

Józef Szpikowski

Stacja Geoekologiczna w Storkowie
Uniwersytet Adama Mickiewicza, Poznań
e-mail: szpiko@amu.edu.pl

**UWARUNKOWANIA I WIELKOŚĆ ROZBRYZGU GLEBY NA
PODSTAWIE POMIARÓW NA POWIERZCHNIACH TESTOWYCH
W ZLEWNI CHWALIMSKIEGO POTOKU (POMORZE ZACHODNIE)**

**Conditions and magnitude of soil splash based on plot measurements
in the Chwalimski Potok catchment (West Pomerania)**

Abstract: The study on water erosion in young-glacial catchment of the Chwalimski Potok (upper Parsęta tributary, Western Pomerania) conducted in years 1994-96 and 2007-09 on surfaces of experimental plots under different land use, shows that the most important factors influencing the rainsplash magnitude are: 1) a type of vegetation and its stage of growth, 2) changing physical state of the ground surface, and 3) agrotechnical treatments. The study allows to compare erosion measurements taken in field during systematic stationary observations with values calculated in empirical modeling. According to the empirical model of Wainwright et al. (1985), the mean annual volume of relocated soil on a slope due to rainsplash was bracketed between 1,58 and 2,83 kg m⁻². However, the field measurements taken on the black fallow revealed rainsplash erosion of 3,25 kg m⁻². The use of empirical models in assessing the magnitude of rainsplash calls for detailed data on kinetic energy of rain during the study period.

Słowa kluczowe: energia kinetyczna deszczu, rozbryzg, modele empiryczne, zlewnia Chwalimskiego Potoku, Pomorze Zachodnie

Key words: kinetic energy of rain, soil splash, empirical models, Chwalimski Potok catchment, West Pomerania

WSTĘP

Od połowy lat 80. XX w. w zlewni górnej Parsęty na Pomorzu Zachodnim są prowadzone badania procesów erozji wodnej gleb w różnych warunkach użytkowania ziemi, jako jednego z elementów funkcjonowania geosystemu zlewni

młodoglacjalnej (Kostrzewski 2001). Od roku 1994 prowadzone są systematyczne pomiary na wydzielonych powierzchniach testowych w zlewni Chwalimskiego Potoku (Szpikowski 1998). Głównym celem prowadzonych badań było określenie uwarunkowań, zmienności czasowej i wielkości rozbryzgu gleby. Założenia systemu pomiarowego pozwalają na badanie zróżnicowania wielkości rozbryzgu na powierzchniach z różnym użytkowaniem rolnym, w tym również na stoku pozbawionym roślinności. Wyniki pomiarów rozbryzgu na powierzchni testowej z czarnym ugiem w latach 1994-96 oraz 2007-09 umożliwiają m.in. porównanie uzyskanych wartości z wynikami obliczonymi przy pomocy modeli empirycznych w celu oceny możliwości ich stosowania w obszarach młodoglacjalnych.

OBSZAR BADAŃ

Badania rozbryzgu gleby prowadzono w zlewni Chwalimskiego Potoku – cząstkowej zlewni dorzecza górnej Parsęty, o powierzchni 4,8 ha. Badana zlewnia jest położona na wysokości 110 – 120 m n.p.m. Maksymalna deniwelacja terenu wynosi zaledwie 10 m. Niewielkie zróżnicowanie wysokościowe jest odzwierciedleniem genezy rzeźby i jest typowe dla strefy moreny dennej płaskiej i falistej. Niewielka powierzchnia zlewni w połączeniu z centralnie położoną częścią wytopiskowo-dolinną sprawia, że długości stoków są niewielkie, maksymalnie do 110 m. Stoki w profilach podłużnych przybierają najczęściej kształty wypukło-wklęsłe. Spadki są mało zróżnicowane od 2–4° do maksymalnie 5–6°. Większe nachylenia występują na krawędzi niszy źródłiskowej Chwalimskiego Potoku (do 17°) oraz na krawędziach zagłębień wytopiskowych (maksymalnie do 10°).

Obszar badań charakteryzuje się dużą zmiennością litologiczną, od zalegających w podłożu glin morenowych, poprzez piaski gliniaste i piaski luźne z soczewkami żwirów aż do osadów organicznych w zagłębieniach wytopiskowych o wysokim poziomie wody gruntowej.

Stanowiska pomiarowe procesów spłukiwania i rozbryzgu zostały umieszczone na stoku z płatem gleb pływych zaciekowych gruntowo-glejowych (Marcinek 1998, Marcinek, Komisarek 1998), które należą do typu gleb powszechnie występujących na Pomorzu Zachodnim. Gleby płowe zaciekowe gruntowo-glejowe w zlewni Chwalimskiego Potoku tworzą się w warunkach o umiarkowanie dobrym naturalnym drenażu, z występującym okresowym oglejeniem, wywołanym przemieszczaniem się wód podziemnych lub wód spływów śródglebowych. O podstawowych cechach fizyczno-chemicznych tych gleb zdecydowało duże spiaszczenie powierzchniowych poziomów morenowych. Równocześnie są to gleby wrażliwe na zewnętrzne czynniki glebotwórcze, w tym również na procesy erozyjne (Koćmit 1998).

METODY BADAŃ

Zgodnie z przyjętą koncepcją stacjonarnych badań erozji wodnej gleb w zlewni Chwalimskiego Potoku w 1993 roku zbudowano system pomiarowy, złożony z powierzchni testowych i odpowiednio rozmieszczonych na stoku stanowisk pomiarowych. Zaplanowano 5 powierzchni testowych. Cztery z nich umożliwiają pomiary erozji wodnej dla podstawowych rolniczych form użytkowania ziemi typowych w tej części Pomorza Zachodniego: łąki, zboża ozimego, zboża jarego i ziemniaków z układem radlin skierowanym zgodnie ze spadkiem stoku. Powierzchnia piąta jest czarnym ugorzem, utrzymywanym bez roślinności przy pomocy herbicydów oraz zabiegów mechanicznych.

