

Jerzy Rejman
Ryszard Brodowski
Instytut Agrofizyki PAN Lublin
e-mail: rejman@ipan.lublin.pl

**OCENA EROZJI WODNEJ GLEBY LESSOWEJ NA UPRAWACH
BURAKA CUKROWEGO I PSZENICY JAREJ NA PODSTAWIE
BADAŃ POLETKOWYCH**

**Evaluation of water erosion under sugar beet and spring wheat on loess soil
on runoff plots**

Abstract: Water erosion under sugar beet and spring wheat was studied in runoff-plot experiment on loess slope. Canopy cover factor (C) of the USLE was used to evaluate a protective function of crops. The factor was determined directly as a ratio of soil loss from standard plots of length of 22.1 m, with crops and fallow. Results showed that C factor for sugar beet was 0.96, and for wheat – 0.04. Such high C value for sugar beet was the effect of heavy rainstorm at the plant emergence, when small canopy cover did not allow to limit the erosion. Studies carried with a system of plots of different length pointed that the effective distance of sediment transport ranged from 3.9 to 13.2 m for sugar beet, and from 2.6 to 4.5 m for spring wheat. Results of the studies showed that during processes of surface (interrill) erosion, transport of soil material prevails on short distances, whereas deposition took place inside the longer plots.

Słowa kluczowe: erozja wodna, gleba lessowa, burak cukrowy, pszenica, USLE, badania poletkowe

Key words: water erosion, loess soil, sugar beet, wheat, USLE, runoff plots

WSTĘP

Pomiary poletkowe erozji wodnej gleby prowadzone w USA od lat 30-tych ubiegłego wieku doprowadziły do opracowania empirycznych modeli USLE (Universal Soil Loss Equation) i jego poprawionej wersji RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation), (Wichmeier, Smith 1978, Renard i in. 1997). Za

podstawę obu modeli przyjęto pomiar na poletkach o długości 22,1 m, usytuowanych na skłonie o spadku 9% i utrzymywanych trwale w czarnym ugorze, dla których erozja, w przeliczeniu na jednostkę powierzchni, osiągała największe wielkości w warunkach przyrodniczych środkowo-wschodniej części USA. Do ekstrapolacji masy erodowanej gleby na powierzchnie dłuższe i o innym nachyleniu opracowano doświadczalnie wyznaczone zależności między wielkością erozji na poletku standardowym i poletkach o innej długości i spadku (czynnik topograficzny LS), natomiast dla zboczy o zmiennym ukształtowaniu zalecano wydzielenie jednolitych topograficznie fragmentów i obliczanie dla nich wielkości erozji z uwzględnieniem lokalnych obniżen jako miejsc depozycji. O ile jednak badania poletkowe w USA prowadzone były i są według określonej metodyki, to w pozostałych częściach świata zwykle ograniczają się one do poletek o jednakowej długości usytuowanych na skłonie o jednolitym spadku. Takie uproszczenie wzbudza wiele kontrowersji. Zastrzeżenia budzą m.in. objęcie pomiarami jedynie fragmentu stoku, prowadzenie badań na poletkach utrzymywanych w czarnym ugorze, zbyt mała długość poletek uniemożliwiająca utworzenie żłobin oraz niewłaściwa interpretacja wyników, polegająca na bezpośredniej ich interpolacji na większe powierzchnie (Loughran 1989). Pomimo kontrowersji, pomiary poletkowe stanowią jedną z najbardziej rozpowszechnionych metod stosowanych do oceny erozji w obrębie stoków, o czym świadczy ostatnio opublikowana analiza wielkości erozji w Europie, oparta o 2741 rocznych danych poletkowych z 81 stacji pomiarowych w 19 krajach (Cerdan i in. 2010).

