

Jerzy Rejman¹

Anna Smetanová²

¹Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, Lublin

²Katedra fizycznej geografii a geoekologii, Přírodovědecká fakulta,
Univerzita Komenského v Bratislave

e-mail: rejman@ipan.lublin.pl

**PRZEMIESZCZANIE GLEBY POD WPLYWEM UPRAWKI
PRZEDSIĘWNEJ NA STOKU LESSOWYM O RÓŻNYM SPADKU**

**Soil translocation under pre-sowing tillage operations on loess slope with
various inclination**

Abstract: Soil translocation under pre-sowing operation performed with cultivator and harrow was analysed in the studies carried out on loess slopes of various inclination. Results showed that soil displacement was dependent on direction and velocity of tillage implementation, and slope inclination. Similar amount of soil was displaced, both down- and up-slope, at slopes of 5-5.3%. Above this range, a net translocation of soil mass in down-slope direction prevailed. It's magnitude depended on slope inclination and temporal changes of velocity, being adjusted to configuration of short and concave slope. For the whole analysed slope on the average inclination of 7.3%, net soil displacement down-slope was 5.6 kg m⁻¹. Studies showed that tracers installed at soil depth of 0-15 cm were displaced furthest, on distances ranged from 27 to 62 cm. For these tracers, the translocation distance was strongly positively correlated with slope for down-slope, and negatively – for up-slope tillage.

Słowa kluczowe: erozja uprawowa, przemieszczenie gleby, uprawka przedsiewna, stoki lessowe

Key words: tillage erosion, soil translocation, pre-sowing operations, loess slopes

WSTĘP

W badaniach nad przekształcaniem rzeźby terenów użytkowanych rolniczo przeważa pogląd o dominującym wpływie zabiegów uprawowych, znacznie większym aniżeli erozja wodna (Govers i in. 1994, Van Oost i in. 2005). Za główny czynnik

modyfikujący rzeźbę uważana jest uprawa płuzna, której poświęcono wiele badań, wyznaczając wielkość przemieszczenia i jej zależność od spadku stoku przy zastosowaniu różnych narzędzi uprawowych (Lindstrom i in. 1992, Lobb i in. 1999, Van Muysen i in. 1999, Van Oost i in. 2000). Pomiary przemieszczenia gleby pod wpływem uprawy stosunkowo wcześniej rozpoczęto w Polsce, jednak po krótkim okresie badań ich zaprzestano (Bac 1950, Czyżyk 1955). Wyniki tych badań mają raczej znaczenie historyczne, gdyż uprawa prowadzona była plugami jednoskibowymi (konnymi i ciągnikowymi) – sprzętem, który dzisiaj jest używany sporadycznie. Wraz z wprowadzaniem do rolnictwa ciągników o większej mocy, zwiększa się prędkość przeprowadzania zabiegów uprawowych, a zatem i większa energia jest dostarczana do gleby, czego wynikiem jest przemieszczenie większej masy gleby na większą odległość. Wymiana sprzętu uprawowego wymaga przeprowadzenia ponownych badań, które pozwolą na aktualną ocenę wielkości przemieszczenia i jej wpływu na przekształcenie urzeźbionych terenów użytkowanych rolniczo w Polsce. Przeprowadzone dotąd pomiary wskazują na dominujący wpływ erozji uprawowej na przekształcenie gleb i rzeźby na zboczach krótkich i przewagę oddziaływania erozji wodnej na zboczach długich (Rejman 2006). W badaniach nad wpływem uprawy na przemieszczenie gleby jedynie nieliczne prace poświęcano zabiegom kultywatorowania i bronowania, które w praktyce rolniczej są stosowane dość często m.in. do przedsięwzięcia przygotowania roli lub wymieszania nawozów z glebą (Lobb i in. 1999, Rejman 2006).

Celem badań było określenie przemieszczenia gleby pod wpływem uprawy przedsięwziętej, wykonanej przy pomocy łączonego zabiegu kultywatorowania i bronowania, prowadzonej wzdłuż zbocza na stoku lessowym o zmiennym spadku oraz określenie wpływu spadku na wielkość masy przesuniętej gleby.

