

WPLYW GŁĘBOKOŚCI WARSTWY WODY NA ZDOLNOŚĆ ODRYWANIA CZĄSTEK GLEBY LESSOWEJ PRZEZ KROPLE DESZCZU

Ryszard Brodowski

Institut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin
e-mail: r.brodowski@ipan.lublin.pl

Streszczenie. Doświadczenie z użyciem symulatora deszczu prowadzono na glebie płowej wytworzonej z lessu. Zbadano zdolność odrywania cząstek glebowych przez krople opadu przy trzech intensywnościach (17,7, 32,5 i 66,4 mm·h⁻¹) w zależności od głębokości wody stagnującej na powierzchni gleby. Wraz ze wzrostem intensywności opadu zwiększała się krytyczna głębokość wody h_0 , która wyniosła odpowiednio 5,3, 6,5 oraz 7,7 mm. Do krytycznej wartości h_0 przyrost masy zawiesiny glebowej był stały, zaś po jej przekroczeniu gwałtownie zanikał. Obliczona wartość podatności na odrywanie cząstek badanej gleby lessowej przez krople deszczu wyniosła 0,439 g·mm⁻¹.

Słowa kluczowe: erozja rozbryzgowa, rozbryzg gleby, spływ powierzchniowy, gleba lessowa

WSTĘP

Erozja rozbryzgowa, obok spłukiwania powierzchniowego, stanowi główny element erozji wodnej powierzchniowej. Uderzające o powierzchnię gleby krople deszczu mają zdolność odrywania i odrzucania cząstek glebowych, niszczą strukturę oraz zmniejszają przepuszczalność gleby przez rozbijanie agregatów glebowych i zamulanie powierzchni gleby. Wspomniane niekorzystne procesy mają miejsce zarówno na terenach płaskich, jak i na nachylonych stokach, na których dodatkowo tworzy się spływ powierzchniowy potęgujący procesy erozyjne. Do czynników osłabiających destrukcyjne działanie kropli deszczu na powierzchni gleby zalicza się roślinność oraz stagnującą lub płynącą wodę (Szewrański 2005). Z tego względu w modelowaniu erozji wodnej gleby uwzględnia się stopień pokrycia powierzchni gleby przez roślinność (zmieniający się w czasie całego okresu wegetacji), a także głębokość wody zależną od intensywności deszczu, infiltracji oraz ukształtowania terenu (Hillel 1998, Kinnell 2004).

Funkcyjnie tempo odrywania cząstek glebowych przez krople deszczu, czyli tzw. szybkość erozji (e , $\text{g}\cdot\text{h}^{-1}$), może być związana z podatnością danej gleby na odrywanie jej cząstek (a , $\text{g}\cdot\text{mm}^{-1}$) i intensywnością deszczu (i , $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$) następującym równaniem (Rose i in. 1994):

$$e = ai^p \quad (1)$$

gdzie: p – dodatnia stała, której wartość zwykle przyjmuje się 1.

Z danych literaturowych wynika, że podatność na odrywanie cząstek glebowych a przez krople deszczu jest stała, kiedy głębokość h stagnującej lub płynącej wody jest mniejsza od głębokości krytycznej h_0 , po przekroczeniu której następuje osłabienie erozyjnego działania kropli deszczu (Bin Gao i in. 2003, Hairsine i Rose 1991, Moss i Green 1983, Proffitt i in. 1991):

$$\begin{aligned} a &= a_0 & \text{dla} & \quad h \leq h_0 \\ a &= a_0(h_0/h)^b & \text{dla} & \quad h > h_0 \end{aligned} \quad (2)$$

$$h = it$$

gdzie: b – dodatnia stała, t – czas opadu.

Niniejsze badania z symulatorem opadów deszczu miały na celu określenie wpływu głębokości stagnującej wody, będącej także przybliżeniem lub modelem spływu powierzchniowego, na zdolność odrywania przez krople deszczu cząstek gleby lessowej w pełni nasyconej wodą.

MATERIAŁ I METODY

Badania prowadzono na materiale glebowym pobranym z warstwy ornej gleby płowej wytworzonej z lessu o składzie granulometrycznym pyłu gliniastego (tab. 1).

