

## ROZWÓJ I CHARAKTERYSTYKA ŻŁOBIN POWSTAŁYCH W OBRĘBIE POLETEK EROZYJNYCH

*Ryszard Brodowski, Jerzy Rejman*

Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, Doświadczalna 4, 20-290 Lublin  
e-mail: ryszardb@demeter.ipan.lublin.pl

**Streszczenie.** W badaniach przeprowadzonych na glebie płowej wytworzonej z lessu scharakteryzowano żłobiny erozyjne powstałe w obrębie poletek o zróżnicowanej długości. Przeprowadzona analiza wykazała, że parametry żłobin wyrażone w jednostce długości nie różniły się znacząco w zależności od wielkości poletka. Generalnie przeważały żłobiny z szerokością przekroju większą od głębokości. Na poletkach zaobserwowano powtarzające się okresy wzrostu i spadku pola powierzchni przekroju żłobin, wskazujące na wystąpienie sedymentacji materiału glebowego w obrębie poletek. Sedymentację potwierdza analiza materiału zebranego w instalacjach zbierających z poletek. Otrzymane wyniki wskazują, że badana gleba jest w wysokim stopniu podatna na erozję liniową.

**Słowa kluczowe:** erozja wodna, żłobiny erozyjne, gleba lessowa

### WSTĘP

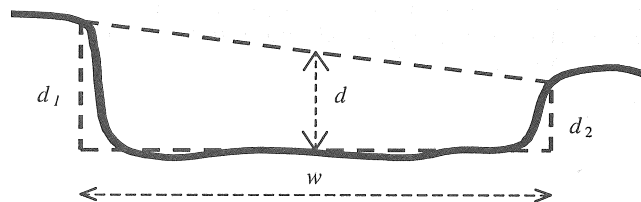
Erozja żłobinowa jest najczęściej występującą formą erozji liniowej. W porównaniu do znacznie częściej spotykanej erozji powierzchniowej, erozję żłobinową charakteryzuje inny mechanizm procesu. Skoncentrowany spływ powierzchniowy pełni tu nie tylko rolę czynnika przenoszącego materiał glebowy, ale i sam powoduje odrywanie materiału glebowego dzięki swemu turbulencyjnemu charakterowi przepływu [4,6,9]. W efekcie ilość materiału przenieszonego na skutek erozji żłobinowej jest znacznie większa aniżeli w przypadku erozji powierzchniowej (między-żłobinowej). Głębsza warstwa wody w żłobinach oraz większa jej prędkość sprawia, że materiał glebowy jest przenoszony na większe odległości [2].

Celem przeprowadzonych badań było scharakteryzowanie żłobin powstałych na poletkach erozyjnych oraz porównanie ilości materiału glebowego obliczonego na podstawie objętości żłobin i zebranego w instalacjach zbierających.

## MATERIAŁ I METODY

Badania przeprowadzono na glebie płowej słabo zerodowanej wytworzonej z lessu (Płaskowyż Nałęczowski) w obrębie stoku o wystawie północnej i nachyleniu 12%. Gleba charakteryzowała się zawartością 1% piasku, 88% pyłu, 11% ilu koloidalnego, substancja organiczna stanowiła 1,8%, a pH w KCl – 5,3. W obrębie stoku założono poletka erozyjne o długości 2,5, 5, 10 i 20 m oraz szerokości 3 m, które utrzymywano w czarnym ugorze. Poletka zostały wydzielone od pozostałej części pola i oddzielone od siebie przegrodami plastikowymi w celu identyfikacji powierzchni zbiorczej spływu powierzchniowego. W dolnej części poletek umieszczono instalacje zbierające spływ powierzchniowy oraz glebę.

Żłobiny powstały w wyniku 3 opadów w dniach od 26 do 28 lipca 1999 roku, których łączna suma wynosiła 84,7 mm (8,7; 55,9; 20,1), zaś maksymalna intensywność nie przekraczała  $26 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ . Na poletkach przeprowadzono pomiar szerokości ( $w$ ) i głębokości ( $d_1$ ,  $d_2$ ) żłobin w poprzecznych względem spadku poziomach (tzw. transektach) odległych od siebie o 20 cm. Analizowano żłobiny, których głębokość przekraczała 0,5 cm, a szerokość 1 cm. Przyjęty do obliczeń kształt przekroju żłobin przedstawiono na rysunku 1.



