

Witold Bochenek

Eugeniusz Gil

Stacja Badawcza IGiPZ PAN, Szymbark

e-mail: igszymbark@poczta.onet.pl

**ZRÓŻNICOWANIE SPŁYWU POWIERZCHNIOWEGO
I SPŁUKIWANIA GLEBY NA POLETKACH DOŚWIADCZALNYCH
O RÓŻNEJ DŁUGOŚCI (SZYMBARK, BESKID NISKI)**

**The diversity of overland flow and soil wash on experimental plots
of different lengths (Szymbark, Low Beskidy Mts.)**

Abstract: The study on soil wash was conducted on the experimental slope within the Scientific-Research Station of the Institute of Geography and Spatial Organization (Polish Academy of Sciences) in Szymbark in years 1990-96. Five experimental plots installed on the slope were 2m wide, had lengths of: 2, 4, 8, 16, and 32m and were under black fallow. Measurements of overland flow and soil wash revealed relationships between the processes and lengths of the plots and sums and intensity of rainfall events. The volume of the surface flow increased with increasing length of the plots, from 3352 dm³ (2m) to 12153 dm³ (32m), but on the other hand this was accompanied by decrease in the flow index. The index value was highest on the shortest plot (2 m) – almost 5 times greater than on the 32m-long plot. The observed relationship is typical for the river catchments: the smaller the catchment, the higher the flow index is (pertaining to 1 km² of the area). The soil wash occurred to be more differentiated with respect to the length of the plots (from 131,6kg to 1166,4kg). The relationship between maximum intensity of rain and soil wash on all plots has a character of polynomial equations of the second degree, described by negative correlation coefficients. As the plot's length increases, the relationship is stronger. During rainfall events of a very high intensity, over 1,5 mm min⁻¹ (high kinetic energy), the soil wash is limited by aggregating soil particles due to action of the rain droplets. Agrotechnical treatments significantly influence the process of soil relocation (weeding, ploughing). Observed soil wash directly following such treatments was much more intensive in comparison with conditions of slightly compressed soil.

Słowa kluczowe: spływ powierzchniowy, spłukiwanie gleby, natężenie opadu, wskaźnik erozyjności EI₃₀, poletki doświadczalne, Beskid Niski.

Key words: surface runoff, soil wash, rainfall intensity, erosivity index EI₃₀, experimental plots, the Low Beskid Mts.

WSTĘP

Procesy splukiwania gleby mają decydujące znaczenie morfologiczne w środowisku gór fliszowych (Gerlach 1976, Gil 1976). Średnie roczne rozmiary odprowadzania ze zlewni substancji mechanicznych 5-krotnie przewyższają wynoszenie substancji rozpuszczonych (Kijowska, Bochenek, w druku). Podobne proporcje obserwowane są przez Froehlich (1973) w zlewni o typowo beskidzkich cechach morfologicznych. Natężenie przepływu wody i transportu materiału klastycznego w korytach rzecznych uwarunkowane jest rozmieszczeniem „dróg” spływu i potencjalnych źródeł dostawy erodowanego materiału.

Pomiary prowadzone na wydzielonych poletkach nie odzwierciedlają dynamiki transportu w korytach rzecznych. Wyniki uzyskiwane na podstawie pomiarów na poletkach są wyższe (z jednostki powierzchni) względem szacowanych (na podstawie transportu w korytach rzecznych) dla obszaru całej zlewni, które nie uwzględniają różnicowania procesów zachodzących na stokach (Froehlich 1992), gdyż wyerodowany materiał jest akumulowany na dnie doliny. Znacząco wpływa na wyniki pomiarów również kształt poletek: stosunek ich długości do szerokości, na co szczególną uwagę zwracał Słupik (1981). Zasadnicze różnicowanie splukiwania wynika z rodzaju użytku rolniczego (Słupik 1973, Gil 1976, 1999, 2009, Święchowicz 2002). Na wielkość splukiwania oraz długość drogi transportu wpływa również nachylenie stoku (Rejman 2006) oraz jego długość (Święchowicz 1998, Rejman, Usowicz 1999).

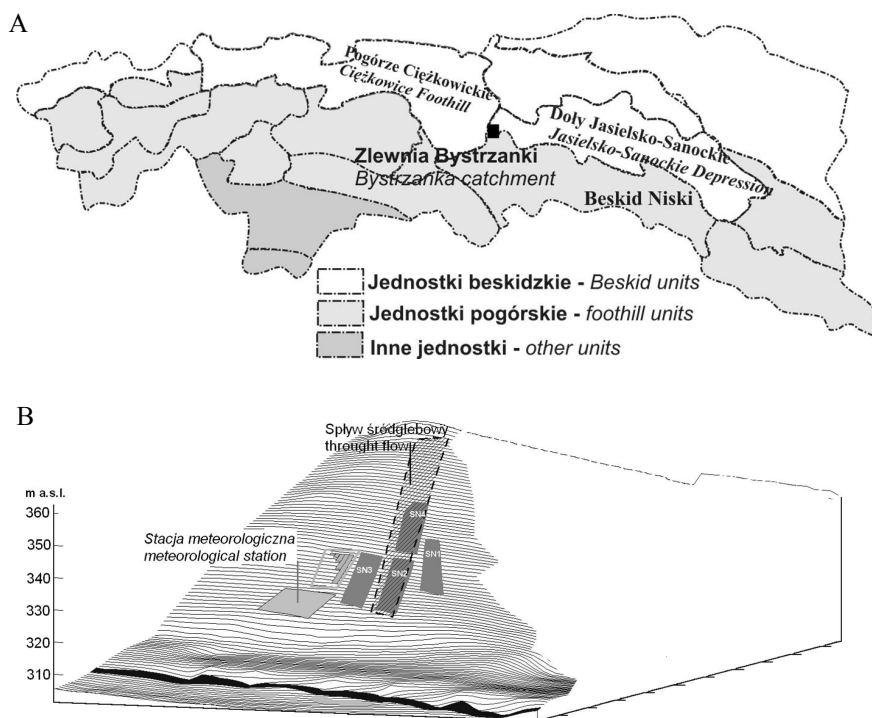
Badania procesu splukiwania w Stacji IGiPZ PAN w Szymbarku rozpoczęto w 1969 r. Obiektami badań były 6-arowe poletka o wymiarach: 10 m szerokości i 60 m długości, nawiązujące do miejscowego użytkowania rolniczego (rośliny okopowe, zboża, łąka, pastwisko i koniczyna). Na podstawie danych wieloletnich za okres 1969-2000 obliczono średnie roczne wartości masy wyerodowanego materiału, które wyniosły: na roślinach okopowych – 25666 kg ha⁻¹, na zbożach – 1387 kg ha⁻¹, na koniczynie – 203 kg ha⁻¹ i na łące – 76 kg ha⁻¹ (Gil 2009).