METODYKA

Badania przeprowadzono na polu uprawnym położonym na jednym ze stoków zlewni lessowej w Bogucinie ($51^{\circ}19'56''N$ i $22^{\circ}23'18''E$) na Płaskowyżu Nałęczowskim (Wyżyna Lubelska). Stok ma kształt wypukły z maksymalnym spadkiem dochodzącym do 10%, a jego długość wynosi 100 m. W obrębie stoku występuje gleba płowa typowa (Haplic Luvisols) oraz różne klasy jej zerodowania. Badana gleba stanowi pod względem granulometrycznym pył gliniasty i ilasty, zawierając w poziomie Ap, w zależności od stanu zerodowania, 16-17% piasku (2-0,05 mm), 68-77% pyłu (0,05-0,002 mm) oraz 7-15% iłu ($<0,002$ mm). Zawartość C org. zawiera się w przedziale od 8,9 do 9,6 g kg^{-1} , a odczyn gleby – od 4,9 do 6,8 pH (1nKCl).

Uprawkę przedsięwziętą wykonano 7.04.2009 r. przy pomocy zestawu o szerokości roboczej 2,2 m, składającego się z kultywatora i brony średniej, zawieszonych do ciągnika Ursus C-360 (fot. 1). Zabieg prowadzono wzdłuż stoku na średnią

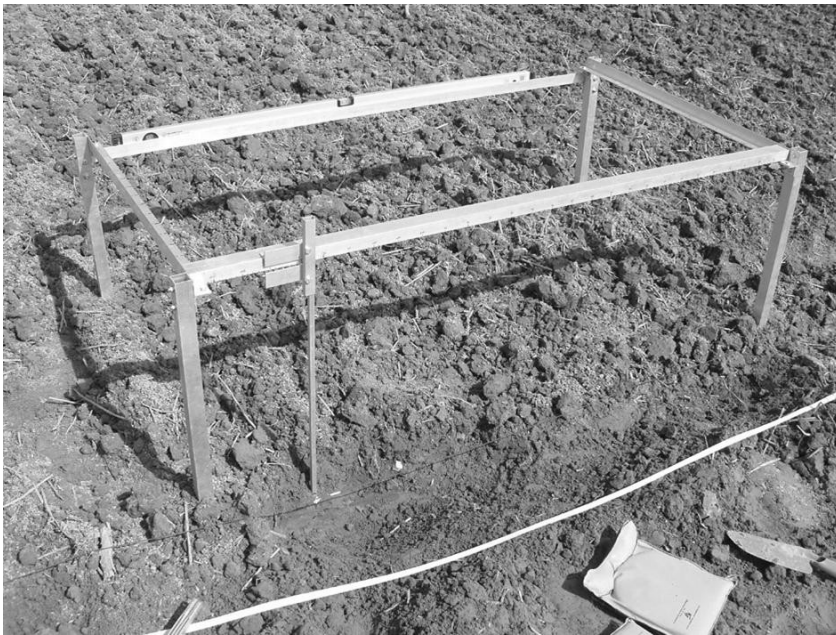
głębokość 10 cm. Średnia prędkość wykonywania uprawki (zmierzona na odcinku o długości 50 m) wynosiła 7,3 oraz 9,9 km h⁻¹, odpowiednio dla zabiegu prowadzonego pod górę i w dół stoku. Uprawkę wykonano na glebie pozostawionej w stanie niezruszonym od czasu wykonania orki jesiennej. Gęstość gleby w warstwie ornej przed zabiegiem wynosiła 1,39 Mg m⁻³, a jej wilgotność – 0,24 g g⁻¹.