W Polsce pomiary poletkowe zostały zapoczątkowane w latach 60 ub. wieku (Gil, 1986, Skrodzki 1972). Jak dotąd jednak, jedynie na glebach lessowych Wyżyny Lubelskiej przeprowadzono doświadczalną weryfikację modeli USLE i RUSLE. Badania te wykazały znaczne rozbieżności między wielkością erozji prognozowanej i eksperymentalnej (Rejman i in. 1998) - natomiast kolejne, przeprowadzone na innym obiekcie, zgodność wyników (Rejman i in. 2008). Przyczyn tak różnej reakcji tej samej gleby należy prawdopodobnie poszukiwać nie tylko w różnej erozyjności opadów w latach badań, ale i poziomie kultury rolnej (wysokości nawożenia organicznego, głębokości orki, czy stosowaniu w płodozmianie roślin motylkowych), która była niższa na obiekcie objętym pomiarami od roku 1997. Ta druga seria pomiarów wykazała jednak nieprzydatność stosowania zależności empirycznej, ujętej w czynniku topograficznym modeli amerykańskich, do warunków przyrodniczych Wyżyny Lubelskiej.

Dane z poletek erozyjnych są często wykorzystywane do weryfikacji modeli prognostycznych, zawierających elementy fizyki i opracowanych do analizy pojedynczych zdarzeń erozyjnych. Jednak pomiary na poletkach o jednym wymiarze i o powierzchni ograniczonej barierami nie są w stanie odzwierciedlić dynamiki procesu erozji, w którym podczas każdego zdarzenia erozyjnego odległość przemieszczenia erodowanego materiału glebowego jest inna. O odległości przemieszczenia cząstek decyduje ich wielkość oraz parametry spływu powierzch-

niowego (prędkość, grubości warstwy, pojemność transportowa, czas), które warunkowane są zmiennymi parametrami opadu (wielkość, natężenie, czas), gleby (właściwości warunkujące wielkość infiltracji, szorstkość powierzchni), okrywy roślinnej oraz stabilnymi parametrami geomorfologicznymi – długością, nachyleniem i kształtem stoku. Bezpośrednią informację o odległości przemieszczenia cząstek dają pomiary z zastosowaniem różnego rodzaju znaczników, które wskazują na ograniczoną odległość przemieszczenia gleby podczas spływu rozproszonego (Froehlich 1992, Parsons, Stromberg 1998). Zbliżoną informację, odnośnie odległości przemieszczenia cząstek, można uzyskać również prowadząc badania w układzie poletek o różnej długości (Rejman, Usowicz 2002).

Celem przeprowadzonych badań było określenie wielkości erozji wodnej w uprawie buraka cukrowego i pszenicy jarej na glebie płowej wytworzonej z lessu oraz ocena glebo-ochronnej funkcji tych roślin w ograniczaniu procesów erozyjnych.

METODYKA

Badania prowadzono na terenie użytkowanej rolniczo małej zlewni o powierzchni 5,7 ha położonej w Bogucinie (51°19'56"N, 22°23'18"E) w środkowej części Płaskowyżu Nałęczowskiego (Wyżyna Lubelska). W rzeźbie tego obszaru dominują rozgałęzione systemy suchych dolin erozyjno-denudacyjnych, rozcinające lekko falistą wierzchowinę lessową, położoną na wysokości 220-230 m n.p.m. W obrębie pola, na którym prowadzono pomiary poletkowe, występuje gleba płowa wytworzona z lessu o słabym stopniu zerodowania (wg klasyfikacji Turskiego i in. 1987), zawierająca w warstwie ornej 18% piasku (2-0,05 mm), 66% pyłu (0,05-0,002 mm) i 11% iłu (<0,002 mm), 1,3-2,2% próchnicy (odpowiednio dla poletka utrzymywanego w czarnym ugorze i z roślinami) oraz odczynie - 5,3 pH (1nKCl).