Celem tego opracowania jest określenie wielkości transportu materiału glebowego na poletkach o różnej długości, w wyniku oddziaływania opadów o różnicowanym natężeniu i spływu powierzchniowego.

OBIEKT BADAŃ I ZASTOSOWANA METODYKA POMIARÓW

W latach 1990-1996 na stoku doświadczalnym Stacji Badawczej w Szymbarku, położonym w zlewni Bystrzanki (13 km² powierzchni), będącej ostatnim lewobrzeżnym dopływem Ropy, prowadzono pomiary rozmiarów i intensywności spływu powierzchniowego oraz splukiwania gleby, uzależnionych od długości poletka. Stok, na którym prowadzono pomiary, charakteryzuje się jednostajnym nachyleniem 11° i ekspozycją SW (rys. 1). Materiał budujący wierzchnią

część pokryw stokowych ma skład mechaniczny glin średnich pylastych, o łącznym udziale procentowym frakcji piaszczystej i pylastej ok. 60% (Adamczyk i in. 1973). Głębiej wzrasta udział frakcji ilastych, a utwory pod względem mechanicznym przechodzą do kategorii glin ciężkich. Miąższość pokryw na stoku doświadczalnym wynosi średnio 1-2 m.



Rys. 1. Lokalizacja obiektu badań: A – na tle jednostek fizycznogeograficznych Karpat Polskich wg L. Starka (1972), B – na zboczu doliny Bystrzanki; system pomiaru spływu powierzchniowego i splukiwania (powierzchnie zaznaczone na czerwono) oraz spływu śródglebowego do 1 metra głębokości (powierzchnia zaznaczona na niebiesko); na zielono zaznaczono poletka, z których wyniki uwzględniono w opracowaniu

Fig. 1. Location of study area: A – on the background of physico-geographical units of Polish Carpathians according L. Starkel (1971), B – on the slope of Bystrzanka river valley; measurement system for overland flow and soil wash processes (areas marked in red) and throughflow to 1 meter depth (surface in blue); marked in green plot, which results included in this study

System pomiarowy stanowiło pięć poletek o jednakowej szerokości 2 m i długościach odpowiednio: 2 (SN2), 4 (SN4), 8 (SN8), 16 (SN16) i 32 m (rys. 1). Poletka te były ogrodzone pasem z blachy ocynkowanej. Dolną granicę poletka stanowiła rynna zbierająca wodę oraz erodowany przez nią ma-

teriał i doprowadzająca je do zbiornika wyposażonego w limnigraf. Badania prowadzono na powierzchni utrzymywanej jako tzw. „czarny ugór”.

Pomiary intensywności spłukiwania i wywołującego je spływu powierzchniowego prowadzono po każdym opadzie dobowym, który uruchamiał wyżej wymienione procesy. Dane opadowe uzyskano na podstawie pomiarów z deszczomierza Helmana i pluwiometru (natężenie opadu), zainstalowanych kilkadziesiąt metrów od poletek. Wielkość spłukiwania szacowano na podstawie objętości materiału zgromadzonego w 25-litrowych, wyskalowanych pojemnikach. Masę materiału obliczono mnożąc jego objętość przez $1,4 \text{ g cm}^{-3}$. Częstotliwość pomiarów dostosowano do panujących warunków opadowych i intensywności procesów spływu powierzchniowego i spłukiwania. Najczęściej jednak materiał badawczy zbierano raz na dobę.

W opracowaniu użyto terminu „opad skuteczny” na określenie wielkości opadu atmosferycznego wywołującego spływ powierzchniowy wody lub spłukiwanie materiału glebowego. Wystąpienie spływu powierzchniowego nie warunkuje uruchomienia materiału glebowego, stąd wielkości opadu skutecznego w kontekście spływu powierzchniowego oraz spłukiwania są różne. Ponadto, podczas pojedynczych zdarzeń, występują przypadki, kiedy procesy nie zachodziły na wszystkich poletkach, stąd różnice w wysokości opadu skutecznego.

Analiza przedstawiona w tekście, dotyczy przypadków wystąpienia spływu powierzchniowego i spłukiwania wyłącznie w półroczach hydrologicznych letnich, w których udział spływu powierzchniowego stanowił 75-90% jego sumy rocznej, a udział spłukiwania – 90-99% (Gil 1998). Podobnie przedstawia się rozkład spłukiwania w warunkach Pogórza Wielickiego (Świąchowicz 1998).