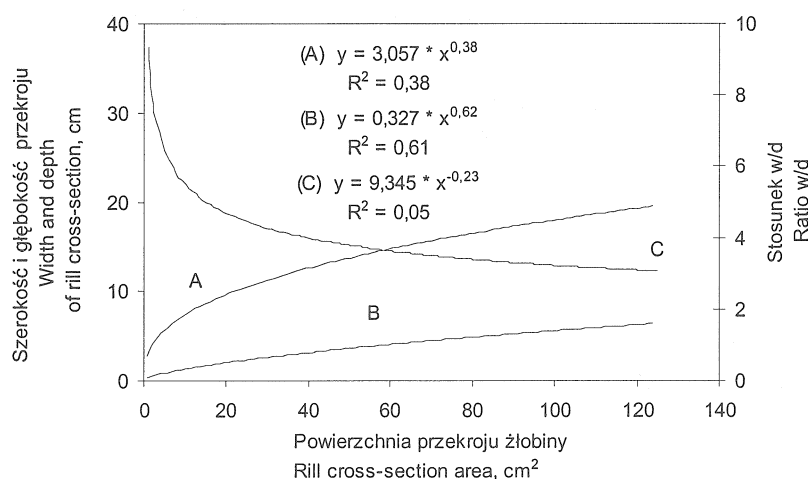
Rys. 1. Przekrój poprzeczny żłobin użyty do obliczeń  
Fig. 1. Rill cross section area used in the calculations

Na podstawie pomiarów wyliczono powierzchnię przekrojów żłobin ( $S = w \cdot (d_1 + d_2) / 2 = w \cdot d$ ) i zakładając, że przekrój żłobin nie ulega istotnej zmianie na długości 20 cm, wyznaczono ich objętość. Na podstawie objętości żłobin oraz średniej gęstości objętościowej gleby, zmierzonej przed okresem wystąpienia opadów ( $1,2 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ), obliczono ilość gleby wyniesionej z poletek w wyniku erozji żłobinowej. Dzięki zdjęciom fotograficznym sieci żłobin określono żłobiny mające połączenie z instalacjami zbierającymi. Obliczoną w ten sposób ilość wyerodowanej gleby porównano z ilością gleby zebraną w instalacjach zbierających.

## WYNIKI

## Charakterystyka i rozwój żłobin

Na wszystkich poletkach erozyjnych przeprowadzono około 1700 pomiarów przekrojów żłobin. Średnia ilość żłobin na 1 m szerokości poletka (gęstość żłobin) wynosiła od 2 do 4,3. Maksymalna szerokość żłobin dochodziła do 48 cm, zaś głębokość do 11,8 cm. Do wyznaczenia linii trendu dla punktów pomiarowych szerokości ( $w$ ) i głębokości ( $d$ ) żłobiny użyto funkcji potęgowej (rys. 2).



Rys. 2. Aproxymowana szerokość (A) i głębokość (B) żłobiny oraz stosunek  $w/d$  w funkcji powierzchni przekroju żłobiny (C)

Fig. 2. Approximated rill width (A) and depth (B) and  $w/d$  ratio in the function of rill cross-section area (C)

