane deski o wysokości 40 cm. Ich zadaniem było oddzielenie przemieszczonego materiału ze względu na kierunek jego przemieszczania: zgodny lub przeciwny do nachylenia stoku. W celu określenia pionowego zasięgu rozbryzgu zainstalowano deskę o wysokości 100 cm, szerokości 15 cm i grubości 2 cm, do której z obydwu stron przymocowano po 10 drewnianych deseczek (fot. 1). Całość została przykryta daszkiem zabezpieczającym przed zmywaniem materiału.

Po zakończeniu zdarzenia opadowego materiał sączono, suszono i ważono z dokładnością do 0,0001 g. Poletka z czarnym ugorzem były przez cały okres prowadzenia pomiarów utrzymywane bez roślinności.

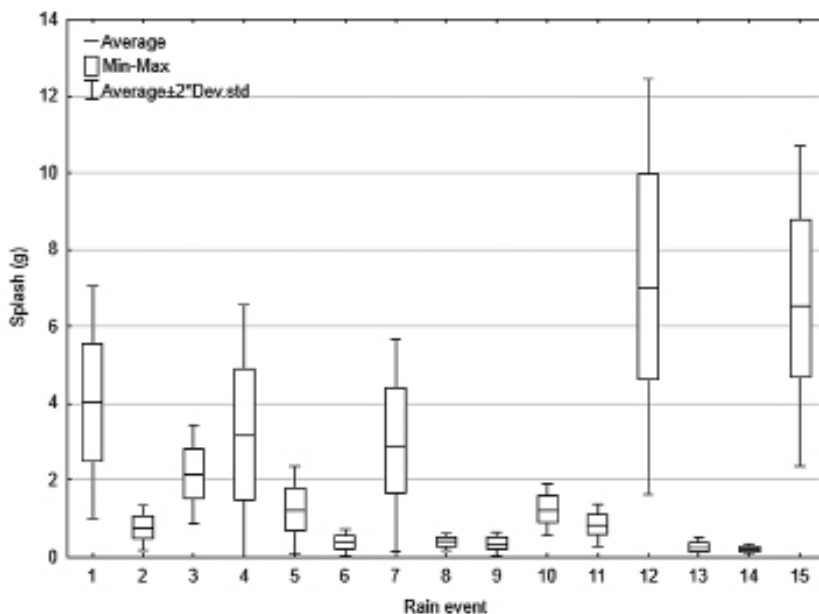
Tabela 1. Okresy badania rozbryzgu na poletkach doświadczalnych w Szymbarku
 Table 1. Periods of splash erosion sampling on experimental plots in Szymbark

Numer zdarzenia/ Period number	2012	Suma opadu/ Total rainfall	Czas trwania opadu/ Rainfall duration	Maksymalna intensywność/ Maximum intensity	Erozyjność deszczu EI30/Rainfall erosivity factor	Średni rozbryzg na poletkach o nachyleniu 11° (czarny ugór)/ Mean splash on the slope (11° - black fallow)
		mm	min	mm·min-1	MJ·mm·ha-1·h-1	g·m-2
1	24.05	12,8	80	1,0	36,9	22,4
2	28.05	3,9	5	0,4	2,6	5,9
3	29.05-6.06	37,6	675	0,4	38,0	44,0
4	6-12.06	32,1	330	0,6	29,2	36,0
5	12-26.06	22,9	395	1,4	45,6	40,5
6	26-06-10.07	10,0	75	0,4	2,8	12,9
7	10-17.07	27,4	290	0,8	8,5	27,9
8	17-20.07	3,7	20	0,1	0,4	6,2
9	20-21.07	5,6	105	0,1	4,0	7,9
10	21-26.07	12,2	75	0,2	18,9	16,9
11	26-30.07	15,5	240	0,1	12,0	18,2
12	3.08	13,9	60	0,6	46,2	24,9
13	4-22.08	16,0	395	0,2	5,5	14,7
14	22-23.08	1,9	60	0,1	0,1	0,0
15	23-25.08	16,8	20	2,0	13,4	37,3

Badania prowadzono na trzech stanowiskach badawczych:

1. Dwa poletka o rozmiarach 16,0 x 1,5 m, położone w obrębie stoku pogórskiego o nachyleniu 11° i ekspozycji SW (powierzchnia jednego poletka wynosi 24 m²) utrzymywane jako czarny ugór. Powierzchnie poletek przedzielone były blachą o wysokości do 30 cm zakończone rynną Gerlacha. W obrębie poletek pomiarowych umieszczono 12 lejzków o średnicy 110 mm, 2 lejki o średnicy 75

mm, 3 deski rozdzielające lejki do pomiarów wielkości oderwanego materiału przemieszczanego w określonym kierunku (zgodnie i przeciwnie do nachylenia stoku) oraz 3 deski do pomiaru pionowego zasięgu rozbryzgu. Poszczególne lejki oraz deski były oddalone od siebie o 2 m (ryc. 1).