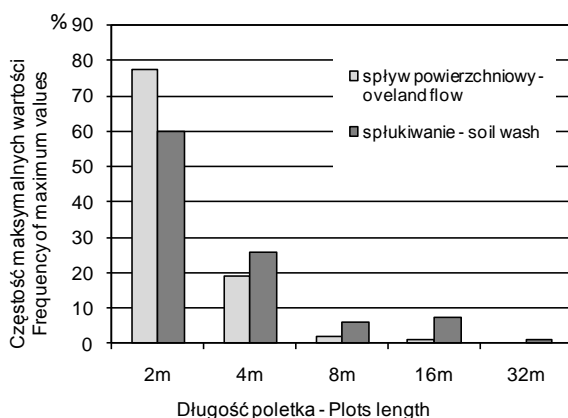
WYNIKI

W latach 1990-1996 sumy opadów atmosferycznych półroczna hydrologiczniego letniego charakteryzowały się zmiennością od 500,1 mm do 638,0 mm, przy średniej wieloletniej z okresu 40 lat (1968-2007) wynoszącej 614,3 mm. Podstawowe charakterystyki wieloletnie dotyczące opadu, spływu powierzchniowego i spłukiwania zestawiono w tabeli 1.

Liczba przypadków (zdarzeń) wystąpienia spływu powierzchniowego na poszczególnych poletkach wyniosła od 128 do 155. Wskaźnik spływu powierzchniowego systematycznie malał wraz z długością poletka, osiągając wartość blisko 5-krotnie wyższą na najkrótszym poletku (dł. 2 m) w stosunku do poletka najdłuższego (dł. 32 m) (tab. 1). Porównując wskaźniki spływu pomiędzy poletkami podczas poszczególnych zdarzeń, w ponad 77% najwyższe wskaźniki wystąpiły na poletku najmniejszym (rys. 2). Najwyższy średni (ze wszystkich poletek) wskaźnik spływu powierzchniowego wyniósł 47,8 mm po opadzie 108,3 mm w ciągu 4 dni (1-4 września 1992).

Tabela 1. Podstawowe charakterystyki opadu, spływu powierzchniowego i splukiwania gleby na poletkach doświadczalnych w okresie badań**Table 1.** Basic characteristics of precipitation, overland flow and soil washing on the experimental plots during the study time

Parametr - Parameter	Długość poletka - length of plot				
	SN2 2 m	SN4 4 m	SN8 8 m	SN16 16 m	SN32 32 m
Opad atmosferyczny <i>Precipitation [mm]</i>	4068,5				
Suma opadu skutecznego <i>Amount of effective precipitation [mm]</i>	2841,9	2946,5	2796,1	2792,1	2596,2
Opad skuteczny względem opadu całkowitego <i>Effective precipitation/total precipitation [%]</i>	69,9	72,4	68,7	68,6	63,8
Spyw powierzchniowy - runoff					
Liczba zdarzeń - <i>Number of events</i>	128	155	141	140	140
Spyw powierzchniowy <i>Overland flow [dm³]</i>	3352	6033	7772	11007	12153
Wskaźnik spływu powierzchniowego <i>Overland flow [mm]</i>	884,4	743,2	469,8	342,8	185,9
Współczynnik spływu <i>Overland flow index [%]</i>	31,1	25,2	16,8	12,3	7,2
Splukiwanie gleby - Soil wash					
Liczba zdarzeń - <i>Number of events</i>	102	113	115	122	121
Erozja z poletka <i>Erosion from plot [kg]</i>	131,6	239,5	437,7	748,0	1166,4
Erozja z 1 m ² powierzchni poletka <i>Unit erosion [kg m⁻²]</i>	32,9	29,9	27,4	23,4	18,2
Erozja na 1 mm opadu skutecznego <i>Erosion/ 1mm effective rainfall [kg mm⁻¹]</i>	0,046	0,081	0,157	0,268	0,449

**Rys. 2.** Częstość maksymalnych wartości spływu powierzchniowego i splukiwania gleby na poletkach o różnej długości podczas poszczególnych zdarzeń wystąpienia tych procesów
Fig. 2. Frequency of the maximum value of overland flow and soil wash in the plots of varying lengths during the events of these processes

W omawianym okresie zaobserwowano 102-122 przypadki wystąpienia procesu spłukiwania gleby. Zatem, nie wszystkie zdarzenia wystąpienia spływu powierzchniowego uruchamiały proces spłukiwania gleby. Masa spłukanego materiału była większa wraz z długością stoku, lecz zmniejszała się w odniesieniu do 1 m² powierzchni poletka (tab. 1). W 60% zdarzeń erozyjnych spłukiwanie jednostkowe było najwyższe na najmniejszym poletku (rys. 2). Maksymalne wartości spłukiwania zaobserwowano po opadzie o wysokim chwilowym natężeniu 16.06.1995 r.

Zbadano zależności między wskaźnikiem spływu powierzchniowego (SP) oraz masą erodowanego materiału glebowego z 1 metra długości poletka (Er) a wysokością opadów (P), które te procesy wywołały (tab. 2). Najlepsze dopasowanie między sumami opadów a spływem powierzchniowym wykazuje funkcja o typie wielomianu drugiego stopnia, z wysokimi współczynnikami korelacji, istotnymi statystycznie na poziomie $p < 1\%$. Podobna analiza z uwzględnieniem erozji z 1 m² poletka wykazuje występowanie zależności o charakterze wielomianu drugiego stopnia lub logarytmicznym. Współczynniki korelacji są niższe, niemniej statystycznie istotne na poziomie $p < 5\%$.