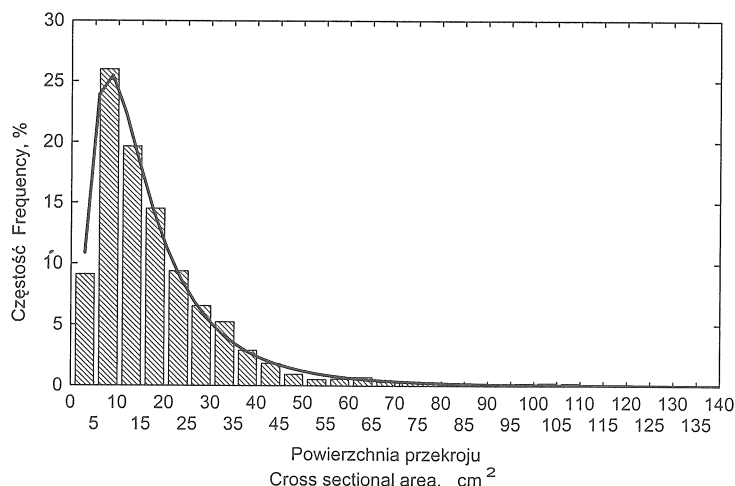
Na wszystkich poletkach znacząco przeważały żłobiny z szerokością przekroju większą od głębokości. Przekroje, dla których stosunek  $w/d$  był mniejszy od jedności stanowiły zaledwie 1,1, 3,2, 2,5 i 0,5%, odpowiednio dla poletek o długości 2,5, 5, 10 i 20 m

Całkowita powierzchnia przekrojów żłobin wzrastała wraz z długością poletka doświadczalnego, jednak po przeliczeniu na jednostkę szerokości poletka wynosiła 37,4, 52,1, 51,0, 57,7  $\text{cm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$  odpowiednio dla poletek o długości 2,5, 5, 10 i 20 m. Liczbę oraz całkowitą powierzchnię przekrojów przedstawiono w tabeli 1.

Dla poszczególnych poletek, jak również wszystkich łącznie, częstość występowania zmierzonych powierzchni przekrojów żłobin była zbliżona do rozkładu lognormalnego (rys. 3). Odnosząc się do przekrojów ze wszystkich poletek łącznie wartość  $\chi^2_{zred.}$  wyniosła 1,29 przy liczbie stopni swobody  $d = 14$ . Przewidywany rozkład lognormalny przyjęć można za zgodny z doświadczeniem na poziomie istotności  $p = 0,20$ . Mediana powierzchni przekrojów ze wszystkich poletek łącznie wynosiła  $13,6 \text{ cm}^2$  (dla danych przetworzonych logarytmicznie odchylenie standardowe  $\sigma = 0,748$ ), natomiast z poszczególnych poletek mediana wynosiła 14,4, 12,0, 14,4 i  $13,5 \text{ cm}^2$  odpowiednio dla poletek o długości 2,5, 5, 10 i 20 m. Maksymalne powierzchnie pojedynczych przekrojów dochodziły do  $124 \text{ cm}^2$ , a 68% (pojedynczy promień  $\sigma$ ) wszystkich zmierzonych przekrojów mieściło się w zakresie od 6 do  $29 \text{ cm}^2$  (rys. 3).

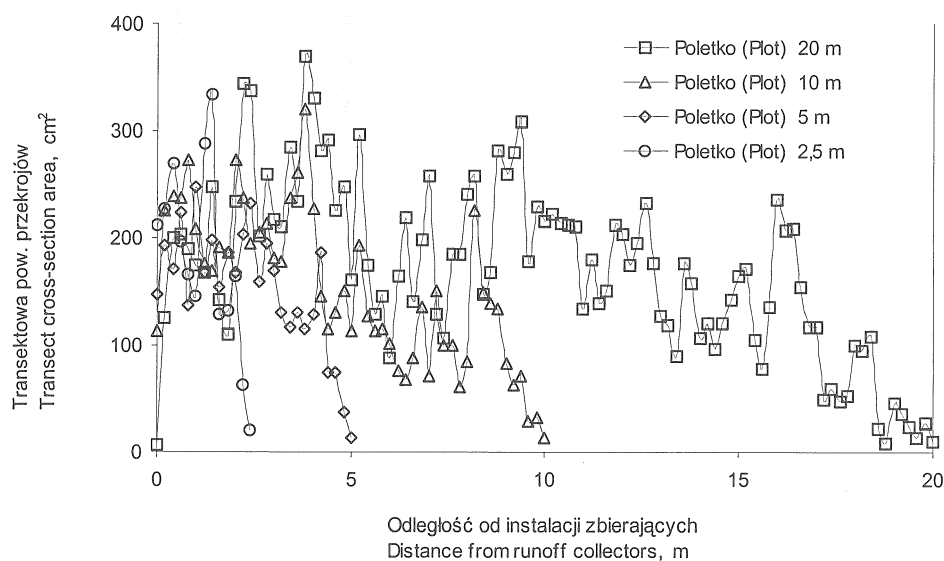
**Tabela 1.** Liczba oraz całkowita powierzchnia przekrojów żłobin na poletkach o zróżnicowanej długości  
**Table 1.** Number and total cross-area of rills