Ryc. 1. Średnie, maksymalne i minimalne wartości masy rozbryzgu podczas poszczególnych zdarzeń opadowych na stoku doświadczalnym z czarnym ugorzem

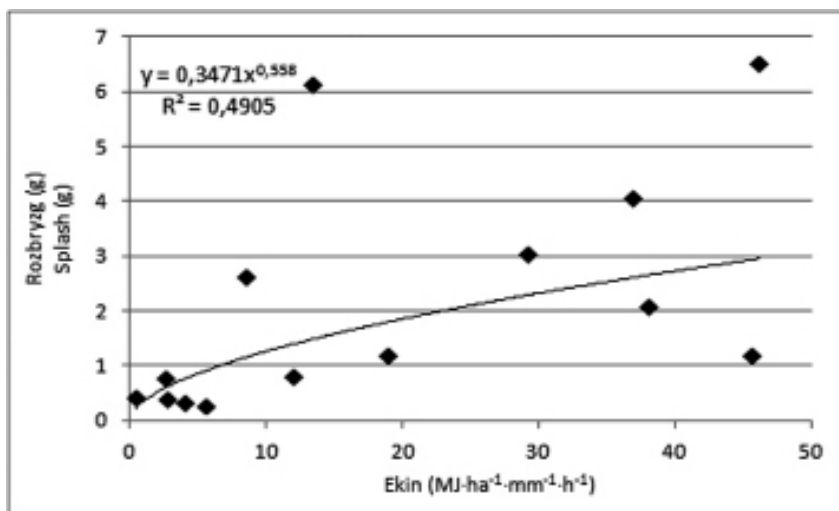
Figure 1. Mean, maximum and minimum value of splash during rainfall event on the experimental plots used as black fallow

2. Poletko o powierzchni 24 m² (6 x 4 m), położone na równinie zalewowej (powierzchnia płaska) przy ujściu Bystrzanki do Ropy, utrzymane w czarnym ugorze. Zainstalowano tutaj łącznie 5 lejków: 3 lejki o średnicy 110 mm i 2 lejki o średnicy 75 mm (ryc. 2).

3. Fragment ogródka meteorologicznego, pokryty darnią, o nachyleniu 11°. W jego obrębie umieszczono 3 lejki (o średnicy 75, 110 mm).

Skład granulometryczny gleby z poletek oraz materiału z rozbryzgu określano w Zakładzie Badań Geośrodowiska w Krakowie metodą dyfrakcji laserowej na dyfraktometrze Analysette 22 firmy Fritsch według metodyki opisanej przez Kaszę (1992).

Szczegółową analizę opadów atmosferycznych przeprowadzono na podstawie materiałów pluwiograficznych Stacji Naukowej w Szymbarku (IGiPZ PAN).



Ryc. 2. Związek między energią kinetyczną opadu ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) a masą rozbryzgu gleby (g) na czarnym ugorze na stoku doświadczalnym o nachyleniu 11°

Figure 2. Relation between rainfall kinetic energy ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) and splash (g) on the slope (11°) used as black fallow

Energię kinetyczną deszczu obliczono według równania opracowanego przez Browna i Fostera (1987):

$$E_{\text{kin}} = \sum_{i=1}^n 0,29 [1 - 0,72 \exp(-0,051I_i)] \Delta P_i$$

gdzie:

E_{kin} – energia kinetyczna przypadająca na jednostkę powierzchni ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$),

I_i – intensywność deszczu w i-tym przedziale ($\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$),

ΔP_i – suma opadu deszczu w i-tym przedziale (mm).

Obliczono także wskaźnik erozyjności dla poszczególnych deszczów (Wischmeier, Smith 1978), definiowany jako iloczyn energii całkowitej opadu i maksymalnego natężenia w ciągu 30 minut:

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

gdzie:

EI_{30} – erozyjność deszczu ($\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$),

E_{kin} – energia kinetyczna deszczu przypadająca na jednostkę powierzchni ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$),

I_{30} – maksymalne natężenie 30-minutowe deszczu ($\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$).

Do obliczania erozyjności wykorzystywano opady atmosferyczne w okresie letnim.

Wielkość rozbryzgu obliczono wg formuły podanej przez Wainwrighta i in. (1995):

$$R=aKE^bS^c$$

gdzie:

R – rozbryzg [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$],
 KE – jednostkowa energia kinetyczna deszczu [$\text{J}\cdot\text{m}\cdot^{-2}\text{mm}\cdot^{-1}$],
 S – nachylenie stoku [$\text{m}\cdot\text{m}^{-1}$],
 a, b, c – współczynniki empiryczne uzależnione od rodzaju (uziarnienia) materiału na powierzchni stoku.

Do określenia odległości, na jaką przemieszczany jest w wyniku rozbryzgu materiał w dół (D) i w górę stoku (G), wykorzystano model zaproponowany przez Poesena i Savata (1981), który zakłada opad pionowy deszczu w warunkach bezwietrznych:

$$D=0,019 (D_{50})^{-0,220}+0,301 \sin \alpha$$

$$G=0,019 (D_{50})^{-0,220}-0,301 \sin \alpha$$

gdzie:

D_{50} – mediana średnicy ziarna [m],
 α – kąt nachylenia stoku [$^{\circ}$].

Dodatkowo w 2012 roku prowadzono badania splukiwania gleby na 5 poletkach o różnej długości utrzymywanych jako czarny ugór. Poletka doświadczalne mają szerokość 2 m i długość 2 m, 4 m, 8 m, 16 m, 32 m (fot. 1). Każde poletko ogrodzone jest pasem z blachy ocynkowej i zakończone rynną zbierającą i zbiornikiem, w którym gromadzona jest woda wraz z materiałem glebowym. Wielkość splukiwania szacowano na podstawie objętości zgromadzonego materiału w wyskalowanych pojemnikach. Masę materiału obliczono, mnożąc jego objętość przez $1,4 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Analizą objęto zdarzenia w półroczu hydrologicznym letnim.