Tabela 2. Równania regresji i współczynniki korelacji między spływem powierzchniowym [mm] i spłukiwaniem gleby [kg m⁻²] oraz dobowymi sumami opadu [mm]

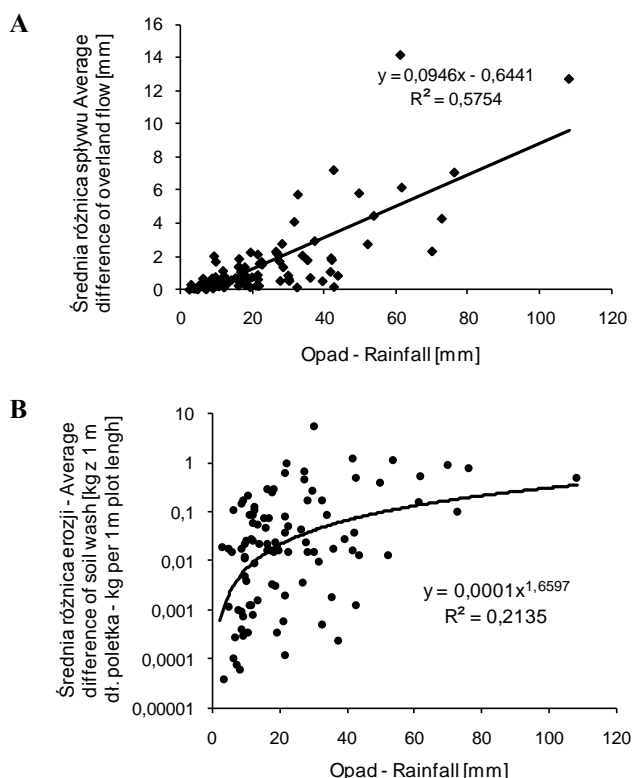
Table 2. Regression equations and correlation coefficients between overland flow factor [mm] and the soil wash weight [kg m⁻²], and the daily sums of precipitation [mm]

Poletko	Funkcja o najlepszym dopasowaniu zależności pomiędzy zmiennymi <i>Function with the best fitting relationship between the variables</i>		Funkcja liniowa <i>Linear function</i>	
	Równanie regresji <i>Regression equation</i>	Współczynnik korelacji r <i>Correlation coefficient r</i>	Równanie regresji <i>Regression equation</i>	Współczynnik korelacji r <i>Correlation coefficient r</i>
Spływ powierzchniowy - Surface runoff				
SN2	$SP = 0,0033P^2 + 0,1744P + 0,4898$	0,76	$SP = 0,4266P - 2,503$	0,74
SN4	$SP = 0,0051P^2 - 0,0148P + 1,6114$	0,79	$SP = 0,3750P - 2,759$	0,73
SN8	$SP = 0,0022P^2 + 0,1P - 0,0098$	0,69	$SP = 0,1800P - 0,378$	0,56
SN16	$SP = 0,002P^2 + 0,0153P + 0,6797$	0,53	$SP = 0,1675P - 1,145$	0,50
SN32	$SP = 0,0036P^2 - 0,1524P + 1,888$	0,70	$SP = 0,1296P - 1,374$	0,54
Spłukiwanie gleby - Soil wash				
SN2	$Er = -0,0003P^2 + 0,0468P - 0,2485$	0,26	$Er = 0,0232P + 0,0311$	0,24
SN4	$Er = -0,0002P^2 + 0,0353P - 0,1838$	0,28	$Er = 0,0196P - 0,0061$	0,27
SN8	$Er = 0,4833Ln(P) - 0,9099$	0,21	$Er = 0,0102P + 0,1977$	0,13
SN16	$Er = 0,3101Ln(P) - 0,5325$	0,20	$Er = 0,0115P + 0,0929$	0,17
SN32	$Er = 0,2476Ln(P) - 0,4203$	0,21	$Er = 0,0091P + 0,0755$	0,18

Analizy przeprowadzone przez Gila (1999), wpływu wielkości opadów na spływ powierzchniowy i spłukiwanie materiału glebowego na poletkach o po-

wierzchni 6 arów z użytkowaniem ziemniaków, wskazują na występowanie zależności wielomianowej drugiego stopnia dla związku opad-spływ powierzchniowy i zależności liniowej dla związku opad – splukiwanie. Na diagramie korelacyjnym wrysowano zatem zależności liniowe pomiędzy zmiennymi, obliczono współczynniki regresji i porównano je z analogicznymi miarami dla zależności o najlepszym dopasowaniu pomiędzy zmiennymi. Największe różnice pomiędzy współczynnikami korelacji opad – spływ powierzchniowy występują dla danych z poletek o długości 8 i 32 m, a dla związku opad – splukiwanie współczynniki korelacji liniowej są wyraźnie niższe dla danych z poletek o długości 8, 16 i 32 m.

Analizowano zróżnicowanie spływu powierzchniowego i splukiwania gleby pomiędzy poszczególnymi poletkami w zależności od wielkości opadu, obliczając przeciętną różnicę pomiędzy wartościami. Zdefiniowano związki funkcyjne: sumy opadu jako zmiennej niezależnej oraz przeciętnej różnicy między wskaźnikami spływu oraz erozji z 1 metra długości na analizowanych poletkach, jako zmiennych zależnych (rys. 3).