Pomiary erozji prowadzono na stoku o wystawie północnej o spadku 12% w latach 2007-08. Na stoku założono 5 poletek o szerokości 3 m i długości 2,75; 5,5; 11 i 22 m, wyposażonych w instalacje zbiorcze spływu powierzchniowego. Instalacje składały się z półrynien o szerokości 3 m, systemu rur odprowadzających oraz pojemników zbierających spływ powierzchniowy. Z uwagi na ograniczenia wymiarowe pojemników, maksymalna zebrana objętość spływu wynosi 4,5; 6,4; 12,1 oraz 18,8 mm, odpowiednio dla poletek o długości 22, 11, 5,5 oraz 2,75 m. W roku 2008 zmniejszono szerokość poletka w czarnym ugorze do 2 m. Zgodnie ze spostrzeżeniami J. Słupika (1986) odnośnie wpływu kształtu poletek na wielkość erozji, celem zapewnienia porównywalności wyników dane z tego poletka pomnożono przez czynnik korygujący 1,5 i takie wartości przeliczono do powierzchni poletka (66,2 m², tabela 2). Wartość korygująca jest stosunkiem szerokości obu poletek w 2007 i 2008 roku. Powierzchnię przylegającą do insta-

lacji wydzielano od pozostałej powierzchni pola przy pomocy folii PCV, którą wkopywano na głębokość 10 cm. Górną granicę poletek zabezpieczano przed spływem, pochodzącym z wyżej położonej części zbocza, dodatkową folią. Folię przed każdym głównym zabiegiem uprawowym, siewem roślin oraz ich zbiorem zdejmowano, a po przeprowadzonych pracach zakładano ponownie. Układ poletek przedstawiony został na fotografii 1. Pomiary prowadzono na jednym poletku o długości 22 m, które utrzymywano w czarnym ugorze (bez roślin) oraz na poletkach o długości 2,75; 5,5; 11 i 22 m, na których uprawiano burak cukrowy (2007) i pszenicę jarą (2008). Siew buraka wykonano 27.04.07, a zbiór przeprowadzono 29.09.07 r. Siew pszenicy jarej wykonano 1.04.08, a zbiór 8.08.08.



Fot. 1. Układ poletek eksperymentalnych w Bogucinie na zboczu o spadku 12%
Photo 1. Runoff-plots on 12% slope in Bogucin

Każdorazowo, po okresie wystąpienia opadów w wykalibrowanych pojemnikach zbiorczych mierzono poziom wody, na podstawie którego obliczano objętość spływu powierzchniowego. Następnie, po dokładnym wymieszaniu wody i zgromadzonego sedymentu, pobierano próby. Pobraną mieszaninę wody i materiału glebowego rozdzielano na sączkach i frakcję stałą suszono w temperaturze 105°C do osiągnięcia stałej wagi. Na podstawie koncentracji frakcji stałej w pobranej próbce o znanej objętości, wyznaczano masę materiału glebowego zgromadzonego w pojemnikach zbiorczych. Pomiary prowadzono w odstępach tygodniowych lub krótszych. Przyjmując założenie, że największa erozja

w przeliczeniu na jednostkę powierzchni stwierdzona na jednym z poletek określa natężenie procesu, a mniejsze wielkości jednostkowe na poletkach dłuższych wynikają z odprowadzenia materiału glebowego jedynie z części ich powierzchni, wyznaczono przybliżone wielkości powierzchni zbiorczej oraz „efektywną” odległość przemieszczenia gleby (Rejman, Usowicz 2002). Powierzchnię zbiorczą wyznaczono z ilorazu masy erodowanej gleby z poletek dłuższych i maksymalnej wielkości jednostkowej gleby, natomiast „efektywną” odległość przemieszczenia gleby - z ilorazu powierzchni zbiorczej i szerokości poletka.