Do pomiaru wielkości rozbryzgu gleby zostały zastosowane chwytacze z częścią zbierającą z lejka plastikowego o średnicy 10 cm (Froehlich 1986, Poesen, Torri 1988). Lejki umieszczano w butelce plastikowej o objętości 1 dm³, która była zagłębiona w gruncie, w odcinku rury PCW o średnicy 10 cm. Butelkę umieszczano w gruncie na tak dobraną głębokość, aby górna krawędź umieszczonego w niej lejka nie wystawała ponad wyrównany poziom powierzchni gleby więcej niż 0,5 cm. Zasada działania tak sporządzonego chwytacza rozbryzgu polegała na gromadzeniu w obrębie lejka materiału glebowego, odrywanego od podłoża i przemieszczanego przez krople deszczu. Równocześnie woda opadawała zmywała materiał z lejka do butelki plastikowej. Pobór próbek, przeprowadzany najczęściej w odstępach około 1 miesiąca, polegał na wymianie butelki na nową, po uprzednim zmyciu wodą pozostałości materii na dnie lejka. Wielkość rozbryzgu wyznaczano z ilości zgromadzonego w butelce materiału przy zastosowaniu metody sączkowo-wagowej wg Brańskiego (1968).

W okresie 1994-96 rozmieszczono w profilach podłużnych stoku po trzy chwytacze rozbryzgu na powierzchniach rolnych oraz pięć na czarnym ugorze. W latach 2007-09 stanowiska pomiarowe rozbryzgu (3 chwytacze) rozstawiono w profilu podłużnym stoku wyłącznie na powierzchni testowej czarnego ugoru.

Kontrola stanu fizycznego powierzchni stoku polegała m.in. na powtarzalnych pomiarach wilgotności powierzchniowej warstwy gleby w pobranych próbkach. Wilgotność gleby określano laboratoryjnie za pomocą miernika Sartorius MA w % jako wilgotność wagową. Ręczną ścinarką obrotową Eijkelkampa mierzono odporność na ścinanie powierzchniowej warstwy gleby. Pomiary prowadzono w profilu podłużnym stoku utrzymywanym w czarnym ugorze, w 5 powtórzeniach dla każdego punktu. Uzyskane wyniki mają jednak charakter orientacyjny, ze względu na błąd pomiarowy wynikający z dużego udziału frakcji piaszczystej w osadach powierzchniowych oraz okresowego występowania skorup glebowych.

Warunki pogodowe były kontrolowane w oparciu o posterunek meteorologiczny Stacji Geoekologicznej UAM w Storkowie, oddalony o 1,5 km od obiektu badań. Wysokość opadów atmosferycznych mierzono deszczomierzami Hell-

manna (na wysokości 1 m oraz na poziomie gruntu). Natężenie opadów atmosferycznych dla lat 1994-96 obliczano z pluwiogramów, natomiast dla okresu 2007-09 uzyskiwano z pomiarów pluwiografem elektronicznym Vaisala.

Na podstawie czasu trwania i intensywności opadów obliczano jednostkową energię kinetyczną opadów wg formuły opracowanej przez Browna i Fostera (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 opadu [$\text{MJ ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$],

I_i – intensywność opadu w okresie o stałej intensywności i [mm h^{-1}],

ΔP_i – suma opadu w okresie o stałej intensywności i [mm].

UWARUNKOWANIA ROZBRYZGU GLEBY W ZLEWNI CHWALIMSKIEGO POTOKU

Przeprowadzone badania dla stoków ze zróżnicowanym użytkowaniem prowadzą do wniosków, że na zróżnicowanie wielkości rozbryzgu na różnych stanowiskach wpływają:

- obecność, rodzaj i etap rozwojowy szaty roślinnej,
- stan fizyczny powierzchni gleby,
- przeprowadzane zabiegi agrotechniczne.

Szata roślinna na stoku ogranicza energię kropel deszczu docierających do podłoża, a ponieważ jest ze swej natury elementem zmiennym w ciągu roku i sezonu wegetacyjnego, stąd jej oddziaływanie jest zmienne. Najbardziej stabilna pod tym względem w ciągu roku jest powierzchnia trwale zadarniona. Na poletkach testowych z uprawami stopień osłaniania gleby zależy od aktualnej fazy rozwojowej roślin. Spośród wprowadzonych na powierzchnie testowe roślin uprawnych najdłużej ochrania glebę żyto. Jedynie w przeciągu dwóch miesięcy – września i października, tzn. w okresie między orkami późnymi a wschodami nowych roślin, powierzchnia stoku jest zupełnie nieosłonięta. Rola ochronna ozimin w półroczu chłodnym jest bardzo ograniczona, czego potwierdzeniem są uzyskiwane wyniki wielkości rozbryzgu. Uprawy owsa osłaniają glebę w ciągu około 4,5 miesiąca. Od pory przygotowywania gruntu pod zasiew do pełnych wschodów, czyli w przybliżeniu w okresie marzec-kwiecień gleba jest całkowicie nieosłonięta. W przypadku uprawy ziemniaków powierzchnia stoku jest osłaniana roślinami przez 4 miesiące – od około połowy czerwca do połowy września. Powierzchnie przeznaczone pod zasiew zboża jarego oraz

uprawę roślin okopowych pozostają przez 5-6 miesięcy w roku (od października do marca-kwietnia) bez osłony roślin, z glebą po orce.