Parametr Parameter	Długość poletka Plot length (m)			
	2,5	5	10	20
Liczba przekrojów żłobin Rill cross-area number	93	252	406	947
Całkowita powierzchnia przekrojów Total rill cross-area ( $\text{m}^2$ )	0,146	0,391	0,765	1,732



**Rys. 3.** Rozkład powierzchni przekrojów wszystkich analizowanych żłobin  
**Fig. 3.** Distribution of rill cross-section areas for all transects measured

Przeprowadzone pomiary wykazały, że żłobiny rozpoczynały się bezpośrednio od górnej krawędzi poletek. Analizując zmiany transektowej powierzchni przekrojów żłobin stwierdzono występowanie okresów o długości od 1 do 7 m, w których następował jej wzrost lub spadek (rys. 4).



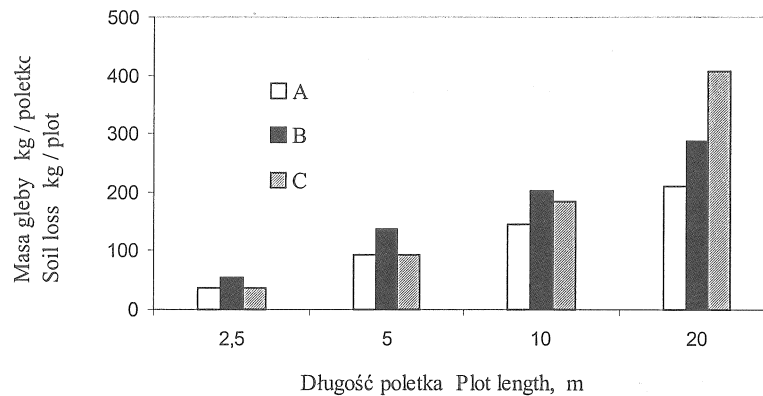
Rys. 4. Rozwój powierzchni przekrojów żłobin

Fig. 4. Rill cross-area development

#### Ilość gleby wyerodowanej

Masa gleby obliczona na podstawie objętości żłobin dochodzących do instalacji zbierających wynosiła 35, 94, 145 i 211 kg, co stanowiło 66, 68, 72 i 73% masy gleby przeniesionej do instalacji zbierających odpowiednio na poletkach o długości 2,5, 5, 10 i 20 m (rys. 5). W odniesieniu do wszystkich żłobin z danego poletka te same wielkości przybrały następujące wartości: 35, 94, 184 i 406 kg, co stanowiło 66, 68, 92 i 141%.

Analizując masę gleby zebraną w instalacjach zbierających, zmyw gleby przeliczony na jednostkę powierzchni był największy na poletku o długości 5 m i wyniósł  $9,21 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ . Efektywna odległość przemieszczenia gleby wyliczona według metodyki [7] tj., na podstawie zmywu gleby pochodzącego z poszczególnych poletek i maksymalnego zmywu jednostkowego wyniosła 8,84 m ze współczynnikiem zmienności równym 25,1%.



**Rys. 5.** Masa wyerodowanej gleby obliczona na podstawie gęstości gleby i objętości żłobin dochodzących do instalacji zbierających (A), zebrana w instalacjach poletek (B) oraz wszystkich żłobin łącznie (C)

**Fig. 5.** Soil loss calculated on the basis of soil bulk density and a contributing rill volume (A), collected in plot installations (B) and all rills (C)