W pobliżu poletek zamontowano pluwiograf z tygodniowym zapisem kumulacji opadu oraz deszczomierz Helmana. Na podstawie zapisów pluwiograficznych, obliczano jednostkową energię kinetyczną opadu według równania opracowanego przez L.C. Browna i G.R. Fostera (1986):

$$E_{kin} = \sum_{i=1}^n 0,29 \cdot \left[-0,72 \cdot \exp(-0,05I_i) \right] \Delta P_i$$

gdzie: E_{kin} – energia kinetyczna opadu przypadająca na jednostkę powierzchni, MJ ha⁻¹

I_i – intensywność opadu w okresie o stałej cząstkowej intensywności i , mm h⁻¹

ΔP_i – suma opadu w okresie o stałej cząstkowej intensywności i , mm

Dla poszczególnych opadów wyznaczono czynnik erozyjności opadu i spływu powierzchniowego EI₃₀, definiowany jako iloczyn energii całkowitej opadu i jego maksymalnej intensywności w ciągu 30 minut. Za opad pojedynczy przyjęto zgodnie z definicją opadu podaną w modelu USLE, opad nie rozdzielony w czasie od następnego okresem 6 godzin (Wischmeier, Smith 1978).

WYNIKI

Charakterystyka opadów

Suma opadów w latach hydrologicznych 2007 i 2008 wyniosła odpowiednio 510,8 i 587,1 mm, a wartości te nie odbiegały znacząco od średniej wieloletniej z lat 1991-2004 (559,0 mm). Generalnie rozkład sum miesięcznych nie różnił się zasadniczo w obu latach, z największymi opadami w maju (96,5-98,6 mm) oraz pozostającymi na równomiernym poziomie 60-70 mm w okresie od czerwca do września (z wyjątkiem czerwca 2007 – 33,2 mm). W przeciwieństwie do wielkości opadów, wartości czynnika erozyjności opadu i spływu powierzchniowego EI₃₀ były znacznie zróżnicowane w obu latach. W roku 2007 czynnik EI₃₀ wyniósł 1831,4 MJ mm ha⁻¹h⁻¹ i był on 1,8-krotnie większy w porównaniu do roku następnego (1014,0), w którym jego wielkość była zbliżona do średniej wielolet-

niej (1058,9). W głównej mierze różnica ta wyniknęła z wystąpienia opadu o charakterze nawalnym w dniu 22.05.2007, o erozyjności 898,0 MJ mm ha⁻¹h⁻¹. Był to opad o największej wartości czynnika EI₃₀, zarejestrowany na obiekcie, w którym pomiary poletkowe erozji prowadzone są od roku 1996. Pozostałe opady w obu latach charakteryzowały się stosunkowo niską erozyjnością, a wartości czynnika EI₃₀ powyżej 100 jednostek stwierdzono dodatkowo jedynie 3-krotnie, jeden raz w roku 2007 - w dniu 29.08 (31,8 mm; 168,04 MJ mm ha⁻¹h⁻¹) oraz 2-krotnie w 2008 r. - w dniach 02.08 (21,3 mm; 164,44) i 17.10 (25,8 mm; 145,17). W roku 2007, w okresie od rozpoczęcia pomiarów (17.05) do ich zakończenia (26.09), suma opadów wyniosła 315,1 mm, a ich erozyjność 1455,5 MJ mm ha⁻¹h⁻¹, przy czym na 8 okresów pomiarowych przypadło 268,9 mm oraz 1455,7 jednostek erozyjnych. W roku następnym w okresie od 22.04 do 21.10, suma opadów wyniosła 397,9 mm, a ich erozyjność 772,5 MJ mm ha⁻¹h⁻¹, natomiast w ciągu 10 okresów pomiarowych – 312,6 mm oraz 670,6 jednostek erozyjnych. Opadami o największej erozyjności, które nie spowodowały erozji, były opady w dniach 29.05.2007 (8,4 mm; 20,3 MJ mm ha⁻¹h⁻¹), 13.06.2008 (16,7; 25,8) oraz 04.09.2008 (11,2; 44,6). Na każdy okres pomiarowy w obu latach badań przypadało od 1 do 7 opadów pojedynczych (średnio 3,3). Należy podkreślić, że w obu latach w okresie zimowo-wiosennym nie stwierdzono wystąpienia erozji roztopowej.