Do badań użyto pojemnika wykonanego z przezroczystej pleksi o grubości 0,5 cm, kwadratowej podstawie 7,4 x 7,4 cm i wysokości 18 cm (rys. 1). U jego podstawy znajdowały się 2 otwory (0,5 x 7,4 cm) zasłonięte drobną siatką metalową (o średnicy oczek 0,1 mm). Glebą powietrznie suchą, po przesianiu przez sito o średnicy oczek 1 mm, napełniano pojemnik do wysokości 3 cm, starając się uzyskać wyrównaną i poziomą powierzchnię. Następnie nawilżano badaną glebę podsiąkiem przez umieszczenie pojemnika w większym naczyniu z niewielką ilością wody destylowanej. Po 1 godzinie do większego naczynia kilkakrotnie dolewano niewielkie ilości wody, aby wyrównać poziom wody z poziomem gleby. Naczynie z wyrównanym poziomem wody i pojemnikiem z materiałem glebowym nasyconym wodą deszczowano przy 3 intensywnościach: 17,7, 32,5

i $66,4 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$. W celu określenia masy odrywanych cząstek glebowych przez krople deszczu, w trakcie deszczowań przy każdej intensywności opadu pobierano próbkę wody ($0,250 \text{ cm}^3$) zawierającą zawiesinę glebową. Dokonywano tego za pomocą pipety automatycznej z centralnej części pojemnika. Odstęp pomiędzy kolejnymi poborami próbek uzależnione były od intensywności opadu.

Tabela 1. Niektóre właściwości badanej gleby
Table 1. Some properties of the investigated soil

% frakcji o średnicy (mm) – % of fraction of diameter (mm)						Próchnica Humus ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	pH KCl
1-0,1	0,1-0,05	0,05-0,02	0,02-0,005	0,005-0,002	<0,002		
0,9	16,1	47,0	23,0	6,0	7,0	16,7	4,5



Rys. 1. Pojemnik z badaną glebą i naczynie zewnętrzne z wodą

Fig. 1. The container with testing soil and outsider vessel with water

Przy intensywności $17,7 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ pierwszą próbkę pobrano w 6-tej minucie opadu (głębokość wody $1,72 \text{ mm}$), zaś każdą kolejną w odstępach 3 minutowych, co odpowiadało przyrostowi warstwy wody o $0,87 \text{ mm}$. Deszczowanie przy tej intensywności zakończono po uzyskaniu warstwy wody o grubości $15,0 \text{ mm}$ (51 minut opadu). Z kolei przy intensywności $32,5 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ pierwszą próbkę pobrano w 4-tej minucie opadu (głębokość wody $2,12 \text{ mm}$), natomiast każdą kolejną w odstępach 2 minutowych, co odpowiadało przyrostowi warstwy wody o $1,08 \text{ mm}$. Deszczowanie przy tej intensywności zakończono po uzyskaniu warstwy wody o grubości $18,4 \text{ mm}$ (34 minuty opadu). Przy intensywności $66,4 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ poboru pierwszej próbki dokonano w 2-giej minucie opadu (głębokość wody $2,11 \text{ mm}$), zaś każdą kolejną w odstępach 1 minutowych, co odpowiadało przyrostowi warstwy wody o $1,1 \text{ mm}$. Deszczowanie to zakończono po uzyskaniu warstwy wody o głębokości $33,2 \text{ mm}$ (30 minut opadu).

Przy każdej intensywności opadu wykonano 3 powtórzenia, z których próbki pobrane w tych samych czasach trwania opadu łączono w celu zważenia i uśrednienia odspojonego materiału glebowego (dokładność ważenia $\pm 0,0001 \text{ g}$).