WARUNKI METEOROLOGICZNE W OKRESIE BADAŃ

Suma opadów atmosferycznych w okresie badawczym od maja do sierpnia 2012 roku wyniosła 399,7 mm i była o 36,2 mm niższa niż średnia suma opadu dla tego okresu dla wielolecia (1969–2011). Najwyższe natężenie opadu w czasie wy-



Fot. 1. Poletka badawcze na stoku pogórskim utrzymywane jako czarny ugór
Photo 1. Experimental plots on the foothill slope used as a black fallow

branych zdarzeń odnotowano 24 sierpnia – $2,0 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ (tab. 1). Wartości czynnika erozyjności opadu EI_{30} w czasie analizowanych zdarzeń opadowych były zróżnicowane od 0,41 do $46,15 \text{ MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ (tab. 1). Najwyższe wartości notowano w czasie opadu nawalnego 3 sierpnia, kiedy w ciągu 15 min odnotowano 9 mm opadu. W sumie w czasie badań w 2012 roku czynnik erozyjności wyniósł $263,9 \text{ MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$. Jest on niższy od wartości średniej notowanej w latach 1969–2005, wynoszącej $752,6 \text{ MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ (Kijowska-Strugała, Demczuk 2015).

WIELKOŚĆ PRZEMIESZCZANIA MATERIAŁU W WYNIKU ROZBRYZGU

Podczas 15 analizowanych zdarzeń w 2012 roku współczynnik zmienności masy rozbryzgu materiału (w przypadku lejka 110 cm) na poletkach zlokalizowanych na stoku o nachyleniu 11° , utrzymywanych jako czarny ugór, kształtował się w przedziale 21–39%. Najniższą masę rozbryzgu notowano w czasie krótkotrwałego zdarzenia opadowego 22–23 sierpnia, a najwyższą 3 sierpnia (ryc. 1). W ciągu godziny odnotowano 11 mm deszczu, a maksymalne natężenie wyniosło $0,9 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Wskaźnik erozyjności deszczu (EI_{30}) wyniósł $46,2 \text{ MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$. W czasie tego zdarzenia w lejkach o średnicy 110 mm średnia masa materiału wynosiła 6,5 g ($SD=1,96$; $Cv=30\%$), w lejku o średnicy 75 mm: 3,4 g. W tym samym czasie na poletku, na równinie zalewowej średnia masa materiału w lej-

ku o średnicy 110 mm wynosiła 1,2 g ($SD=0,27$; $Cv=23\%$), czyli o 5,3 g mniej niż na stoku. Zaobserwowano umiarkowaną korelację pomiędzy natężeniem opadu (P_i), ($\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$) a masą rozbryzgu (S_s), (g) na stoku z równaniem liniowym $S_s=2,5595P_i+0,5621$ ($R=0,669$), na poziomie istotności $<0,05$, oraz korelację wysoką ($R=0,70$, $p<0,05$) między energią kinetyczną deszczu a masą rozbryzgu, z równaniem funkcji potęgowej (ryc. 2).

Obliczono również, że wraz ze wzrostem powierzchni lejka wzrasta masa materiału, natomiast w przeliczeniu na jednostkę powierzchni maleje. Podobną prawidłowość zaobserwowali m.in. Poesen, Torri (1988) oraz Rejman 2006. W Szymbarku masa gleby (g) zmierzona w lejku o średnicy 75 mm stanowiła średnio 54% (38–86%) masy materiału z lejka o średnicy 110 mm. Przy czym niższe różnice obserwowano podczas opadów rozlewnych.

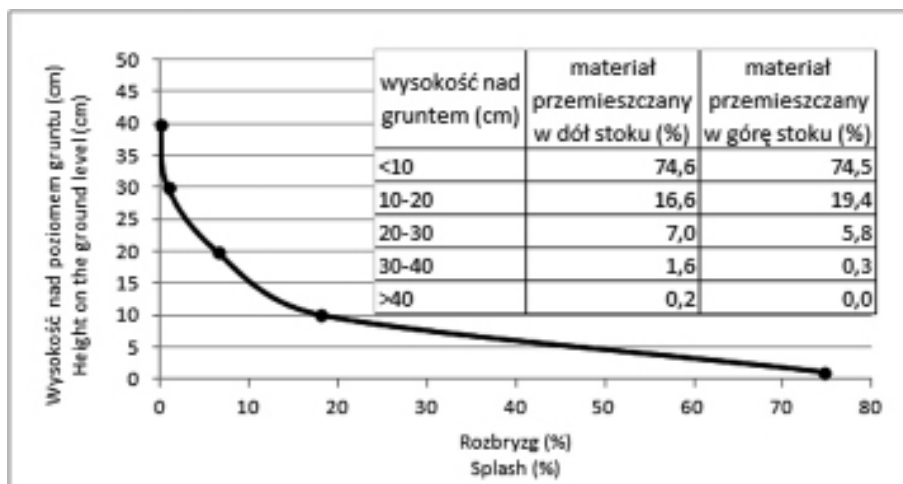
Masa rozbryzgu na czarnym ugorze była nawet 95-krotnie wyższa niż na łące oraz od 2 do 20 razy wyższa niż na płaskim poletku z czarnym ugorzem. Znacznie wyższe różnice obserwowano w lejkach o mniejszej powierzchni. Współczynnik zmienności na czarnym ugorze na terenie płaskim w lejkach o średnicy 110 mm oraz 75 mm kształtował się w granicach odpowiednio: 14–75% oraz 10–141%, a na stoku 21–39%.