Fot. 1. Wykonywanie uprawki przedsiewnej (kultywator i brona średnia)
Photo 1. Pre-sowing tillage operation (cultivator and harrow)

Pomiary przemieszczenia gleby przeprowadzono w górnej i środkowej części stoku o zróżnicowanym spadku. Przemieszczenie gleby oceniano na podstawie zmiany położenia, wprowadzonych przed zabiegiem do gleby, sześciennych kostek aluminiowych (znaczników) o boku 15 mm. Kostki (ponumerowane i o różnych kolorach) wprowadzono do pionowych otworów wydrążonych w glebie, umieszczając je na głębokości 10, 5 oraz 0 cm (przy powierzchni), a przestrzenie między kostkami uzupełniono glebą. Otwory z kostkami były oddalone od siebie co 10 cm i tworzyły rzędy o długości 1 m. Ogółem w obrębie każdego rzędu umieszczono 33 znaczniki. Znaczniki umieszczono w 5 pasach stoku prostopadłych do kierunku uprawki (po 1 rzędzie na przejeździe pod górę i w dół stoku). Odległość między rzędami znaczników w poszczególnych pasach wynosiła 23 m, a odległość między pasami – 10 m. Średnie wartości spadku wyznaczone dla poszczególnych pasów z rzędami znaczników wynosiły: 5; 5,3; 7,1 oraz 9,2% (2 rzędy).

Po wykonaniu uprawki, na obszarze potencjalnego przemieszczenia znaczników ostrożnie odsłaniano glebę i określano położenie odnalezionych kostek (głębokość oraz pozycję wzdłuż i w poprzek kierunku wykonywania zabiegu). Pozycję znacznika wzdłuż kierunku uprawki określano w rzucie prostokątnym na płaszczyznę, którą wyznaczały linia nieprzemieszczonych znaczników oraz rama pomiarowa (fot. 2). Przemieszczenie znaczników mierzono z dokładnością do 1 cm. Masę przemieszczonej gleby wyznaczano z iloczynu średniej odległości przemieszczenia znaczników i gęstości gleby (zmierzonej przed zabiegiem). Różnica masy gleby dla zabiegu, prowadzonego w dół i w górę stoku, stanowiła wielkość netto przemieszczenia dla pasa pola o szerokości 1 m.



Fot. 2. Rama pomocnicza do wyznaczenia położenia przemieszczonych znaczników
Photo 2. Frame to determine tracers location

WYNIKI

Na łączną liczbę 165 znaczników, po wykonanym zabiegu zlokalizowano położenie 144 z nich (tab. 1). Wśród odnalezionych znaczników, 58 uległo przemieszczeniu pod wpływem uprawki, a 86 pozostało nienaruszonych w miejscu ich wprowadzenia do gleby. Były to kostki umieszczone przeważnie na głębokości 10 cm (55 sztuk), ale także 5 i 0 cm (odpowiednio 26 i 5 sztuk).

Odległość, na którą zostały przemieszczone znaczniki była uzależniona od głębokości ich umieszczenia w glebie oraz lokalizacji w pasie przejazdu zestawu

uprawowego. Generalnie, znaczniki położone przy powierzchni gleby (tj. na głębokości 0 cm) oraz znajdujące się w pasie zabiegu prowadzonego w dół stoku zostały przemieszczone najdalej. Maksymalna odległość przemieszczenia dla zabiegu prowadzonego w dół stoku wyniosła 233 cm, a pod górę – 184 cm. Wyjątek stanowiły znaczniki umieszczone na głębokości 5 cm w pasie uprawy w dół stoku przy spadku 5,3 i 7,1%, przemieszczone odpowiednio na odległość 144 i 150 cm.

Tabela 1. Przemieszczenie znaczników podczas uprawki przedsiewnej
Table 1. Displacement of tracers during pre-sowing operation