Energia deszczu w łanie roślin jest ograniczana przez pokrycie powierzchni terenu roślinami i przejmowanie energii uderzenia przez ich nadziemne części. Ograniczenie energii jest proporcjonalne do pokrycia powierzchni roślinami w rzucie ortogonalnym. S.W. Trimble (1988) prezentuje wielkość współczynnika okrywy roślinnej, który zależy od stopnia osłonięcia powierzchni gruntu roślinami i od wysokości szaty roślinnej. Na tej podstawie można przyjąć, że na łące współczynnik pokrywy roślinnej wynosi około 0,9, a to oznacza, że zaledwie 10% opadu dociera bezpośrednio do gleby. Dla upraw zbożowych współczynnik osłaniania zmienia się od 0 do około 0,5 w okresie pełnego wzrostu roślin, przy założeniu, że rośliny w dojrzałym łanie zboża pokrywają 30% powierzchni gruntu (Bac 1982). W momencie, gdy część kropel przedostaje się przez szatę roślinną do podłoża, następuje zmniejszenie transportu materiału glebowego przez rozbryzg spowodowany przeszkodami w postaci łodyg, pędów i liści roślin. W rezultacie materiał jest przemieszczany tylko na bardzo krótkie odległości. Siłę rozbryzgu ograniczają także występujące na powierzchni pola uprawnego szczątki roślinne. J. Kuś i S. Nawrocki (1998), powołując się na wyniki badań zamieszczone w literaturze oraz na doświadczenia przeprowadzone w IUNG, twierdzą, że resztki roślinne lub celowe ściółkowanie zwiększa szorstkość powierzchni stoku, ogranicza niszczenie struktury gleby przez opad i zwiększa możliwości infiltracyjne. W warunkach zlewni górnej Parsęty obecność na powierzchni pól ściółki roślinnej nie wynika z celowych zabiegów przeciwerozyjnych, lecz jest wynikiem słabszej agrokultury.

Roślinność ma pewne znaczenie w ograniczaniu rozbryzgu poprzez tworzenie warunków sprzyjających powstawaniu skorupy na powierzchni gleby. Badania wykazały, że do wytwarzania skorup glebowych przyczyniają się zwłaszcza rośliny o dużej powierzchni zbiorczej liści, np. kapusta (Farres, Muchena 1996). Woda zbierająca się na powierzchni liści dociera w wyniku splotu skoncentrowanego do powierzchni stoku (ściekając po łodydze i liściach, jeżeli stykają się z podłożem, lub skapując z liści), przyczyniając się do tworzenia lokalnych skorup glebowych.

Właściwości powierzchni gleby są kształtowane poprzez jej parametry fizykochemiczne, zależne m.in. od litologii podłoża, zawartości części organicznych oraz aktualnej wilgotności. W sposób dynamiczny właściwości powierzchni gleby są nieustannie kształtowane przez zmienne warunki pogodowe oraz przeprowadzane prace agrotechniczne. Wykonywane prace polowe wpływają bezpośrednio nie tylko na powierzchnię, lecz również na stan gleby do głębokości wykonywania zabiegów agrotechnicznych, tj. 20–30 cm. Podkreślane jest znaczenie uprawy roli w niszczeniu skorup glebowych, ograniczających infiltrację i zwiększających odporność gruntu na rozbryzg. Pod tym względem wyjątkowe miejsce zajmuje powierzchnia testowa z uprawą ziemniaków. W ciągu jednego

sezonu wykonuje się w ziemniakach powyżej pięciu zabiegów pielęgnacyjnych (bronowanie, radlenie, odchwaszczanie), co znajduje swoje odzwierciedlenie w małej odporności powierzchni gleby na rozbryzg.

Warunki funkcjonowania rozbryzgu zmieniają się w zależności od mikroreliefu powierzchni testowych. Szczególna sytuacja zachodzi w uprawie ziemniaków, gdzie powierzchnia stoku jest urozmaicona przebiegiem radlin. Kąt nachylenia zboczy radlin zmienia się od około 45° bezpośrednio po zabiegu obsypywania, do 20–30° po bronowaniu i odchwaszczaniu. Mechanizm funkcjonowania rozbryzgu nawiązuje do kształtu profilu poprzecznego stoku (w zlewni Chwalimskiego Potoku układ radlin w uprawie ziemniaków był zgodny ze spadkiem). Na nachylonych zboczach radlin przemieszczanie w kierunku dna radliny jest zawsze większe niż w górę. Do transportu w górę może dochodzić jedynie w sporadycznych sytuacjach, gdy radliny są wyjątkowo płaskie. Przemieszczenie materiału przez rozbryzg w obrębie zboczy radlin, skierowane głównie w stronę dna radliny, przyczynia się do jego szybkiej dostawy w strefę spływu powierzchniowego, skoncentrowanego w dnach radlin. Zauważa się, że po kilku czy kilkunastu minutach deszczu spada koncentracja materiału transportowanego w postaci zawiesiny w spływie powierzchniowym (Parsons i in. 1994). Przyczyn tego zjawiska upatruje się w stopniowym ograniczaniu na stoku ilości materiału luźnego, w postaci oderwanych od podłoża cząstek i agregatów oraz z powodu zmniejszania oddziaływania rozbryzgu (skorupy glebowe, warstwa wody na powierzchni gleby). Obserwacje przeprowadzone w zlewni Chwalimskiego Potoku wskazują, że intensywne rozmiary splukiwania w uprawach ziemniaków należy wiązać z działaniem rozbryzgu w obrębie grzbietów, a zwłaszcza stoków radlin. Szczególne znaczenie ma:

- wyeliminowanie ochronnej roli warstwy wody na mocno nachylonych stokach radlin,
- zdecydowana przewaga transportu cząstek gleby przez rozbryzg w kierunku den radlin,
- dostawa przez rozbryzg luźnego materiału glebowego do obniżen pomiędzy radlinami i jego odprowadzanie przez skoncentrowany spływ wody.

Szczególnym urozmaiceniem mikrorzeźby stoku, zwłaszcza wkrótce po wykonaniu orki, wyróżniają się powierzchnie z orką zimową. Urozmaicona mikrorzeźba z ostrymi bryłami skib i zagłębieniami pomiędzy nimi sprzyja ukierunkowaniu transportu materiału przez rozbryzg w stronę lokalnych depresji. Na tym etapie mechanizm przemieszczania jest zbliżony do obserwowanego w uprawach ziemniaków. Trudności z odprowadzaniem materiału w dół stoku wywołane urozmaiconą mikrorzeźbą nie sprzyjającą wykształceniu ukierunkowanego odpływu i sprawiają, że większość oderwanych przez rozbryzg cząstek gleby jest akumulowana w lokalnych zagłębieniach. Obserwuje się tam sortowanie materiału, zarówno w wyniku spływów rozproszonych jak i sedymentacji w mikrozagłębieniach na powierzchni stoku.