Zależność pomiędzy rozbryzgiem na stoku (lejek 110 mm) z czarnym ugorzem a rozbryzgiem na płaskim terenie najlepiej opisuje równanie potęgowe. Współczynnik korelacji na poziomie $R=0,88$ wskazuje na bardzo wysoką zależność, przy poziomie istotności $<0,01$. Średnia masa oderwanego materiału glebowego na stoku (S_s) w relacji do płaskiego terenu (F_s) może być zatem wyrażona formułą:

$$S_s=2,7504 \cdot (F_s^{0,8117}).$$

Analiza wyników badań prowadzonych przy użyciu stojaków pozwoliła na określenie wysokości i ilości wyrzucanego w wyniku rozbryzgu materiału w kierunku kataklinalnym i anaklinalnym. Stwierdzono, że podczas analizowanych zdarzeń opadowych cząstki gleby na stoku o nachyleniu 11° przemieszczane są na maksymalną wysokość do 40 cm, głównie podczas opadów o dużym natężeniu i sumie. Znacznie mniejsze wartości masy materiału glebowego przemieszczane były w kierunku anaklinalnym, które stanowiły od 17 do 76% materiału wyrzucanego zgodnie z nachyleniem stoku. Średnio około 22% całego oderwanego materiału gromadzone było po stronie dostokowej. W przypadku lejków rozdzielonych pionową deską wartość ta wyniosła 25%. Obliczono, że masa rozbryzgu do wysokości 10 cm była podczas każdego zdarzenia erozyjnego najwyższa i stanowiła średnio 75% materiału osadzonego na chwytaczu (zarówno w dół, jak i w górę stoku) (ryc. 3). Powyżej 20 cm od powierzchni gruntu gromadziło się średnio od 0,3% materiału przemieszczanego w górę stoku do 1,8% przemieszczanego w dół

stoku. Należy jednak zaznaczyć, że podane wielkości przemieszczeń materiału są przybliżone i określają minimalne wielkości, na co zwracał już uwagę Gerlach (1976). Tylko część materiału przykleja się do deski, a większe agregaty odbijają się i spadają na glebę. Pomimo to że materiał z desek był czyszczony po każdym opadzie, część przyklejonego materiału glebowego mogła po wyschnięciu opaść przed poborem próbek.



Ryc. 3. Związek między masą rozbryzgu gleby (%) a wysokością przemieszczania materiału nad poziomem gruntu (cm) na poletku eksperymentalnym utrzymanym jako czarny ugór o nachyleniu 11°

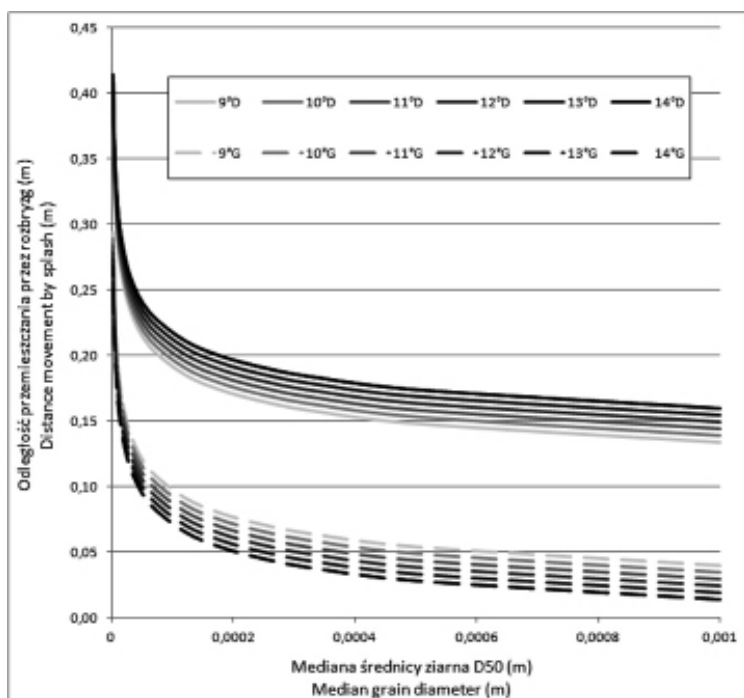
Figure 3. Relation between splash (%) and height above ground level (cm) on the experimental slope (11°) used as black fallow