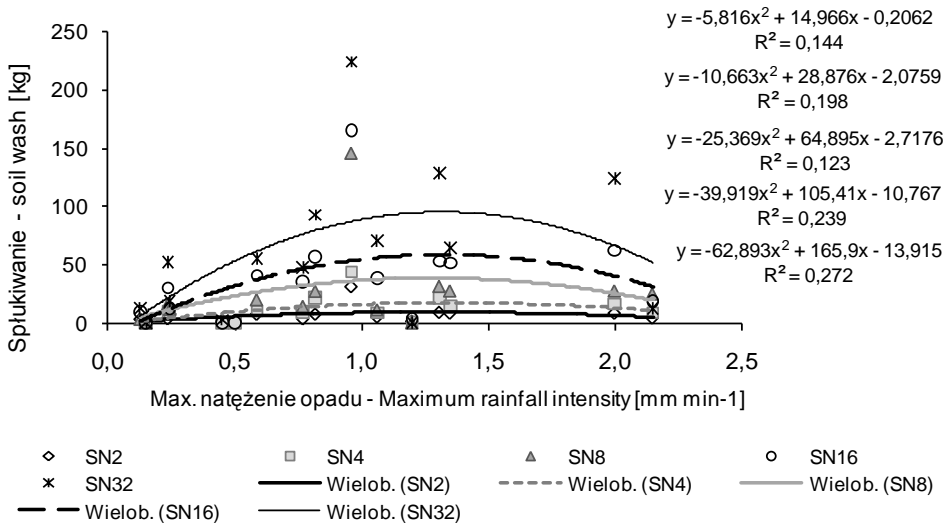


Rys. 3. Zależność między przeciętnymi różnicami spływu powierzchniowego (A) i splukiwania gleby (B) na poszczególnych poletkach w funkcji dobowej sumy opadów
Fig. 3. Relationship between the average differences in overland flow (A) and soil wash (B) on individual plots as a function of daily precipitation

Między wielkością opadów a zróżnicowaniem spływu powierzchniowego występuje zależność liniowa o wysokim współczynniku korelacji $r=0,76$; między wielkością opadów a zróżnicowaniem erozji występuje związek potęgowy o współczynniku korelacji $r=0,46$. Zatem, wzrost wysokości opadów powyżej 40 mm na dobę odgrywa coraz mniejszą rolę w różnicowaniu wielkości spłukiwanego materiału klastycznego pomiędzy poletkami.

Dobowe sumy opadów w lepszym stopniu przekładają się na wielkość spływu powierzchniowego, niż na wielkość spłukiwania (patrz tab. 2). Ich związek z rozmiarami spłukiwania nie jest już tak wyraźny, dlatego w dalszej interpretacji przyczyn zróżnicowania tego procesu, posłużono się maksymalnym natężeniem opadów atmosferycznych, wykorzystując zapis telepluviografu. Wykorzystano 16 dobowych zapisów przebiegu opadu ulewnego, kiedy spłynęło 74-83% całkowitej masy materiału wyerodowanego z poszczególnych poletek w latach 1990-1996.

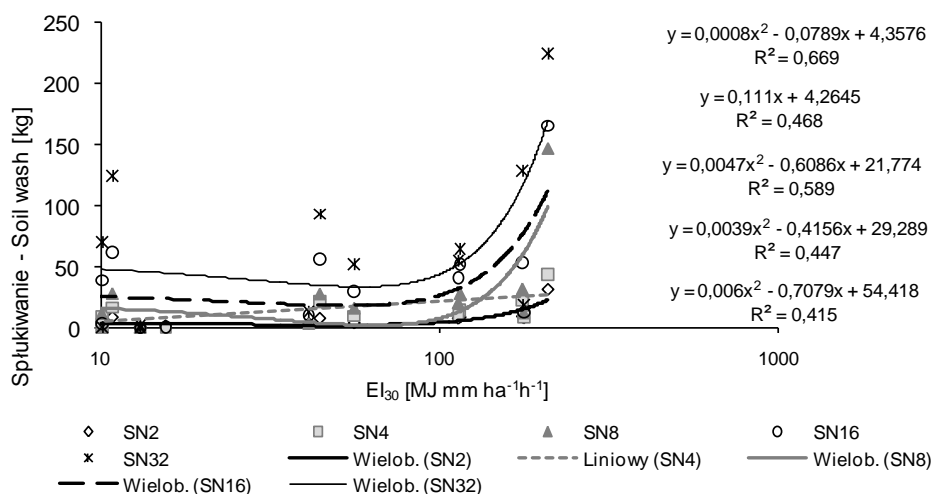
Zależności rozmiarów spłukiwania od maksymalnego natężenia opadów przyjmują na wszystkich poletkach charakter wielomianu drugiego stopnia i obrazują je odwrócone parabole o ujemnym współczynniku kierunkowym, malejącym wraz z długością poletka (rys. 4). Zmniejszająca się masa spłukiwanego materiału, przy bardzo wysokich natężeniach opadu, jest efektem oddziaływania wysokiej energii deszczu, powodującej zbijanie cząstek glebowych.