W zlewni Chwalimskiego Potoku opady często mają przebieg nierównomier-ny, z naprzemiennymi okresami spadku i wzrostu natężenia. Sieć powierzchniowego spływu skoncentrowanego jest słabo zorganizowana (poza uprawą ziemniaków), a warunki infiltracji są na ogół dobre. Sprawia to, że na wszystkich powierzchniach testowych, z wyjątkiem ziemniaków, w ciągu nawet jednego opadu zmienia się intensywność i zasięg rozbryzgu w poszczególnych częściach stoku, w nawiązaniu do aktualnego układu sieci spływającej lub stagnującej okresowo wody i tworzących się skorup glebowych.

W badanej zlewni proces rozbryzgu jest uwarunkowany przez:

- wielkość opadów atmosferycznych – podczas lat hydrologicznych 1994-96 oraz 2007-09 wystąpiło 4199,1 mm opadów w postaci deszczu, a więc 699,9 mm a⁻¹ – uwzględniano opad mierzony na poziomie gruntu, a do każdego zmierzonego opadu dodawano 0,2 mm jako poprawkę instrumentalną (Bac 1982),
- energię kinetyczną opadów – dla całego okresu badań w okresie bezśnieżnym (kwiecień – październik) średnia energia kinetyczna opadu wynosi 0,167 MJ ha⁻¹mm⁻¹, a średnia całkowita energia kinetyczna dla tego okresu 40,73 MJ ha⁻¹,
- uziarnienie osadów budujących powierzchniową warstwę gleby – średni skład granulometryczny: piasek bardzo gruby – 4,3%, piasek gruby – 3%, piasek średni – 44%, piasek drobny – 26,2%, piasek bardzo drobny – 6,5%, pył – 11,3%, il – 4,7%, ze średnią średnicą ziarna 1,97 φ (0,25 mm) i zawartością C org. 2,78%,
- odporność na ścinanie powierzchniowej warstwy gleby – dla poletka testowego z czarnym ugiem wartość ta zawiera się w przedziale od 0,02 do 0,42 cm⁻² (0,00002-0,00042 kPa), przy wartości średniej 0,1047 kG cm⁻², w warunkach zlewni Chwalimskiego Potoku luźne powierzchniowe osady stokowe odznaczają się znikomą wielkością sił odporności na ścinanie – średnio około 1 Pa, są więc zbyt małe, aby mogły w wyraźny sposób modyfikować wielkość rozbryzgu; według badań M.M. Al-Durrah i J.M. Bradford (1982) oraz P.P. Sharma i in. (1991) dopiero odporność gruntu na ścinanie rzędu 1 kPa wpływa na zmniejszanie siły oddziaływania kropel deszczu na podłoże – sytuacje takie być może zachodzą, gdy pojawiają się skorupy glebowe,
- wilgotność powierzchniowej warstwy gleby – na czarnym ugorze zmierzone wartości zawierały się w przedziale od 0,1 do 22,3%, średnio 10%,
- obecność wody na powierzchni gruntu podczas rozbryzgu – uzależniona od aktualnej dostawy wody (opad, roztopy), możliwości infiltracyjnych gruntu i odpływu powierzchniowego ze stoku,
- ochrona powierzchni gleby przez szatę roślinną – uzależniona od rodzaju użytkowania gruntu i aktualnej fazy rozwojowej roślin,
- ograniczenie dostępności gruntu spowodowane obecnością, na powierzchni

- gleby i w glebie, części materii roślin (ściółki) – uzależnione od rodzaju użytkowania i aktualnie wykonywanych zabiegów agrotechnicznych,
- oddziaływanie wiatru na trajektorię spadających kropli deszczu – zorientowanie stoku testowego (NW-SE) w stosunku do przeważających kierunków wiatru (SSW i ESE) wskazuje, że w zlewni Chwalimskiego Potoku najczęściej wiatr spycha tor spadających kropel deszczu w ten sposób, że zwiększa się przemieszczanie gleby poprzez rozbryzg w bok stoku oraz w górę stoku; szczegółowe określenie wpływu wiatru na rozbryzg wymaga analizy danych meteorologicznych każdego przypadku opadu, w powiązaniu z prędkością i kierunkiem wiatru.

WIELKOŚĆ ROZBRYZGU GLEBY W ZLEWNI CHWALIMSKIEGO POTOKU

Wielkość przemieszczania gleby przez rozbryzg jest dla poszczególnych powierzchni testowych zróżnicowana zarówno w czasie jak i ze względu na sposób użytkowania ziemi. Rozbryzg na czarnym ugorze może w tym samym okresie pomiarowym przekraczać nawet do 500 razy rozbryzg mierzony na łące. W przypadku pozostałych użytków różnice są już mniejsze, choć i tak w pojedynczych przypadkach obserwowano rozbryzg na czarnym ugorze przekraczający 100 razy wielkość rozbryzgu w uprawach zbożowych. Duża zmienność uzyskiwanych wyników jest charakterystyczna dla pomiarów rozbryzgu i wynika zarówno z lokalnego zróżnicowania otoczenia chwytacza jak i z błędów pomiarowych. Zestawione w tabeli 1 wartości roczne rozbryzgu wskazują, iż wielkość tego procesu na łące stanowi zaledwie 1,2%, w uprawie owsa – 41,5%, żyta – 47,1% i ziemniaków – 64,3%, w porównaniu z czarnym ugiem. Stosunkowo duże wartości rozbryzgu gleby w uprawach zboża jarego oraz na powierzchni z ziemniakami wynikają z intensywnego oddziaływania deszczu na glebę w okresach wiosennych (maj-czerwiec), gdy powierzchnia stoku nie jest dostatecznie osłaniana przez rośliny. Uzyskane wyniki wskazują, iż ochronna rola zboża ozimego nie jest zdecydowanie większa od zboża jarego (tab. 1).