Na stoku utrzymanym jako czarny ugór przewaga materiału przemieszczanego w dół stoku wyniosła średnio 1,08 g dla obszaru o szerokości 15 cm i wysokości 40 cm. Jeżeli założymy, że z miejsca, skąd materiał uległ przemieszczeniu w dół stoku, na jego miejsce przychodzi nowy materiał z wyższych części stoku, to można otrzymane wielkości przeliczyć na powierzchnię 1 ha. Na stoku o szerokości 150 m linię poprzeczną „przekracza” 1,08 kg materiału (czyli 0,72 kg na stoku o szerokości 100 m). Mnożąc tę wartość przez powierzchnię 1 ha, otrzymujemy ilość przemieszczanego materiału w dół stoku na odległości od kilku do kilkudziesięciu cm, która wynosi 72 kg. Gerlach (1976) dla okresu o ponadprzeciętnych opadach obliczył, że na polu uprawnym o nachyleniu 20° i powierzchni 1 ha przemieszczaniu w dół stoku ulega 136 kg materiału, a na stoku zalesionym (nachylenie 28°) 638 kg. Wyższe wartości w lesie wynikają m.in. z nachylenia stoku, a także wielkości kropeł i częstotliwości ich spadania. Gerlach (1976) zauważył, że w obszarach leśnych procesy rozbryzgu są intensywniejsze

niż procesy spłukiwania gleby. Energia kinetyczna spadających kropeł w lesie jest większa niż na polu pozbawionym roślinności. W Karpatach fliszowych Chmielowiec (1977) obliczył, że rozbryzg w lesie stanowi 0,1% rozbryzgu na czarnym ugorze, na polu ze zbożem około 5,8%, a na łące jedynie 0,002%.

Różnica odległości pomiędzy przemieszczaniem w górę i w dół stoku, dla określonego rodzaju osadów, zależy od nachylenia stoku. Do skonstruowania nomogramu wykorzystano równanie Poesena i Savata (1981), które zostało zweryfikowane w zakresie uziarnienia od 0,002 do 1 mm i spadku stoku od 9 do 14°, gdyż w zlewni Bystrzanki dominują stoki o takim nachyleniu. Jak wynika ze sporządzonego nomogramu (ryc. 4), na stokach w zlewni Bystrzanki, przy nachyleniu 11°, rozbryzg przemieszcza materiał w dół stoku na odległość 40 cm, natomiast w górę na 28 cm.

Różnica odległości przemieszczania materiału wynosi około 12 cm. Uzyskane z modelu odległości przemieszczania materiału są znacznie wyższe niż podawane wartości średnie przez Rejmana (2006) – 9 cm (zakres 5–42 cm) (Płasko-



Ryc. 4. Nomogram do wyznaczania odległości przemieszczania w wyniku rozbryzgu w dół (D) i w górę stoku (G) w zależności od nachylenia zbocza 9–14° dla warunków zlewni Bystrzanki, opracowany na podstawie modelu empirycznego (Poesen, Savat 1981)

Figure 4. Nomogram for calculate displacement by splash in down-slope (D) and upslope (G) at inclination 9–14° for Bystrzanka catchment conditions, based on Poeson and Savat's empirical model (1981)

wyż Nałęczowski, utwory lessowe), a także przez Szpikowskiego (2001, 2010) – 12 cm (Pomorze Zachodnie). Średnia odległość rozbryzgu wyliczona na podstawie danych Froehlicha i Słupika (1980) dla gleb fliszu karpackiego jest niższa i wynosiła 7,5 cm. Odległość przemieszczania materiału uzależniona jest m.in. od stanu powierzchni gleby. Rejman (2006) stwierdził, że odległość przemieszczanego materiału jest 1,8-krotnie większa w porównaniu z glebą spulchnioną. Również istotne znaczenie odgrywa obecność spływu (Gerlach 1976; Froehlich, Słupik 1980; Rejman 2006; Szpikowski 2010). Cząstki gleby przenoszone są na większe odległości podczas spływu powierzchniowego w odniesieniu do zdarzeń, kiedy spływ nie wystąpi, natomiast rozbryzg jest wówczas mniejszy. Występowanie wiatru wywiera również wpływ na zwiększenie odległości przemieszczanego materiału.

Analiza składu granulometrycznego odrywanego materiału

Badania Mosley (1973) wykazały, że ziarna piasku są łatwiej wyrzucane przez rozbryzg niż materiał ilasty. Przeprowadzone badania na stoku pogórskim w Szymbarku potwierdzają powyższą prawidłowość i ukazują, że grubszy materiał jest wyrzucany na wyższe wysokości niż frakcja pyłu i iłu. W próbkach materiału pobranych na stoku z wysokości >20 cm nad gruntem dominowała frakcja piasku, która stanowiła średnio 60% (35–85%). Poniżej tej wysokości dominował pył, który stanowił średnio 50% (35–53%) zebranego materiału glebowego. Średnio frakcja piasku wyrzucana w kierunku kataklinalnym stanowiła 45% masy próbki, a w kierunku anaklinalnym 37%. Wyższe wartości po stronie anaklinalnej notowano w przypadku frakcji pyłu i iłu, odpowiednio 56% i 7%, czyli o 7% i 1% więcej niż po stronie odstokowej.

Badania wykazały, że w lejku o średnicy 110 mm, 22% zgromadzonego materiału na stoku stanowiła frakcja piasku, a 70% frakcja pyłu (tab. 2). Na poletku w dnie doliny frakcja piasku stanowiła natomiast 32% a pyłu 57%. Ponadto na poletku tym odnotowano również 6-procentowy udział frakcji żwiru. W czasie intensywnych opadów atmosferycznych średnio udział frakcji pyłu wzrastał o 2%, a piasku malał o 5%.