Spadek stoku <i>Slope (%)</i>	Głębokość <i>Depth (cm)</i>	Kierunek wykonywania zabiegu - <i>Direction of operations</i>			
		w dół stoku – <i>down-slope</i>			
		Liczba znaczników <i>No of tracers</i>	Odległość - <i>Distance</i>		Odch. std. <i>Std.dev.</i>
			W. maks. <i>Max.value</i>	W. średnia <i>Mean</i>	
(cm)					
5,0	0	11	106	45,3	37,2
	5	10	41	8,1	12,8
	10	10	7	2,5	2,4
5,3	0	9	92	41,7	33,0
	5	9	144	35,1	50,4
	10	11	4	0,3	1,3
7,1	0	10	134	47,9	48,1
	5	10	150	22,7	48,4
	10	10	21	5,2	7,3
9,2	0	11	174	53,7	60,9
	5	11	134	20,9	45,7
	10	10	2	0,3	0,8
9,2	0	11	233	60,7	70,4
	5	10	117	15,0	36,4
	10	11	2	0,1	0,6
pod górę stoku – <i>up-slope</i>					
5,0	0	11	184	50,7	55,8
	5	8	30	2,8	12,1
	10	9	1	-3,4	41,1
5,3	0	10	124	62,0	38,2
	5	11	74	23,0	26,0
	10	11	18	1,6	5,7
7,1	0	11	143	48,3	53,9
	5	11	85	15,4	29,4
	10	11	0	0	0
9,2	0	9	75	26,9	29,1
	5	11	30	4,3	10,5
	10	11	8	0,1	2,9
9,2	0	10	166	35,1	55,8
	5	9	55	21,1	17,6
	10	11	8	2,1	2,4

Wprawdzie uśrednione wartości wskazują na większe przemieszczenie znaczników podczas uprawki prowadzonej w dół niżeli w górę stoku, to jednak nieco inaczej przedstawia się porównanie obu wielkości w obrębie poszczególnych spadków stoku (tab. 2). Największe różnice średniej odległości przemieszczenia, między obu pasami uprawki przedsiewnej, stwierdzono przy największych spadkach 9,2% (14,6 i 5,9 cm). Przy nachyleniu 7,1 i 5,0% były one mniejsze (4,0 i 1,9 cm), a przy spadku 5,3% – przemieszczenie pod górę było nawet większe niżeli w dół stoku (o 3,2 cm). Na zróżnicowanie wielkości średniej w obrębie poszczególnych spadków stoku, największy wpływ wywarły odległości przemieszczenia znaczników umieszczonych przy powierzchni gleby (na głębokości 0 cm). W bardziej stromej części stoku zostały one przemieszczone dalej podczas zabiegu prowadzonego w dół zbocza, natomiast przy łagodniejszych spadkach – bliżej, w porównaniu do znaczników umieszczonych w pasie zabiegu pod górę. Zależność między odległością przemieszczenia i spadkiem stoku przedstawiono na rysunku 4. Dla znaczników umieszczonych na pozostałych głębokościach podobnej zależności nie stwierdzono.

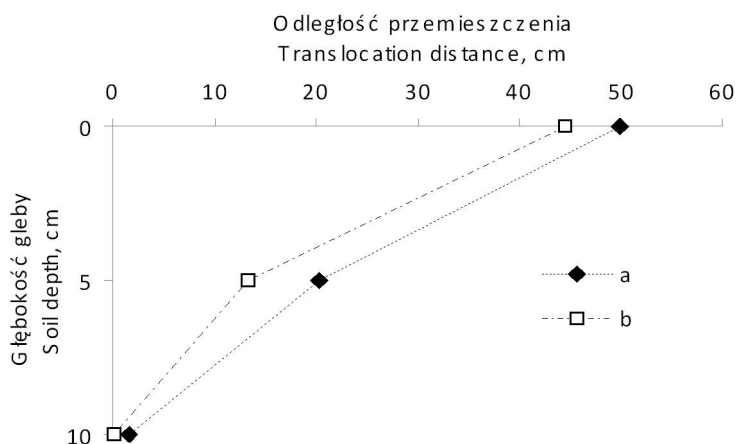
Tabela 2. Średnie przemieszczenie znaczników w kierunku zabiegu i w dół stoku netto oraz masa przesuniętej gleby

Table 2. Mean tracers displacement in tillage direction, net down-slope displacement and soil mass translocation