Pomimo dużej zmienności wyników zaobserwowano tendencje do wzrostu wielkości rozbryzgu gleby w półroczach letnich. Warunkuje to większa energia kinetyczna opadów półrocza ciepłego, występowanie części opadów zimowych w formie śniegu oraz ochronne oddziaływanie pokrywy śnieżnej (np. na przełomie roku 1995 i 1996 pokrywa śnieżna przez pięć miesięcy całkowicie osłaniała stoki).

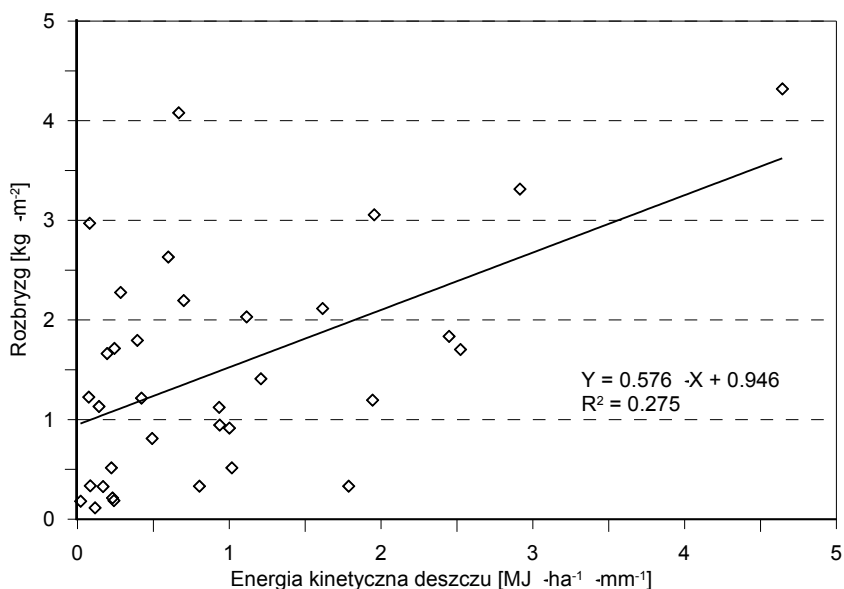
Zależność wielkości rozbryzgu gleby od energii kinetycznej opadów w przypadku poboru próbek z częstością 1 raz na miesiąc lub większą, nie jest zbyt duża (rys. 1). Przyczyna tkwi w uśrednianiu warunków ekspozycji chwytacza rozbryzgu, tym większym, im dłużej trwa okres pomiarowy. Szacowanie

rozbryzgu na podstawie sumarycznej wartości energii kinetycznej deszczu za pewien okres jest również zniekształcane przez duże wartości rozbryzgu podczas krótkich, ale bardzo intensywnych opadów. Dobrym rozwiązaniem w tym zakresie, obarczonym jednak koniecznością dużych nakładów pracy, jest zastosowa-

Tabela 1. Wielkość rozbryzgu gleby na powierzchniach o różnym użytkowaniu w zlewni Chwalimskiego Potoku w latach 1994-96 i 2007-09 – sumy roczne

Table 1. Soil splash under various crops and black fallow in 1994-96 i 2007-09 – annual amount for plots, Chwalimski Potok catchment

Rok Year	Rozbryzg – Soil splash [kg m ⁻²]				
	Łąka Grass	Owies Oats	Żyto Rye	Ziemniaki Potatoes	Czarny ugor Black fallow
1994	0,01	2,39	3,10	3,49	4,68
1995	0,04	1,16	0,98	1,89	3,36
1996	0,06	0,49	0,51	0,88	2,51
2007	-	-	-	-	2,01
2008	-	-	-	-	2,75
2009	-	-	-	-	4,16
średnia:	0,04	1,35	1,53	2,09	3,25



Rys. 1. Zależność pomiędzy rozbryzgiem gleby i energią kinetyczną deszczu dla czarnego ugoru w okresach pomiarowych półroczy letnich 1994-96 i 2007-09 w zlewni Chwalimskiego Potoku

Fig. 1. Relationship between soil splash and kinetic energy of rainfalls on black fallow for measurement periods in summer half-years, 1994-96 and 2007-09, Chwalimski Potok catchment

nie cząstkowej analizy intensywności opadów, np. 10-minutowej, co dla stanowisk eksperymentalnych w Bogucinie zastosował J. Rejman (2006).

Poza cząstkami gleby, wskutek oddziaływania rozbryzgu, przenoszone są również na stoku i akumulowane w chwytaczach części organiczne – głównie szczątki roślinne. Ich udział w materiale transportowanym przez krople deszczu zależy od obecności i rodzaju szaty roślinnej na stoku. Oznacza to również stratę części energii deszczu na transport materii pozaglebowej. Największy udział w rozbryzgu części roślinnych (80-95%) występuje na łące, mniejszy (15-30%) w uprawach zbożowych i ziemniakach oraz znikomy (4-6%) na powierzchni czarnego ugoru.