Natężenie i wielkość przemieszczania materiału w wyniku splukiwania

Podstawowe charakterystyki dotyczące spływu i splukiwania przedstawia tab. 3 oraz ryc. 5. W 2012 roku w półroczu hydrologicznym letnim odnotowano 11 zdarzeń ze spływem powierzchniowym. Wskaźnik spływu powierzchniowego był najwyższy na najkrótszym poletku, a najniższy na poletku największym (SN32), (tab. 3). Najwyższe wartości wskaźnika spływu powierzchniowego na poletku SN2 i SN4 odnotowano (12 czerwca) po opadzie o maksymalnym na-

Tabela 2. Skład granulometryczny materiału przemieszczanego w wyniku rozbryzgu na poletkach utrzymywanych jako czarny ugor na stoku i równinie zalewowej

Table 2. Grain size distribution of the splash material in the plots used as black fallow on the slope and floodplain

Fracje granulometryczne/ Size fractions	Materiał przemieszczany w dół stoku/Splash in down-slope		Materiał przemieszczany w górę stoku/Splash in up-slope		Stok/Slope	Równina/Floodplain
	<20 cm	>20 cm	<20 cm	>20 cm	lejek 110 mm/funnel 110 mm	
	%					
Żwir (>2,0 mm)/ Gravel	0	0	0	0	0	6
Piasek (2,0-0,05 mm)/ Sand	44	59	46	41	22	32
Pył (0,05-0,002 mm)/ Silt	50	36	48	49	70	57
ł (<0,002)/Clay	6	5	6	10	8	5

teżeniu $0,4 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, natomiast na poletku SN8, SN16, SN32 – 25 sierpnia po opadzie ulewnym o maksymalnym natężeniu $2 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ i sumie 15 mm.

W omawianym okresie zaobserwowano także od 8 do 11 przypadków wystąpienia procesu spłukiwania gleby. Nie każdy spływ powierzchniowy powodował zatem erozję gleby na poletku z czarnym ugiem. Spływ powierzchniowy jest jednak procesem inicjującym erozję gleby. Masa spłukiwanego materiału zwiększała się wraz z długością poletka (tab. 3, ryc. 5). Najwyższe wartości spłukiwania jednostkowego obserwowano jednak na najdłuższym poletku, średnio $2,1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$. Maksymalne wartości erozji gleby notowano w czasie zdarzenia 25 sierpnia.

Wpływ objętości wody spływającej z poletek na wielkość spłukiwania gleby w 2012 roku najlepiej charakteryzuje funkcja wykładnicza. Analiza wykazała, że najwyższy współczynnik korelacji notowany jest w przypadku najkrótszego poletka SN2 ($R=0,72$), a także SN16 ($R=0,72$), na poziomie istotności $p<0,05$.

Badania prowadzone przez Bochenka i Gila (2010) w latach 1990–1996 wykazały, że między wielkością opadów a zróżnicowaniem spływu powierzchniowego występuje zależność liniowa o wysokim współczynniku korelacji ($R=0,76$), a między wielkością opadów a zróżnicowaniem erozji występuje związek potęgowy o współczynniku korelacji $R=0,46$. Autorzy stwierdzili, że wzrost wysokości opadów powyżej 40 mm na dobę odgrywa coraz mniejszą rolę w różnicowaniu wielkości spłukiwania materiału na poletkach o różnej długości. Dodatkowa ana-

Tabela 3. Spływ powierzchniowy i splukiwanie gleby na poletkach doświadczalnych w półroczu hydrologicznym letnim w 2012 roku

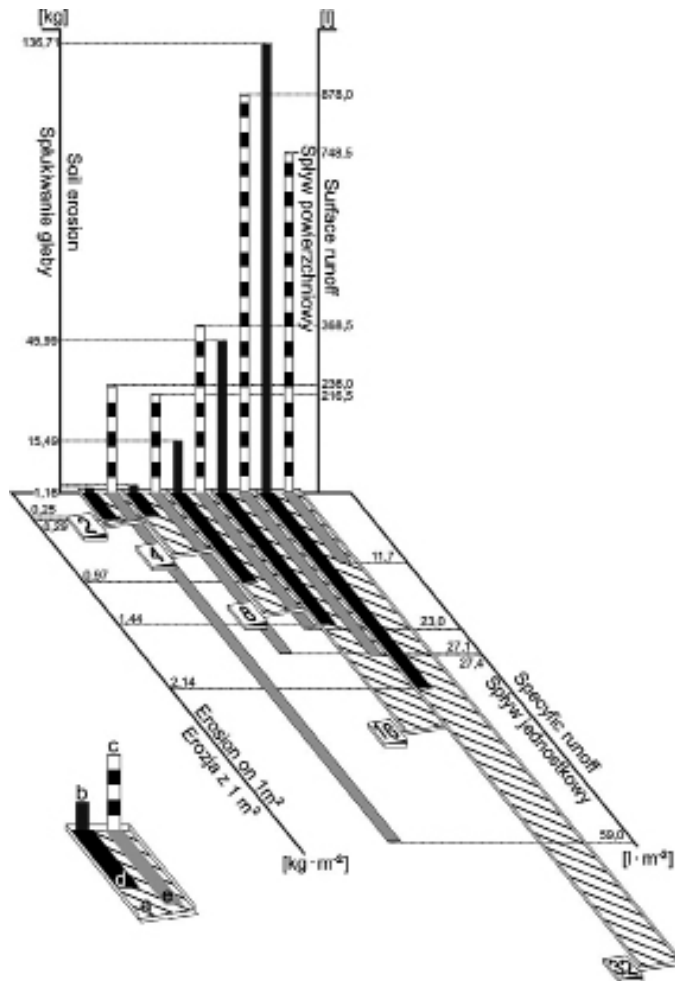
Table 3. Runoff and soil erosion on the experimental slope in summer hydrological year in 2012