Rys. 4. Zależność między maksymalnym natężeniem opadów a spłukiwaniem na poletkach

Fig. 4. Relationship between maximum rainfall intensity and the soil material flushing from the plots

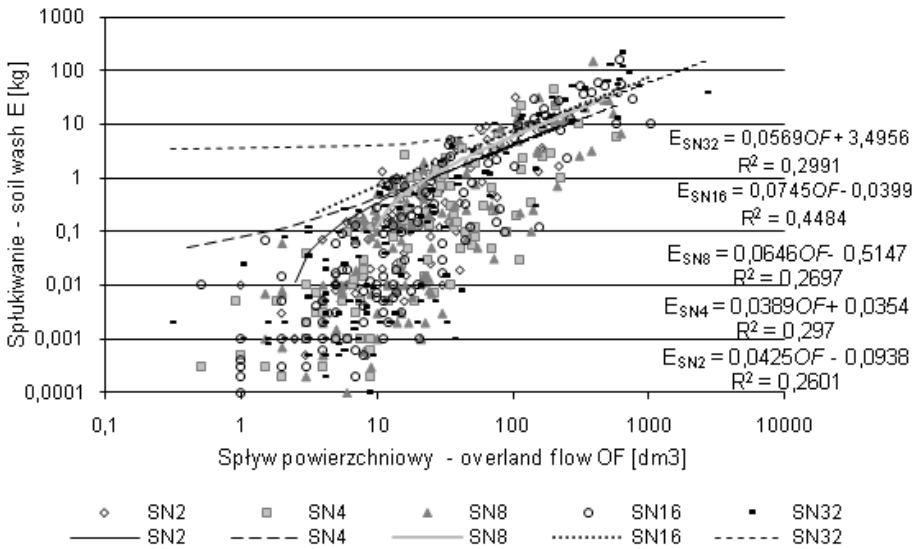
Maksymalne natężenie opadu nie odzwierciedla jego wpływu na uruchamianie i przemieszczanie materiału glebowego po stoku. Istotną rolę odgrywa czas trwania opadu o wysokim natężeniu. W tym celu oblicza się erozyjność deszczu poprzez uwzględnienie energii kinetycznej opadu i jego maksymalnego natężenia w ciągu 30 minut (Banasik, Górski 1990, Licznar, Rojek 2002). Metoda ta jest powszechnie stosowana i uwzględniana w równaniu strat glebowych modelu USLE (Wischmeier, Smith 1965). Podobnie, jak w przypadku zależności splukiwania od maksymalnej intensywności opadów, najwyższe współczynniki determinacji występują dla zależności o charakterze wielomianu drugiego stopnia, z wyjątkiem poletka o długości 4 m, na którym zależność ma charakter liniowy (rys. 5). W odróżnieniu od wpływu maksymalnego natężenia opadów, erozyjność deszczów charakteryzuje się dodatnim znakiem współczynnika kierunkowego wielomianu dla związku z masą splukanego materiału. Ponadto, współczynniki determinacji są wyraźnie wyższe.



Rys. 5. Zależność między wskaźnikiem erozyjności EI_{30} a wielkością splukiwania na poletkach

Fig. 5. The relationship between the erosivity index EI_{30} and the values of soil wash from the plots

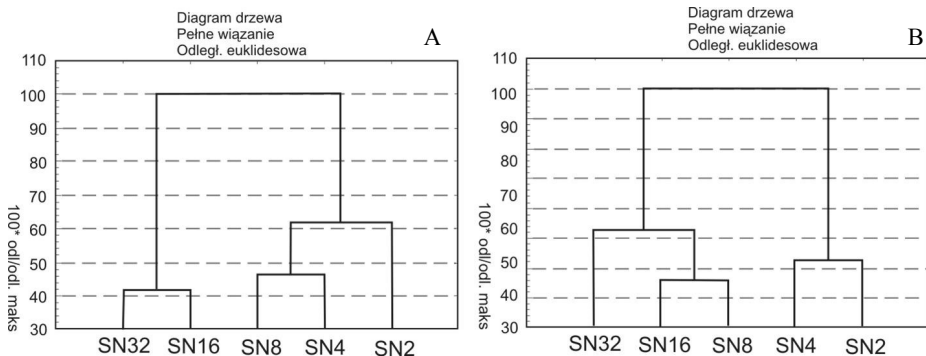
Procesem inicjującym wystąpienie splukiwania gleby jest spływ powierzchniowy. Analizowano wpływ objętości wody spływającej z poletek na wielkość splukiwania gleby, poprzez określenie charakteru związków funkcyjnych oraz współczynnika korelacji r . Najlepiej zależności te charakteryzują funkcje liniowe o współczynnikach korelacji r w granicach 0,51-0,55, z wyjątkiem poletka SN16, gdzie współczynnik korelacji między obydwoma zmiennymi wynosi 0,67 (rys. 6). Podobna prawidłowość występuje pomiędzy analizowanymi zmiennymi na poletkach o powierzchni 6 arów (Gil 1999, 2009).



Rys. 6. Zależności między objętością splywu powierzchniowego a masą materiału glebowego, erodowanego z poletek

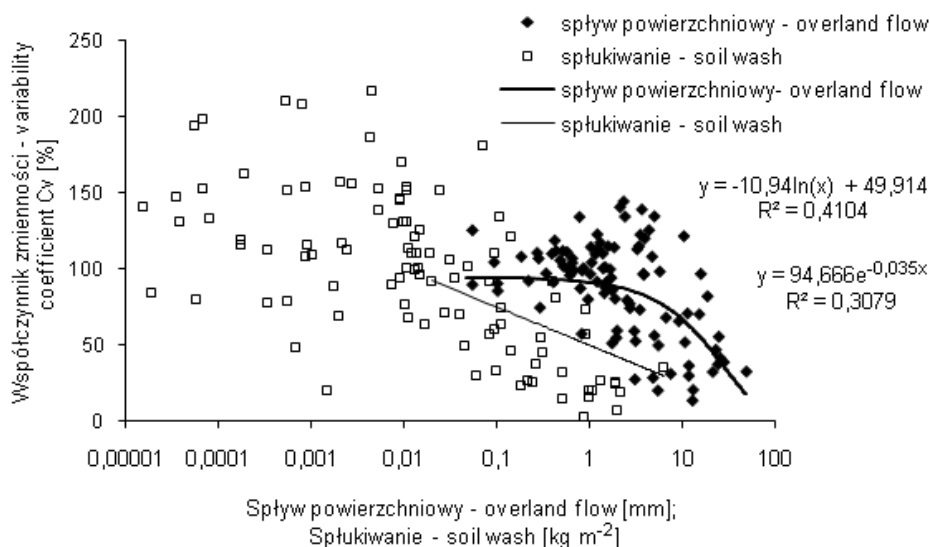
Fig. 6. Relationships between surface runoff volume and mass of soil material, eroded from the plots