Dla warunków zlewni Chwalimskiego Potoku obliczono również wielkość rozbryzgu gleby według formuły podanej przez J. Wainwrighta i in. (1995):

$$R = aKE^bS^c$$

gdzie:

R – rozbryzg [kg m^{-2}],

KE – jednostkowa energia kinetyczna deszczu [$\text{J m}^{-2}\text{mm}^{-1}$],

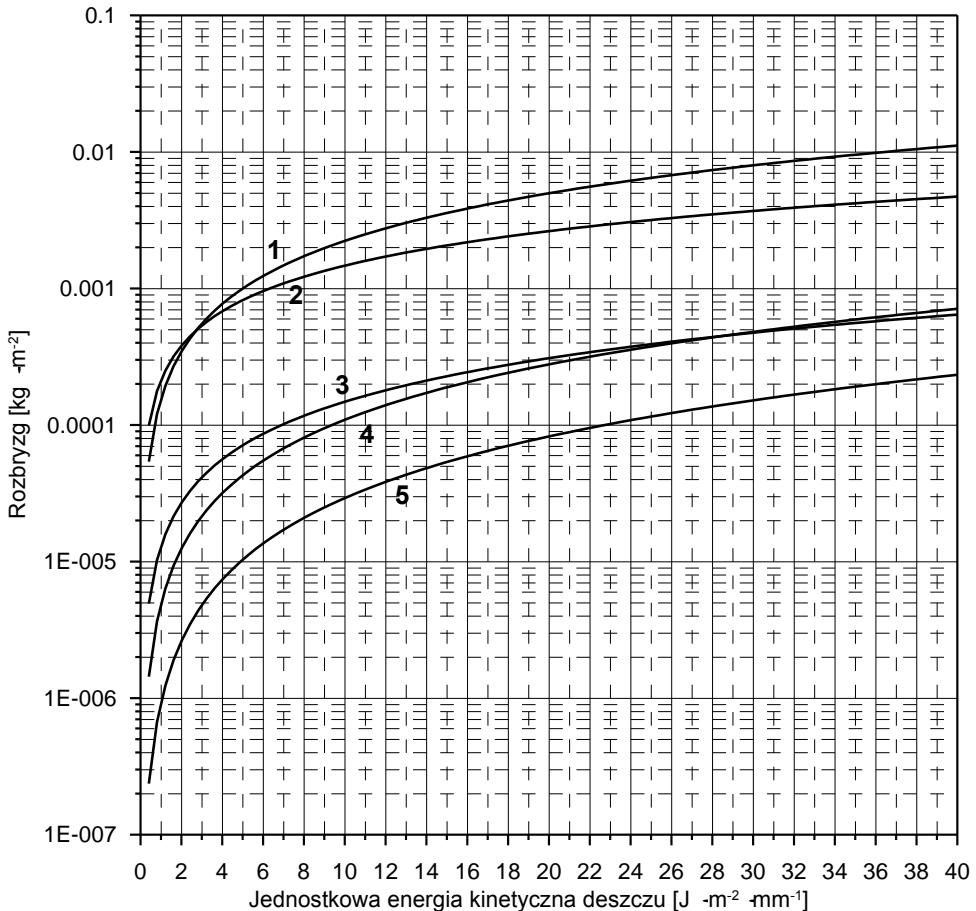
S – nachylenie stoku [m m^{-1}],

a, b, c – współczynniki empiryczne uzależnione od rodzaju (uziarnienia) materiału na powierzchni stoku.

Z przeprowadzonych obliczeń i wykreślonego na ich podstawie nomogramu wynika, że w zlewni Chwalimskiego Potoku, w warunkach odsłoniętej powierzchni gruntu na czarnym ugorze, dla materiału o średniej wielkości ziarna 0,25 mm, należy teoretycznie oczekiwać przemieszczania przez rozbryzg materiału w granicach 0,002-0,004 kg m^{-2} , przy średniej jednostkowej energii kinetycznej opadu 16,7 $\text{J m}^{-2}\text{mm}^{-1}$ (rys. 2).

Wielkości rozbryzgu uzyskane z modelu empirycznego zostały porównane z wynikami badań terenowych (tab. 2).

Wielkość rozbryzgu uzyskana podczas badań terenowych jest średnio większa niż górny zakres wartości uzyskanych za pomocą modelu. Jednak w kolejnych latach pomiarowych różnice kształtują się odmiennie. Dla roku 1994 i 2007 wystąpiły szczególnie duże rozbieżności, gdyż wartości uzyskane podczas badań znacznie wykroczyły poza spodziewany zakres. Główną przyczyną różnic są trudności precyzyjnego obliczenia jednostkowej energii kinetycznej opadu w kolejnych latach obserwacji. Podana wcześniej wartość jednostkowej energii kinetycznej opadów, obliczona wg formuły Browna i Fostera (1987), wynosząca średnio 0,167 $\text{MJ ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$, została wyznaczona na podstawie zapisów pluwiograficznych, których pozbawione są z reguły półrocza zimowe. Do weryfikacji modeli empirycznych byłoby wskazane ograniczenie się do letnich



Rys. 2. Nomogram do wyznaczania wielkości rozbrygu w zależności od energii kinetycznej deszczu i uziarnienia materiału glebowego dla warunków zlewni Chwalimskiego Potoku, opracowany na podstawie modelu empirycznego (Wainwright i in. 1985): 1 – piasek drobny (0,1-0,25 mm), 2 – piasek średni (0,25-0,5 mm), 3 – piasek gruby i bardzo gruby (0,5-2,0 mm), 4 – pył (poniżej 0,05 mm), 5 – żwir (powyżej 2,0 mm)

Fig. 2. Nomogram for calculating the soil splash depend on kinetic energy of rains and granulometry of soil in conditions Chwalimski Potok catchment, elaborated based on empirical model after Wainwright and al. (1985): 1 – fine sand (0,1-0,25 mm), 2 – medium-grained sand (0,25-0,5 mm), 3 – coarse and very coarse sand (0,5-2 mm), 4 – silt (<0,05 mm), 5 – gravel (>2 mm)

pomiarów rozbrygu gleby, zachodzącego podczas opadów o znanych natężeniach i czasach trwania.

Na podstawie zależności opracowanej przez J. Poesena i J. Savata (1981) można określić odległość na jaką przemieszczany jest w wyniku rozbrygu materiał w dół (Y) i w górę stoku (y). Model ten zakłada pionowy opad deszczu w warunkach bezwietrznych.

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

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

gdzie:

D_{50} – mediana średnicy ziarna [m],

a – kąt nachylenia stoku [°].