Parametr/ Parameter	Długość poletka/Length of experimental plots				
	SN2	SN4	SN8	SN16	SN32
	m				
	2	4	8	16	32
Spływ powierzchniowy/Runoff					
Liczba zdarzeń/ Number of events	11	11	11	11	11
Spływ powierzchniowy (dm ³)/ Runoff	236,0	216,5	368,5	878,0	748,5
Wskaźnik spływu (mm)/ Runoff rate	59,0	27,1	23,0	27,4	11,7
Współczynnik spływu (%)/ Runoff coefficient	14,1	6,4	5,5	6,5	2,8
Splukiwanie gleby/Soil erosion					
Liczba zdarzeń/ Number of events	8	9	10	9	11
Erozja z poletka (kg)/ Erosion from plots	1,2	2,0	15,5	46,0	136,7
Erozja z 1m ² (kg·m ⁻²)/ Erosion from 1m ²	0,3	0,2	1,0	1,4	2,1

liza pozwoliła wykazać, że zmniejszająca się masa splukiwanego materiału, przy bardzo wysokich natężeniach opadu, jest efektem oddziaływania wysokiej energii deszczu powodującej zbijanie cząstek glebowych.

PODSUMOWANIE

1. Główną przyczyną zróżnicowania wielkości rozbryzgu gleby jest obecność szaty roślinnej i stopień nachylenia obszaru. Najwyższe wartości rozbryzgu



Ryc. 5. Spływ i spłukiwanie gleby na poletkach o różnej długości użytkowanych jako czarny ugor [a – poletko doświadczalne, b – spłukiwanie gleby (kg), c – spływ powierzchniowy (dm^3), d – erozja z 1 m^2 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$), e – spływ jednostkowy ($\text{dm}^3\cdot\text{m}^{-2}$)]

Figure 5. Runoff and soil erosion on the experimental slope with a different length used as black fallow (a – experimental plot, b – soil erosion (kg), c – runoff (dm^3), d – erosion from 1 m^2 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$), e- specific runoff ($\text{dm}^3\cdot\text{m}^{-2}$))

gleby notowano na czarnym ugorze, na stoku o nachyleniu 11° . Masa rozbryzgu na czarnym ugorze była nawet 95-krotnie wyższa niż na łące oraz do 20 razy wyższa niż na równinie z czarnym ugorzem.

2. Wraz ze wzrostem energii kinetycznej zwiększa się masa odrywanego materiału.

3. Cząstki gleby na stoku o nachyleniu 11° przemieszczane są na maksymalną wysokość do 40 cm – w dół stoku, oraz 30 cm – w górę stoku, głównie podczas opadów o dużym natężeniu.

4. Ziarna piasku są łatwiej wyrzucane przez rozbryzg niż materiał ilasty. W próbkach materiału pobranych na stoku z wysokości >20 cm nad gruntem dominowała frakcja piasku, która stanowiła średnio 60% próbki.

5. Średnio frakcja piasku wyrzucana w kierunku kataklinalnym stanowiła 45% masy próbki, a w kierunku anaklinalnym 37%. Wyższe wartości po stronie anaklinalnej notowano w przypadku frakcji pyłu i iłu.

6. Na stokach w zlewni Bystrzanki przy nachyleniu 11° rozbryzg przemieszcza materiał w dół stoku na odległość maksymalnie 40 cm, natomiast w górę na odległość do 28 cm.

Zaprezentowane wyniki badań dotyczące rozbryzgu na czarnym ugorze na stoku pogórskim w zlewni Bystrzanki stanowią wstępną ocenę wielkości rozbryzgu gleby. Badania są kontynuowane w celu określenie wpływu opadów o zróżnicowanej sumie, natężeniu i czasie trwania na wielkość tego procesu na poletku użytkowanym jako czarny ugor. Dodatkowo przeprowadzany jest eksperyment określający wpływ długości użytkowania poletka na wielkość, a także dynamikę rozbryzgu.

LITERATURA

- Adamczyk B., Maciaszek W., Januszek K., 1973: *Gleby gromady Szymbark i jej wartość użytkowa*, [w:] L. Starkel (red.), *Dokumentacja Geograficzna*, 1, 16–66.
- Bochenek W., Gil E., 2010: *Zróżnicowanie splywu powierzchniowego i splukiwania gleby na poletkach doświadczalnych o różnej długości (Szymbark, Beskid Niski)*, *Prace i Studia Geograficzne*, 45, 265–278.
- Brown L.C., Foster G.R., 1987: *Storm erosivity using idealized intensity distributions*, *Transaction of the ASAE* 30, 379–386.
- Chmielowiec S., 1977: *Bombardująca działalność kropel deszczu i jej rola w modelowaniu stoków Pogórza*, Manuskrypt, Instytut Geografii UJ.
- Fox D.M., Le Bissonnais Y., Bruand A., 1998: *The effect of ponding depth on infiltration in a crusted surface depression*, *Catena* 32, 87–100
- Froehlich W., Słupik J., 1980: *Importance of splash in erosion process within a small flysch catchment basin*, *Studia Geomorph. Carpatho-Balcan.*, 14, 77–112.
- Gerlach T., 1976: *Bombardująca działalność kropel deszczu i jej znaczenie w przemieszczaniu gleby na stokach*, *Stud. Geomorph. Carpatho-Balcan.*, 10, 125–137.
- Rejman J., 2006: *Wpływ erozji wodnej i uprawowej na przekształcenie gleb i stoków lessowych*, Instytut Agrofizyki im. B. Dobrzańskiego PAN, Rozprawy i Monografie, Lublin.
- Gil E., 1976: *Splukiwanie gleby na stokach fliszowych w rejonie Szymbarku*, *Dokumentacja Geograficzna*, 2, 1–65.
- Gil E., 2009: *Ekstremalne wartości splukiwania gleby na stokach użytkowanych rolniczo w Karpatach Fliszowych*, [w:] W. Bochenek, M. Kijowska (red.), *Funkcjonowanie środowiska przyrod-*