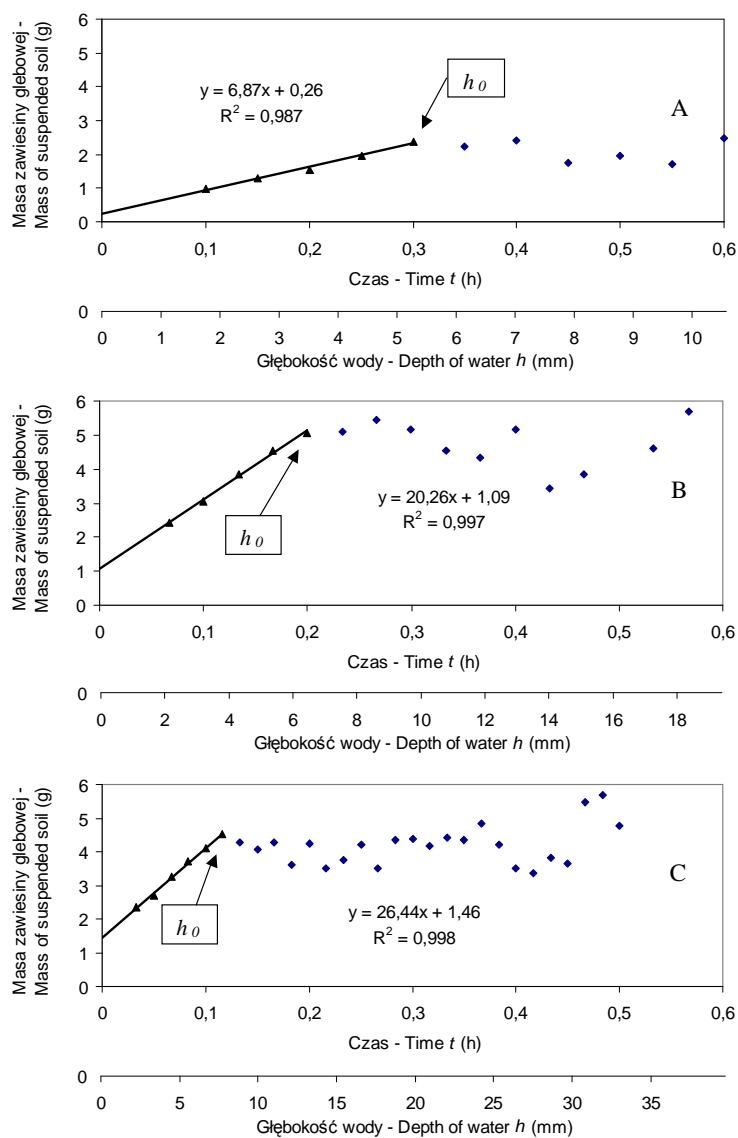
WYNIKI I DYSKUSJA

Uzyskane wyniki pomiarów masy zawiesiny glebowej przy trzech analizowanych intensywnościach opadu przedstawiono na rysunku 2. Dodatkowe osie odciętych reprezentują zwiększającą się głębokość warstwy wody w czasie deszczowania. Na wykresach tych zaobserwować można dwie odmienne fazy. W pierwszej następuje jednostajny (liniowy) wzrost masy zawiesiny glebowej, a następnie w drugiej zahamowanie przyrostu masy zawiesiny cząstek glebowych.

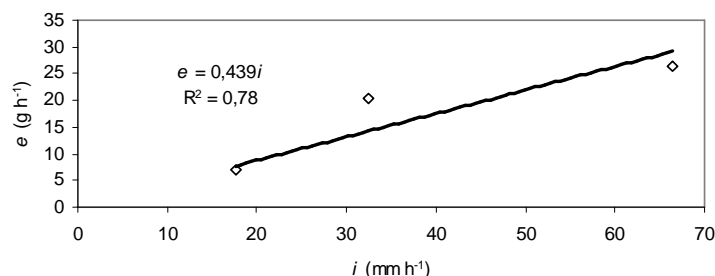
Dane te potwierdzają wyniki innych autorów, że do pewnej grubości warstwy wody (h_0) podatność na odrywanie cząstek glebowych jest stała (stały przyrost), a po jej przekroczeniu gwałtownie zanika do wartości zerowej (brak przyrostu) (Bin Gao i in. 2003). Otrzymane krytyczne głębokości h_0 dla intensywności opadów 17,7, 32,5 i 66,4 mm·h⁻¹ wyniosły odpowiednio 5,3, 6,5 i 7,7 mm. W prezentowanej pracy w przeciwieństwie do innych autorów przebieg zmian masy zawiesiny glebowej podbudowany jest stałą wartością, którą określa wyraz wolny w równaniach prostych (rys. 2) (Bin Gao i in. 2003). Dla zwiększających się intensywności deszczu wartości podbudowy wyniosły odpowiednio: 0,26, 1,09 i 1,46 g. Wyjaśnienia tego można doszukiwać się w pierwszych sekundach rozpoczętych deszczowań. Wtedy to pierwsze krople deszczu uderzają bezpośrednio o powierzchnię gleby i mogą z większą łatwością odpajać pewną ilość cząstek glebowych, które w dalszej części deszczowania stanowią wspomnianą dodatkową masę zawiesiny glebowej.

Obliczenie szybkości odrywania cząstek glebowych przez krople deszczu (e , g·h⁻¹) dla poszczególnych intensywności symulowanego opadu polegało na określeniu tangensa nachylenia prostych zaznaczonych na rysunku 2 (ponieważ $dM/dt = e$, gdzie M jest masą zawiesiny glebowej). Odpowiednio dla intensywności opadów 17,7, 32,5 i 66,4 mm·h⁻¹ otrzymano następujące wartości szybkości erozji (e): 6,87, 20,26 i 26,44 g·h⁻¹. Następnie wykreślając szybkość erozji (e) w funkcji intensywności opadu (i) za pomocą równania (1) wyznaczona została podatność badanej gleby lessowej (a) na odrywanie cząstek przez krople deszczu, która wyniosła 0,439 g·mm⁻¹ (rys. 3).