Tabela 2. Porównanie wartości rozbryzgu gleby na czarnym ugorze w latach 1994-06 i 2007-09 uzyskanych z modelu empirycznego (Wainwright i in.1985) oraz z badań terenowych (zlewnia Chwalimskiego Potoku)

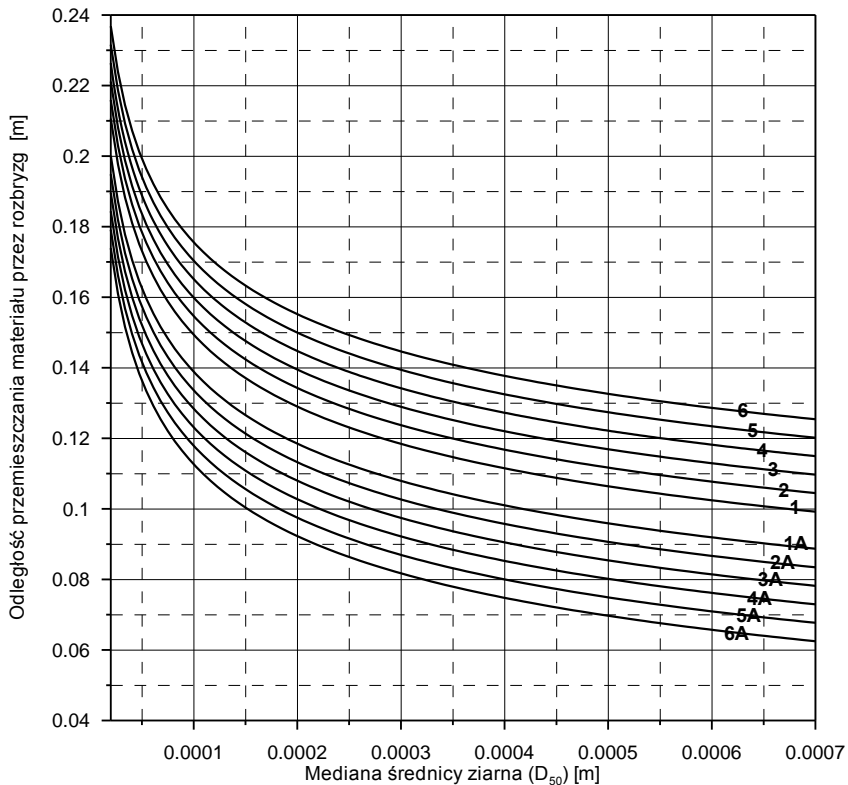
Table 2. Comparison measured and calculated (according to empirical model, Wainwright i in.1985) of soil splash values for black fallow in 1994-06 and 2007-09 (Chwalimski Potok catchment)

Rok Years	Rozbryzg gleby – <i>Soil splash</i> [kg m ⁻²]	
	Zakres z modelu empirycznego <i>Range of values from empirical model</i>	Wartości pomierzone <i>Measured values</i>
1994	1,27-2,27	4,68
1995	1,81-3,24	3,36
1996	1,57-2,81	2,51
2007	1,92-3,43	2,01
2008	1,46-2,62	2,75
2009	1,45-2,60	4,16
średnia	1,58-2,83	3,25

Różnica odległości pomiędzy przemieszczaniem w górę i w dół, dla określonego rodzaju osadów, zależy od nachylenia stoku. Jak wynika z nomogramu sporządzonego na podstawie modelu J. Poesena i J. Savata (1981) w zlewni Chwalimskiego Potoku przy średnim nachyleniu stoku 4°, rozbryzg przemieszcza materiał w dół stoku na przeciętną odległość 14 cm, natomiast w górę na niecałe 10 cm. Różnica odległości przemieszczania wynosi więc około 4 cm. Uzyskane z modelu odległości przemieszczania materiału, dla gleby wytworzonej z piasku gliniastego, w zlewni Chwalimskiego Potoku (średnio 12 cm) są dość duże w porównaniu z wartością średnią 7,5 cm podawaną przez W. Froehlich i J. Słupika (1980) oraz 9 cm przez J. Rejmana (2006). Konieczne byłyby bezpośrednie pomiary terenowe, które pozwoliłyby też ocenić, jaki jest wpływ skorup glebowych oraz obecności wody na stoku na odległość przemieszczania przez rozbryzg.

Równanie J. Poesena i J. Savata (1981) zostało zweryfikowane w zakresie uziarnienia od 0,02 do 0,7 mm i spadku stoku od 0 do 20°. Obliczona według tej zależności różnica w przemieszczaniu gleby w dół i w górę zbocza radliny w uprawie ziemniaków, przy przyjęciu granicznego nachylenia 20°, wynosi 21

cm (22 cm w dół i 1 cm w górę). Wynik ten potwierdza ważną rolę rozbryzgu w przemieszczaniu gleby w uprawie ziemniaków z grzbietów do den radlin.



Rys. 3. Nomogram do wyznaczania odległości przemieszczenia w wyniku rozbryzgu w dół (1-6) i w górę stoku (1A-6A) w zależności od nachylenia zbocza 1-6° dla warunków zlewni Chwalimskiego Potoku, opracowany na podstawie modelu empirycznego (Poesen, Savat 1981)

Fig. 3. Nomogram for calculate displacement by splash in down-slope (1-6) and up-slope (1A-6A) at inclination 1-6° for Chwalimski Potok catchment conditions, based on J. Poeson and J. Savat's empirical model (1981)

WNIOSKI

Badania terenowe w zlewni Chwalimskiego Potoku (górna Parsęta), przeprowadzone w latach 1994-06 i 2007-09, pozwalają na określenie uwarunkowań i wielkości rozbryzgu gleby charakterystycznych dla niżowej części Polski, o rzeźbie młodogłajalnej.