W celu porównania podobieństwa wariancji uzyskanych wyników splywu powierzchniowego (w mm) i splykiwania z poszczególnych poletek (w kg z 1 m długości poletka), posłużono się metodą aglomeracji, z pełnym wiązaniem i zastosowaniem odległości euklidesowej (rys. 7). Na tej podstawie można stwierdzić, iż rozkłady wyników splywu powierzchniowego „upodobniają się” ze wzrostem długości poletka. Taka prawidłowość nie dotyczy splykiwania gleby.



Rys. 7. Dendrogram grupowania wyników splywu powierzchniowego (A) i splykiwania gleby (B) na poletkach doświadczalnych

Fig. 7. Graphic results of grouping of overland flow (A) and soil wash results (B) on experimental plots



Rys. 8. Zależności współczynnika zmienności od średnich wielkości spływu powierzchniowego i splukiwania gleby

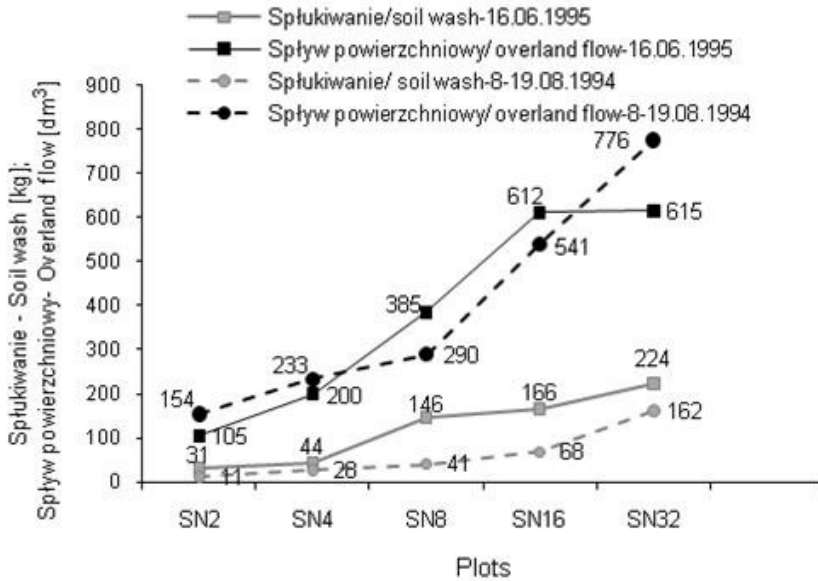
Fig. 8. Relationships between the variation coefficient from the average overland flow factor and soil wash

Porównano zmienność zróźnicowania analizowanych procesów w zależności od średnich wartości spływu powierzchniowego (w mm) i splukiwania gleby (w kg m^{-2}) obliczonych dla wszystkich poletek (rys. 8). W obydwu analizach stwierdzono zmniejszanie się współczynnika zmienności ze wzrostem natężenia procesu. Zależności te wykazują jednakże odmienny charakter: liniowy w przypadku zależności ze spływem powierzchniowym i logarytmiczny dla zależności ze splukiwaniem gleby.

INTENSYWNOŚĆ PROCESÓW STOKOWYCH PODCZAS OPADÓW O RÓŻNYM NATĘŻENIU

Do analizy wybrano 2 zdarzenia:

- opad ulewny* – 16.06.1995, którego dobową sumę wyniosła 30,2 mm, a maksymalna intensywność – mierzona współczynnikiem a wg skali Chomicza – 4,8 (opad ulewny IV stopnia), wobec erozyjności deszczu $EI_{30} = 209,2 \text{ MJ mm ha}^{-1}\text{h}^{-1}$.
- opad rozlewny* – 8-19.08.1994, którego suma opadów za cały okres wyniosła 70,6 mm, osiągając najwyższą dobową sumę 21,9 mm i maksymalną intensywność 6 mm h^{-1} (rys. 9).



Rys. 9. Porównanie rozmiarów spływu powierzchniowego i spłukiwania gleby w czasie opadów o różnym charakterze

Fig. 9. Comparison of the size of overland flow and soil wash during rainfall the various types

Spływ powierzchniowy, obliczony jako średnia ze wszystkich poletek, był podobny podczas obydwu zdarzeń (prawie 400 dm³ z poletka), natomiast spłukiwanie materiału glebowego podczas ulewnego opadu dwukrotnie przewyższyło masę materiału wyerodowanego podczas opadów rozlewnych.

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania na poletkach o zróżnicowanej długości (i szerokości 2 m) wskazały, że decydujące znaczenie w kształtowaniu spłukiwania odgrywała erozyjność opadu wynikająca z wielkości energii kinetycznej deszczu i czasu trwania jego maksymalnego natężenia.