Z przeprowadzonych wcześniej badań poletkowych oraz laboratoryjnych wynika, że użyta w doświadczeniu gleba jest podatna na erozję rozbryzgową, spłukiwanie i erozję żłobinową (Brodowski 2009, Brodowski i Rejman 2003, Rejman i Brodowski 2005). Określenie w niniejszej pracy wpływu głębokości wody stagnującej na powierzchni gleby na podatność na odrywanie cząstek glebowych przez krople deszczu może być uzupełnieniem prowadzonych doświadczeń polowych.



Rys. 2. Zależność pomiędzy masą zawiesiny glebowej a zwiększającą się głębokością warstwy wody stagnującej h przy intensywnościach opadu: A – 17,7, B – 32,5 i C – 66,4 mm h⁻¹.
Fig. 2. Relationship between the mass of suspended soil and increasing ponding depth h under rainfall intensity: A – 17.7, B – 32.5 and C – 66.4 mm h⁻¹.



Rys. 3. Szybkość erozji e w funkcji intensywności deszczu i dla gleby płowej wytworzonej z lessu całkowicie nasyconej wodą

Fig. 3. Erosion rate e , vs. rainfall rate i , for the saturated silt loam soil developed from loess

WNIOSKI

1. Przy zastosowanych w doświadczeniu intensywnościach symulowanych opadów otrzymane krytyczne głębokości wody h_0 mieściły się w przedziale od 5,3 do 7,7 mm.

2. Obliczona szybkość erozji e wzrastała wraz ze zwiększeniem intensywności opadu, przyjmując maksymalnie wartość $26,44 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$, zaś podatność na odrywanie cząstek badanej gleby lessowej a przez krople symulowanego deszczu wyniosła $0,439 \text{ g}\cdot\text{mm}^{-1}$.

3. Przebieg zmian masy zawiesiny glebowej podbudowany jest stałą wartością, która pochodzić może z pierwszych sekund rozpoczętego opadu. W tej fazie deszczowania pierwsze krople deszczu uderzały bezpośrednio w powierzchnię gleby łatwiej odpajając pewną ilość cząstek glebowych.

PIŚMIENNICTWO

- Bin Gao, Walter M.T., Steenhuis T.S., Parlange J.-Y., Nakano K., Rose C.W., Hogarth W.L., 2003. Investigating ponding depth and soil detachability for a mechanistic erosion model using a simple experiment. *Journal of Hydrology*, 277, 116-124.
- Brodowski R., 2009. Wpływ wilgotności i gęstości gleby lessowej na powierzchniową erozję wodną. *Acta Agrophysica*, 14(3), 567-576.
- Brodowski R., Rejman J., 2003. Rozwój i charakterystyka żłobin powstałych w obrębie poletek erozyjnych. *Acta Agrophysica*, 2(4), 725-733.
- Hairsine P.B., Rose C.W., 1991. Rainfall detachment and deposition: sediment transport in the absence of flow-driven processes. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55(2), 320-324.
- Hillel D., 1998. *Environmental soil physics*. Academic Press, London.
- Kinnell P.I.A., 2004. Raindrop impact induced erosion processes and prediction: a review. *Hydrol. Processes*, 19(14), 2815-2844.

- Moss A.J., Green P., 1983. Movement of solids in air and water by raindrop impact – effects of drop-size and water-depth variations. *Aust. J. Soil Res.*, 21(3), 257-269.
- Proffitt A.P.B., Rose C.W., Hairsine P.B., 1991. Rainfall detachment and deposition: experiments with low slopes and significant water depths. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55, 325-332.
- Rejman J., Brodowski R., 2005. Rill characteristics and sediment transport as a function of slope length during a storm event on loess soil. *Earth Surface Processes and Landforms*, 30, 231-239.
- Rose C.W., Hogarth W.L., Sander G., Lisle I., Hairsine P., Parlange J.-Y., 1994. Modeling processes of soil erosion by water. *Trends Hydrol.*, 1, 443-451.
- Szewrański Sz., 2005. Wstępna ocena natężenia erozji rozbrzygowej na glebie lessowej. *Acta Agrophysica*, 5(1), 167-178.

THE INFLUENCE OF WATER LAYER DEPTH ON THE LOESS SOIL DETACHABILITY BY RAINFALL

Ryszard Brodowski

Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences
ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin
e-mail: r.brodowski@ipan.lublin.pl

Abstract. The experiment using rainfall simulator on the silt loam soil was conducted. The soil detachability by rainfall under three intensities (17.7, 32.5 and 66.4 mm h⁻¹) depending on ponding depth was studied. Critical depth of water h_0 increased to values 5.3, 6.5 and 7.7 mm with increasing rainfall intensity respectively. Increase of mass of suspended soil was constant to critical value h_0 , while after crossing h_0 was on the declined suddenly. Calculated value of loess soil detachability by rainfall amount to 0.439 g mm⁻¹.

Key words: splash erosion, soil splash, runoff, loess soil