#### DYSKUSJA

W badaniach erozji żłobinowej niezmiernie ważne są zmiany, jakim podlegają żłobiny w czasie trwania opadu – ich ewolucja w powierzchniowej warstwie gleby. Taki obraz rozwoju przekroju żłobiny uzyskać można z końcowej sieci żłobin. Można założyć, że zmierzone końcowe wielkości przekrojów stanowią różne etapy wzrostu powierzchni przekroju żłobiny. Przy takim założeniu na wzrost estymowanej szerokości i głębokości żłobiny można spojrzeć nie tylko w funkcji powierzchni przekroju (S), ale także w funkcji czasu (rys. 2). Dzięki temu można zaobserwować szybkość wzrostu głębokości i szerokości żłobiny, czyli tempo erodowania jej dna oraz ścian bocznych. Przeprowadzone badania wskazują, że powiększanie się żłobin było znacznie szybsze w kierunku równoległym do powierzchni (szerokość) niż w głąb gleby. W kształtowaniu się żłobin prawdopodobnie większą rolę pełniły uderzenia kropli deszczu niż spływ powierzchniowy, co powodowało większą zdolność odłączania materiału glebowego ze ścian żłobiny i powstawanie względnie szerokich i płytkich żłobin [8].

Stosunek  $w/d$  dla powstałych na poletkach żłobin przyjmował wartości większe od jedności, chociaż w odpowiednich warunkach możliwe są także odmienne przekroje, dla których  $w/d < 1$ . Żłobiny z przewagą procesów erozyjnych na dnie koryta charakteryzują się głównie taką postacią przekroju poprzecznego [2,8]. Dla dużych wartości powierzchni przekroju (S) przedstawione na rysunku 3 zależności

opisywane otrzymanymi równaniami zachowują się w podobny sposób, tzn. opisują żłobiny z głębokością przewyższającą jej szerokość. Stosunek aproksymowanej szerokości i głębokości po przekroczeniu powierzchni wynoszącej około  $1,6 \text{ m}^2$  ( $15782 \text{ cm}^2$ ) zmienia się na mniejszy od jedności i nadal maleje ( $w/d = 1$  dla  $w = d \approx 125,6 \text{ cm}$ ), gdyż w tym zakresie szybkość wzrostu głębokości przewyższa szybkość poszerzania się żłobiny. Zarysowane zależności świadczą o właściwych tendencjach otrzymanych równań, których charakter zgodny jest z obserwowanymi wyjątkowo dużymi żłobinami [2]. Ważnym i często używanym w modelowaniu erozji wskaźnikiem geometrycznym przekroju poprzecznego jest promień hydrauliczny  $R_h$ . Moore i Burch [5] w proponowanym przez siebie uproszczonym równaniu na promień hydrauliczny żłobiny zawierającym bezwymiarowy współczynnik kształtu przekroju stwierdzili, że zmienia się on w zależności od stosunku  $w/d$ . Jednak, gdy  $w/d$  jest większe od 2, wówczas zmiany współczynnika kształtu są podobne dla żłobin o przekroju prostokątnym, trójkątnym i parabolicznym.

Obliczona gęstość żłobin (2-4,3) na poletkach o różnej długości przewyższała wartości otrzymane przez Gilley'a i współaut. [1,3] dla różnych gleb wschodniej części USA, gdzie gęstość żłobin wyniosła od 0,7 do 1,5 żłobiny na jednostkę długości. Analizując zmiany transektowej powierzchni zauważyć można, że formowanie żłobin zaczynało się bezpośrednio od górnej krawędzi poletek (rys. 4) i nie występował tu kilkumetrowej długości obszar pozbawiony żłobin [3,10]. Brak takiej strefy i ogólnie duża gęstość żłobin jest cechą gleb mało spójnych oraz charakteryzujących się niską wytrzymałością na ścinanie, a w efekcie wysoką podatnością na powstawanie żłobin.

Nierównomierny rozwój transektowej powierzchni żłobin z występującymi obszarami jej spadku świadczy o zachodzącej okresowej sedymentacji przemieszonego materiału glebowego, zwłaszcza podczas ostatniej fazy spływu powierzchniowego (rys. 4). Potwierdza to całkowita ilość materiału przeniesionego do instalacji zbierających (rys. 5) oraz wyznaczona efektywna odległość przemieszczenia gleby (8,84 m). Jednakże częstość występowania okresów spadkowych powierzchni transektowej sugeruje, że materiał gleby był osadzany na krótszych odległościach (4-7 m).