Nachylenie stoku <i>Slope</i> (%)	Przemieszczenie znaczników w kierunku zabiegu <i>Tracers displacement in tillage direction</i>		Przemieszczenie znaczników netto w dół stoku <i>Net tracers displacement down-slope</i>	Masa gleby przesunięta w dół stoku <i>Net soil mass displacement down-slope</i> (kg m ⁻¹)
	w dół stoku <i>down-slope</i>	pod górę stoku <i>up-slope</i>		
	(cm)			
5,0	18,6	16,7	1,9	2,6
5,3	25,7	28,9	-3,2	-4,5
7,1	25,3	21,2	4,1	5,7
9,2	25,0	10,4	14,6	20,3
9,2	25,3	19,4	5,9	8,2
Cały stok <i>Avg slope (7,3)</i>	24,0	19,3	4,7	6,5

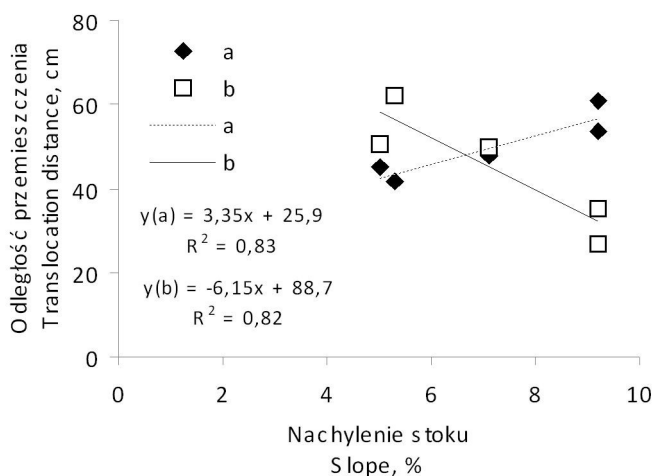
Średnie przemieszczenie w pasie zabiegu wykonywanego w dół stoku, dla wszystkich spadków łącznie, wyniosło 24 cm (przy odchyleniu standardowym – 3,0 cm), a w górę stoku – 19,3 cm (6,7). Dla znaczników umieszczonych na głębokości 0, 5 i 10 cm, średnia odległość przemieszczenia w dół stoku wyniosła odpowiednio: 49,9; 20,4 oraz 1,7 cm. Wielkości te były większe odpowiednio o 5,3; 7,0 i 1,6 cm w porównaniu do odległości przemieszczenia kostek w pasie uprawki w górę stoku. W obrębie obu pasów i poszczególnych nachyleń,

wartości średnie charakteryzowała bardzo duża zmienność, ze współczynnikami zmienności powyżej 62%. Uśrednione profile przemieszczenia znaczników dla obu pasów zabiegowych przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Profile przemieszczenia gleby podczas uprawki przedsiewnej prowadzonej w dół (a) i w górę (b) stoku

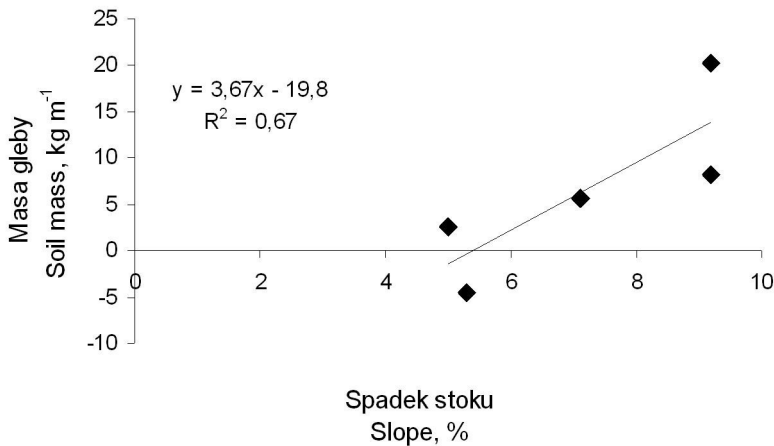
Fig. 1. Profiles of soil translocation during pre-sowing operations in down (a) and up-slope (b) direction



Rys. 2. Odległość przemieszczenia znaczników umieszczonych w przypowierzchniowej warstwie gleby (0-1,5 cm) w funkcji spadku zbocza dla uprawki prowadzonej w dół (a) i w górę (b) stoku