Wraz ze wzrostem długości poletka objętość spływającej wody oraz masa spłukiwanego materiału były większe, w przypadku wskaźnika spływu powierzchniowego i spłukiwania jednostkowego występowała odwrotna prawidłowość. W przypadku poletek obserwuje się zatem prawidłowość charakterystyczną dla zlewni rzecznych: im mniejsza zlewnia tym wyższe wskaźniki odpływu i odprowadzania zawiesiny z jednostki powierzchni.

Natężenie spływu powierzchniowego jest lepiej skorelowane z wydajnością opadów niż spłukiwanie gleby (wyższe współczynniki korelacji). Spłukiwanie

gleby zależne jest w znacznym stopniu od maksymalnego chwilowego natężenia opadu, lecz przede wszystkim decydującą rolę odgrywa erozyjność opadu, opisana współczynnikiem erozyjności opadów i spływów EI_{30} . Zaobserwowano, że wraz ze wzrostem natężenia spływu powierzchniowego i splukiwania gleby mniejsze było zróżnicowanie wskaźników odpływu i splukiwania z poletek o różnej powierzchni.

Przy stosowanym użytkowaniu (czarny ugór) znaczącą (a czasem być może dominującą) rolę odgrywają zabiegi agrotechniczne, polegające na okresowym pieleniu i przekopywaniu poletka. Wystąpienie intensywnego opadu bezpośrednio po ich wykonaniu, skutkuje wzrostem splukiwania materiału glebowego.

Literatura:

- Adamczyk B., Maciaszek W., Januszek K., 1973, Gleby gromady Szymbark i jej wartość użytkowa, [w:] L. Starkel (red.), Gleby i zbiorowiska leśne okolic Szymbarku, *Dokum. Geogr.* 1, 15–66.
- Banasik K., Górski D., 1990, Wyznaczanie erozyjności deszczy do uniwersalnego równania strat glebowych, *Zesz. Nauk. AR Wrocław* 189, 103–109.
- Froehlich W., 1973, The carrying out of suspended and dissolved load on the Kamienica Nawojowska and Łubinka catchment basin during the flood in 1970, *Stud. Geomorph. Carpatho-Balcan.* 6, 105–119.
- Froehlich W., 1992, *Mechanizm erozji i transportu fluwialnego w zlewniach beskidzkich*, Prace Geogr. IGiPZ PAN 155, 171–189
- Gerlach T., 1976, *Współczesny rozwój stoków w Polskich Karpatach fliszowych*, Prace Geogr. IGiPZ PAN, 122, 116 s.
- Gil E., 1976, *Splukiwanie gleby na stokach fliszowych w rejonie Szymbarku*, *Dokum. Geogr.* 2, 65 s.
- Gil E., 1998, Wpływ długości stoku na rozmiary spływu powierzchniowego i splukiwania (badania eksperymentalne), [w:] A. Kostrzewski (red.), *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego "Funkcjonowanie i tendencje rozwoju geosystemów Polski"*, Biblioteka Monitoringu Środowiska, 105–112.
- Gil E., 1999, *Obieg wody i splukiwanie na fliszowych stokach użytkowanych rolniczo w latach 1980-1990 (wyniki badań przeprowadzonych na poletkach doświadczalnych na Stacji naukowej IGiPZ PAN w Szymbarku)*, 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.), *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie środowiska przyrodniczego w okresie przemian gospodarczych w Polsce*, 191–218.
- Horton R. E., 1940, An aproach toward a physical interpretation of infiltration-capacity, *Soil Sc. Soc. Am. Proc.* 5, 399–417.
- Kijowska M., Bochenek W., *w druku*, The dynamics carrying out of suspended material form the Bystrzanka flysh catchment during the selected rainfall high stages in 1997-2008.
- Licznar P., Rojek M., 2002, Erozyjność deszczy Polski południowo-zachodniej na przykładzie stacji Wrocław-Swojec, [w:] K. Banasik (red.), *Materiały sympozjum „Erozja gleb i transport rumowiska rzecznego”*. Zakopane, 10-12 października, 7–14.

- Rejman J., 2006, *Wpływ erozji wodnej i uprawowej na przekształcanie gleb i stoków lessowych*, Acta Agrophisica Rozprawy i Monografie 136, 91 s.
- Rejman J., Usowicz B., 1999, Ilościowy opis przenoszenia gleb i wody w procesie erozji wodnej, *Acta Agrophisica* 23, 143–148
- Słupik J., 1973, *Zróźnicowanie splywu powierzchniowego na fliszowych stokach górskich*, Dokum. Geogr. 2, 118 s.
- Słupik J., 1981, *Rola stoku w kształtowaniu odpływu*, Prace Geogr. IGiPZ PAN 142, 98 s.
- Śmietana M., 1987, Zróźnicowanie rozbryzgu gleby na użytkowanych rolniczo stokach fliszowych, *Studia Geomorph. Carpatho-Balcanica*, vol. XXI, P, 161–182.
- Święchowicz J., 1998, Splukiwanie gleby na stoku eksperymentalnym w rejonie Łazów (Pogórze Wielickie), [w:] A. Kostrzewski (red.), *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego "Funkcjonowanie i tendencje rozwoju geosystemów Polski"*, Biblioteka Monitoringu Środowiska, 217–228.
- Święchowicz J., 2002, Współdziałanie procesów stokowych i fluwialnych w odprowadzaniu materiału rozpuszczonego i zawiesiny ze zlewni pogórskiej. Przemiany środowiska na Pogórzu Karpackim, t. 3, 151 s.
- Wischmeier W.H., Smith D.D., 1965, *Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains*. Agriculture Handbook 573, USDA-ARS.