Porównanie masy gleby pochodzącej ze żłobin dochodzących do instalacji zbierających z masą gleby tam zebraną wskazuje, że jedynie część materiału glebowego pochodziła ze żłobin, zaś pozostała z obszarów położonych między nimi (erozja międzyżłobinowa), (rys. 5).

## WNIOSKI

1. Duża gęstość żłobin oraz ich rozwój bezpośrednio przy górnej krawędzi poletek wskazuje, że badana gleba charakteryzowała się wysoką podatnością na erozję liniową.
2. Gęstość żłobin przyjmowała zbliżone wartości niezależnie od długości poletka doświadczalnego.
3. Tempo erodowania dna żłobin i ścian bocznych nie było jednakowe, ponieważ wyraźnie szybciej powiększał się przekrój w kierunku równoległym do powierzchni (szerokość).
4. Okresowe wzrosty i spadki pola powierzchni przekroju żłobin wzdłuż stoku wskazują na występowanie sedymentacji materiału glebowego w obrębie samych żłobin. Sedymentację materiału glebowego w obrębie poletek potwierdza analiza ilości gleby z instalacji zbierających.
5. Ocena ilości gleby na podstawie objętości żłobin z całego poletka może prowadzić do jej przeszacowania, zwłaszcza w przypadku sieci żłobin powstałych na dłuższych zboczach.

## PIŚMIENNICTWO

1. **Gilley J. E., Kottwitz E. R., Simanton J. R.:** Hydraulic characteristics of rills. Transactions of the ASAE, 33(6), 1900-1906, 1990.
2. **Govers G.:** Spatial and temporal variability in rill development processes at the Huldenberg experimental site. In: R. B. Bryan (Editor), Rill Erosion, Catena Supplement, 8, 17-34, 1987.
3. **Hasholt B., Hansen A. C.:** Formation of rills and their contribution to sediment yield. Proc. of the symposium „Runoff and sediment yield modelling”, SGGW, Warszawa, 91-99, 1993.
4. **Nearing M. A.:** A probabilistic model of soil detachment by shallow turbulent flow. Transactions of the ASAE, 34(1), 81-85, 1991.
5. **Moore I. D., Burch G. J.:** Sediment transport capacity of sheet and rill flow: Application of unit stream power theory. Water Resources Research, 22(8), 1350-1360, 1986.
6. **Rauws G.:** The initiation of rills on plane beds of non-cohesive sediments. In: R. B. Bryan (Editor), Rill Erosion, Catena Supplement, 8, 107-118, 1987.
7. **Rejman J., Usowicz B.:** Evaluation of soil-loss contribution areas on loess soil in south-east Poland. Earth Surface Processes and Landforms, 27(13), 1415-1423, 2002.
8. **Shainberg I., Warrington D., Laften J. M.:** Soil dispersibility, rain properties, and slope interaction in rill formation and erosion. Soil Sci. Soc. Am. J., 56, 278-283, 1992.
9. **Torri D., Sfalanga M., Chisci F. G.:** Threshold conditions for incipient riling. In: R. B. Bryan (Editor), Rill Erosion, Catena Supplement, 8, 97-105, 1987.
10. **Torri D., Regüés D., Pellegrini S., Bazzoffi P.:** Within-storm soil surface dynamics and erosive effects of rainstorms. Catena, 38, 131-150, 1999.



---

EVOLUTION AND CHARACTERISTICS OF RILLS DEVELOPED  
ON PLOTS OF VARIOUS LENGTHS

*Ryszard Brodowski, Jerzy Rejman*

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

**Abstract.** A detailed rill survey was conducted after heavy rains on the loess soil. Rill width, depth and location were studied in 20 cm transects perpendicular to the plot length. The analysis conducted showed that rill parameters expressed per a length unit did not vary significantly in relation to plot length. Generally speaking, rills width was larger than their depth. Evolution of rill cross-section area was characterised by the consecutive periods of growth and decay. The latter can be identified with a sedimentation process. Sedimentation was confirmed by the analysis of the eroded material from plot collectors. The results showed that loess soil is very susceptible to linear erosion.

**Key words:** water erosion, rills, loess soil