- niczego w okresie przemian gospodarczych w Polsce, Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego*, 191–218.
- Govers G., 1991: *Spatial and temporal variations in splash detachment: a field study*, [in:] S. Okuda, A. Rapp, Z. Linyuan (Eds), *Geomorphological Hazards and Process (Eds)*, Catena Suppl., 20, 15–24.
- Kasza I., 1992: *Laserowa metoda określania składu granulometrycznego utworów gliniastych, pylastych i ilastych*, *Przegląd Geologiczny*, 40, 5, 323–325.
- Kijowska-Strugała M., Demczuk P., 2015: Impact of land use changes on soil erosion and deposition in a small Polish Carpathians catchment in last 40 years, *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, w druku, 10 ss.
- Mosley M.P., 1973: *Rainsplash and the convexity of badland divides*, *Z. Geomorphol. Suppl.*, 18, 10–25.
- Parson A.J., Abrahams A.D., Wainwright J., 1994: *Rainsplash and erosion rates in an interrill area on semiarid grassland*, Southern Arizona, *Catena*, 22, 215–226.
- Poesen J., 1985: *An improved splash transport model*, *Z. Geomorphol.*, 29, 193–211.
- Poesen J., Savat J., 1981: *Detachment and transportation of loose sediment by raindrop splash*, art I. The calculation of absolute data on detachability and transportability, *Catena*, 8, 1–17.
- Poesen J., Torri D., 1988: *The effect of cup size on splash detachment and transport measurements*; part I: Field measurements, *Catena Supplement*, 12, 113–126.
- Rejman J., 2006: *Wpływ erozji wodnej i uprawowej na przekształcanie gleb i stoków lessowych*, *Acta Agrophysica*, 136, *Rozprawy i Monografie*, Lublin, 3, 1–90.
- Renard K.G., Foster G.R., Weesies G.A., Porter J.P., 1991: *RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation*, *Journal of Soil and Water Conservation*, 1, 1–46.
- Słupik J., 1973: *Zróżnicowanie sphywu powierzchniowego na fliszowych stokach górskich*, *Dokumentacja Geograficzna*, 2, 1–108.
- Starkel L., 1972: *Charakterystyka rzeźby Polskich Karpat*, *Problemy zagospodarowania ziem górskich*, 10, 75–150.
- Szpikowski J., 2001: *Uwarunkowania mechanizmu procesu rozbryzgu w młodoglacjalnej zlewni Chwalimskiego Potoku (górną Parsęta, Pojezierze Drawskie)*, [w:] A. Karczewski, Z. Zwołański (red.), *Funkcjonowanie geosystemów w zróżnicowanych warunkach morfoklimatycznych*, *Monitoring, ochrona, edukacja*, Bogucki, Wyd. Nauk., Poznań, 511–524.
- Szpikowski J., 2010: *Uwarunkowania i wielkość rozbryzgu gleby na podstawie pomiarów na powierzchniach testowych w zlewni Chwalimskiego Potoku (Pomorze Zachodnie)*, *Prace i Studia Geograficzne*, 45, 181–195.
- Śmietana M., 1987: *Zróżnicowanie rozbryzgu gleby na użytkowanych rolniczo stokach fliszowych*, *Studia Geomorph. Carpatho-Balcan*, 21, 161–182.
- Święchowicz J., 2012: *Wartości progowe parametrów opadów deszczu inicjujących procesy erozyjne w zlewni użytkowanej rolniczo*, IGiGP UJ, Kraków, 282 ss.
- Wainwright J., Parsons A.J., Abrahams A.D., 1995: *A simulation study of the role of raindrop erosion in the formation of desert pavements*, *Earth Surf. Process. Landforms* 20, 277–291.
- Wischmeier W.H., Smith D.D., 1978: *Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning*, *Agricultural Handbook*, USDA, Washington, DC, 537, 1–58.

SUMMARY

The article presents the results of the splash on the experimental plots on the foothill slope (with gradient 11°) with a black fallow and meadows and also plots on the floodplain with black fallow. The study was based on funnels method. The analysis of the results of research conducted from May to August 2012 showed that the size of the splash mainly depends on the kinetic energy of rain and gradient. Moreover, the splash on black fallow exceeds even 95 times the splash in the plots with meadow and 20 times in the floodplain plots without vegetation. Soil particles on the slope are moved to a maximum height of 40 cm down the slope and about 30 cm up the slope, mainly during high intensity rainfall. Furthermore, the sand grains are more easily thrown by splash than clay material.