Analiza warunków pogodowych wykazała, iż opady deszczu odznaczają się stosunkowo niską energią kinetyczną (średnia wielkość jednostkowej energii

kinetycznej dla okresów bezśnieżnych lat obserwacji wynosi zaledwie $0,167 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$). Pokrywa śnieżna, eliminująca erozyjne oddziaływanie rozbryzgu na glebę, występowała średnio przez 53 dni w roku, przy dużej zmienności w kolejnych latach obserwacji (od 24 dni w roku 2007 do 108 w roku 1996). Czas oddziaływania rozbryzgu na glebę ograniczało również przemarznięcie gruntu (średnio 70 dni w roku), nie zawsze połączone z występowaniem pokrywy śnieżnej. Pod tym względem zróżnicowanie okresu obserwacyjnego było również bardzo duże: od 19 dni w roku 2007 do 144 dni w roku 1996.

Główną przyczyną zróżnicowania wielkości rozbryzgu gleby jest obecność, rodzaj i aktualny stan szaty roślinnej na stokach. Największa wartość rozbryzgu gleby występowała w każdym roku obserwacji na czarnym ugorze (średnio $3,25 \text{ kg m}^{-2}$) a następnie w uprawie ziemniaków ($2,09 \text{ kg m}^{-2}$). Na powierzchniach testowych z uprawami zbóż rozbryzg osiągał średnie roczne wartości $1,35 \text{ kg m}^{-2}$ dla owsa i $1,53 \text{ kg m}^{-2}$ dla żyta. Niewielka różnica świadczy, że rola ozimin w półroczach zimowych, wobec niewielkiego rozbryzgu gleby w tych okresach, nie ma większego znaczenia w ograniczaniu rozmiarów procesu. Uzyskiwane wielkości rozbryzgu na łące są niskie ($0,04 \text{ kg m}^{-2}$) i przy małej precyzji metody pomiarowej można te wartości uznać za błędy pomiarowe.

Porównanie wielkości rozbryzgu gleby z pomiarów terenowych, z wartościami obliczonymi na podstawie modelu empirycznego, wymagałoby danych o wielkości energii kinetycznej deszczu również z półrocza zimowego. Innym rozwiązaniem byłoby przeprowadzenie serii pomiarowej rozbryzgu ograniczone do półrocza letniego, z częstością ujmującą pojedyncze zdarzenia opadowe.

Literatura

- Al.-Durrar M.M., Brandford J.M., 1982, The mechanism of Raindrop Splash on Soil Surfaces, *Soil Sci. Soc. AM. J.* 46, 1086–1090.
- Bac S., 1982, Klimatyczne podstawy bilansów wodnych Polski, [w:] S. Bac (red.), *Agroklimatyczne podstawy melioracji wodnych w Polsce*, 76–147.
- Brański J., 1968, Oznaczanie ilości unosin metodą wagową bezpośrednią przy użyciu sączków, *Prace PIHM* 94, 13–21.
- Brown L.C., Foster G.R., 1987, Storm erosivity using idealized intensity distribution, *Trans. ASAE*, 30, 379–386.
- Farres P., Muchena J., 1996, Spatial patterns of soil crusting and their relationship to crop cover, *Catena* 26, 247–260.
- Froehlich W., 1986, Influence of the slope gradient and supply area on splash scope of the problem, *Z. Geomorph. N.F., Suppl.-Bd.* 60, 105–114.
- Froehlich W., Słupik J., 1980, Importance of splash in erosion process within a small flysh catchment basin, *St. Geomorph. Carpato-Balcanica* 14, 77–112.
- Koćmit, A., 1998, Charakterystyka zmian w morfologii i właściwościach gleb uprawnych spowodowanych erozją wodną w obszarach młodogłacialnych Pomorza, *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 460, 531–557.

- Kostrzewski A., 2001, Stan badań erozji wodnej gleb na Pomorzu Zachodnim, *Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis* 217, *Agricultura* 87, 117–124.
- Kuś J., Nawrocki S., 1998, Współczesne rozwiązania w agrotechnice przeciwerozyjnej, *Bibliotheca Fragmenta Agronomica* 4B/98, 273–238.
- Marcinek, J., 1998, Zróżnicowanie gleb zlewni Parsęty w aspekcie erozji powierzchniowej, [w:] A. Kostrzewski (red.), *Funkcjonowanie geosystemów zlewni rzecznych I. Środowisko przyrodnicze dorzecza Parsęty, stan badań, zagospodarowanie, ochrona*, Bogucki Wyd. Nauk, Poznań, 167–175.
- Marcinek, J., Komisarek, J., 1998, Badania gleboznawcze nad zróżnicowaniem pokrywy glebowej w obrębie powierzchni testowej ZMŚP w Storkowie, [w:] A. Kostrzewski (red.), *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie i tendencje rozwoju geosystemów Polski, IX Sympozjum ZMŚP*, Bibl. Monit. Środ., Warszawa, 31–50.
- Parsons A.J., Abrahams A.D., Wainwright J., 1994, Rainsplash and erosion rates in an interrill area on semi-arid grassland, Southern Arizona, *Catena* 22, 215–226.
- Poesen J., Savat J., 1981, Detachment and transportation of loose sediment by raindrop splash. Part 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 II. Theoretical approach, *Catena Supplement* 12, 1–137.
- Rejman J., 2006, *Wpływ erozji wodnej i uprawowej na przekształcanie gleb i stoków lessowych*, Acta Agrophysica, 136, Rozprawy i Monografie 2006 (3), Lublin, 90 s.
- Sharma P.P., Gupta S.C., Rawls W.J., 1991, Soil detachment by single raindrops of varying kinetic energy, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55, 2, 301–307.
- Szpikowski J., 1998, Wielkość i mechanizm erozji wodnej gleb na stokach użytkowanych rolniczo w zlewni młodoglacjalnej (górna Parsęta, Chwalimski Potok), *Bibliotheca Fragmenta Agronomica* 4B/98, 113–124.
- Trimble S.W., 1988, The impact of organisms on overall erosion rates within catchments in temperate regions, [w:] H. Viles (red.), *Biogeomorphology*, 83–142.
- 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.