Fig. 4. Translocation distance of tracers located at 0-1,5 cm depth vs slope for down-slope (a) and up-slope (b) tillage direction

Wielkość masy gleby, przemieszczonej podczas uprawki, wyznaczono z iloczynu różnicy średniej odległości przemieszczenia znaczników (w pasie uprawy o szerokości 1 m) (rys. 2) oraz gęstości gleby. W skali analizowanego zbrocza, o średnim spadku 7,2%, wielkość ta wyniosła $6,5 \text{ kg m}^{-1}$ (tab. 2). Uzyskane wyniki wskazują na zróżnicowanie wielkości masy gleby przemieszczonej w dół stoku w zależności od spadku poszczególnych jego fragmentów. Generalnie, najwięcej gleby zostało przemieszczone w dół stoku przy spadku największym, a mniej – przy spadkach mniejszych. Stwierdzono jednak znaczne różnice w masie gleby przemieszczonej dla obu spadków o nachyleniu 9,2%, a przy najmniejszych nachyleniach stoku (5-5,3%) – przemieszczenie gleby zarówno w dół, jak i w górę stoku (rys. 3).



Rys. 3. Masa netto przemieszczonej gleby w dół stoku dla poszczególnych pasów stoku o zróżnicowanym spadku

Fig. 3. Net soil mass displaced down-slope for various slopes

DYSKUSJA

Wyniki badań świadczą o tym, że pod wpływem zabiegu przedsięwziętego, wykonywanego wzdłuż stoku przy pomocy łączonego zestawu kultywatora i brony, następuje przemieszczenie gleby w kierunku wykonywania zabiegu. Generalnie przeważa masa gleby przesuniętej w dół zbrocza, która dla całego obszaru badań wyniosła $6,5 \text{ kg m}^{-1}$ (w przeliczeniu na długość stoku, tj. 40 m, odpowiada ona obniżeniu jego powierzchni o 0,1 mm). Uzyskana wielkość jest mniejsza o $1,9 \text{ kg m}^{-1}$ od masy netto przemieszczonej gleby ustalonej we wcześniejszych badaniach w pasie stoku lessowego o równomiernym nachyleniu 7% (Rejman 2006). Różnica wielkości masy przemieszczonej gleby mogła być spo-

wodowana odmiennym stanem gleby przed wykonaniem zabiegu w obu doświadczeniach. W niniejszych badaniach uprawkę wykonano na glebie pozostawionej w stanie nienaruszonym od wykonania orki jesiennej, natomiast we wcześniejszym doświadczeniu pomiary wykonano na glebie spulchnionej uprzednim zabiegiem kultywatorowania i bronowania. Na wzrost masy gleby przemieszczonej w dół stoków podczas uprawy płużnej, wykonywanej na glebie spulchnionej w porównaniu do nienaruszonej, wskazują badania Van Muysena i in. (1999). Należy podkreślić, że przemieszczenie gleby w dół stoku podczas łącznego zabiegu kultywatorowania i bronowania jest znacznie mniejsze w porównaniu do orki płużnej, które dla podorywki wynosi $34,1 \text{ kg m}^{-1}$ (przy spadku 7%), a dla orki średniej – $45,8 \text{ kg m}^{-1}$ (przy spadku 12%) (Rejman 2006, Rejman, Paluszek 2005).

W przeprowadzonych badaniach stwierdzono zróżnicowanie masy przesuniętej gleby w zależności od spadku stoku. Wykazano, że przy nachyleniu 5-5,3% może występować zarówno przemieszczenie gleby netto pod górę, jak i w dół stoku, a powyżej tych wartości – szybki wzrost masy gleby przemieszczanej w dół stoku. Zarówno większe odległości przemieszczenia gleby podczas zabiegu, wykonywanego pod górę z boczka przy spadku 5,3% oraz duże różnice w masie netto gleby przemieszczanej w dół stoku przy spadku 9,2%, mogły być spowodowane wahaniami prędkości wykonywania zabiegu, związanymi z jej dopasowaniem do zmiennej konfiguracji krótkiego wypukłego z boczka. Na niejednoznaczny wpływ spadku z boczka na średnią odległość przemieszczenia gleby (i jej masę) podczas kultywatorowania połączonego z bronowaniem świadczą badania przeprowadzone z wykorzystaniem KCl (jako znacznika) na glinie piaszczystej przez Lobba i in. (1999). Autorzy ci stwierdzili podobne przemieszczenie gleby (32 cm) podczas zabiegów, prowadzonych pod górę i w dół stoku, jednak większość pomiarów wykonano dla spadków mniejszych od 5%.

Należy nadmienić, że w znacznie liczniejszych badaniach nad przemieszczeniem gleby podczas orki płużnej, zaznacza się wyraźne zwiększenie odległości przemieszczenia gleby wraz ze zwiększeniem spadku stoku, podczas zabiegów wykonywanych w dół stoku (Lidstrom i in. 1992, Govers i in. 1994, Van Muysena i in. 1999). Dla uprawy wykonywanej w górę stoku, niewielki wzrost odległości przemieszczenia, wraz ze wzrostem spadku, stwierdził Van Oost i in. (2000), jednak były to wielkości mniejsze niż podczas uprawy wykonywanej w dół stoku.

WNIOSKI

Przeprowadzone badania nad przemieszczeniem gleby pod wpływem łącznego zabiegu kultywatorowania i bronowania wskazują, że:

1. wielkość przemieszczania gleby w dół stoku zależy od spadku stoku, przy czym za wartość krytyczną (powyżej której zawsze następuje przemieszcza-

- nie netto w dół stoku) należy przyjąć nachylenie 5%;
2. masa netto gleby przemieszczonej w dół stoku, dla spadków powyżej 5%, zawiera się w przedziale od 5,7 (wartość średnia dla nachylenia 7,3%) do 14,3 kg m⁻¹ (dla nachylenia 9,2%);
 3. prowadząc badania nad agrotechnicznym przemieszczeniem gleby, należy bezwzględnie określić stan spulchnienia gleby przed uprawą oraz – w obszarach o rzeźbie krótkofalistej – zmierzyć nie tylko średnie prędkości zabiegu w dół i w górę stoku, ale także prędkości na poszczególnych jego odcinkach o różnym nachyleniu.

Literatura

- Bac S., 1950, Wpływ pracy pługa na przemieszczenie gleb, *Rocz. Nauk Roln.* 54, 61–80.
- Czyżyk W., 1955, Przemieszczenie gleby na zboczu pod działaniem orki, *Rocz. Nauk Roln.* 71-F-1, 73–88.
- Govers G., Vandaele K., Desmet P., Poesen J., Bunte K., 1994, The role of tillage in soil redistribution on hillslopes, *European Journal of Soil Sciences* 45, 469–478.
- Lindstrom M.J., Nelson W.W., Schumacher T.E., 1992, Quantifying tillage erosion rates to moldboard plowing, *Soil and Tillage Research* 24, 243–255.
- Lobb D.A., Kachanoski R.G., Miller M.H., 1999, Tillage translocation and tillage erosion in the complex upland landscapes of southwestern Ontario, Canada, *Soil and Tillage Research* 51, 189–209.
- Rejman J., 2006, Wpływ erozji wodnej i uprawowej na przekształcenie gleb i stoków lessowych, *Acta Agrophysica* 136, 1–99.
- Rejman J., Paluszek J., 2005, Ocena przemieszczenia gleby pod wpływem orki głębokiej, *Acta Agrophysica* 5(1), 129–136.
- Van Muysen W., Govers G., Bergkamp G., Roxo M, Poesen J., 1999, Measurement and modeling of the effects of initial soil conditions and slope gradient on soil translocation by tillage, *Soil and Tillage Research*, 51, 303–316.
- Van Oost K., Van Muysen W., Govers G., Deckers J., Quinne T.A., 2005, From water to tillage erosion dominated landform evolution. *Geomorphology* 72, 193–203.
- Van Oost K., Govers G., Van Muysen W., Quinne T.A., 2000, Modelling translocation and dispersion of soil constituents by tillage on sloping land, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64, 1733–1739.