Spływ powierzchniowy

Wyniki pomiarów spływu powierzchniowego przedstawiono w tabelach 1 i 2. W roku 2007 spływ powierzchniowy na poletkach najdłuższych (22,1 m) w sześciu okresach pomiarowych przewyższał pojemność pojemników zbiorczych na obiekcie bez roślin oraz w dwóch - z burakiem cukrowym. W roku 2008 wielkość spływu w żadnym z okresów nie przekroczyła pojemności zbiorników (w jednym przypadku było to wynikiem zmniejszenia powierzchni poletka – jego szerokości z 3 do 2 m). Z uwagi na brak możliwości zebrania całości spływu trudno jest porównać w kategoriach liczbowych oba lata, nie ulega jednak wątpliwości, iż wielkość spływu w roku 2007 była znacznie większa aniżeli w roku 2008 (co najmniej 1,7-krotnie).

Niewątpliwie przyczyną tego zróżnicowania było ograniczenie infiltracji wody, wynikłe z powstania skorupy powierzchniowej oraz zagęszczenia przypowierzchniowej warstwy gleby, spowodowane burzowym opadem nawalnym połączonym z gradem w dniu 22.05.2007. Wpływ tego opadu utrzymywał się niemal do końca badań prowadzonych w tym roku, o czym świadczą różnice parametrów regresji liniowej, opisującej zależność między wielkością spływu na poletkach bez roślin i parametrami opadu w obu latach badań (rys. 1). Analiza regresji wskazuje, że spływ powierzchniowy jest w większym stopniu skorelowany z sumą opadu, aniżeli z jego erozyjnością, wyrażoną iloczynem energii kinetycznej i jego maksymalnej intensywności w ciągu 30 minut (czynnikiem EI₃₀).

W obu latach badań, spływ na poletkach z roślinami był mniejszy w porównaniu do poletek utrzymywanych w czarnym ugorze. Spływ powierzchniowy na poletku z pszenicą jarą stanowił 61%, a z burakiem cukrowym (pomijając dane z okresów w których nastąpiło przepełnienie zbiorników) mniej niż 58% objętości spływu zebranego z poletka bez roślin. Wyniki pomiarów spływu powierzchniowego z poletek o różnej długości (z roślinami) wskazują, że objętość spływu generalnie wzrastała wraz z długością poletek w roku 2007, natomiast w roku 2008 – pozostawała na zbliżonym poziomie na poletkach dłuższych (22,1; 11,1 oraz 5,5 m).

Tabela 1. Spływ powierzchniowy (mm) i zmyw gleby (kg m⁻²), Bogucin 2007
Table 1. Runoff (mm) and soil loss (kg m⁻²), Bogucin 2007

Okres pomiarowy <i>Measurement period</i>	Parametr erozji <i>Erosion parameter</i>	Czarny ugor <i>Black fallow</i>	Burak cukrowy - <i>Sugar beets</i>				
		Wymiar poletek – <i>Plot size (m·m)</i>					
		3·22,1	3·22,1	3·11,1	3·5,5	3·2,8	
17.05-24.05	Spływ – <i>Runoff</i>	5,0*	4,0*	6,4*	12,1*	18,8*	
	Zmyw gleby - <i>Soil loss</i>	6,703	7,23	11,81	17,72	22,72	
31.05-05.06	Spływ – <i>Runoff</i>	5,0*	2,0	6,4*	12,1*	18,8*	
	Zmyw gleby - <i>Soil loss</i>	1,35	1,45	2,08	3,01	3,89	
05.06-12.06	Spływ – <i>Runoff</i>	5,0*	2,3	2,3	7,1	18,8*	
	Zmyw gleby - <i>Soil loss</i>	0,29	0,36	0,26	0,45	0,88	
19.06-26.06	Spływ – <i>Runoff</i>	3,9	2,4	2,3	6,9	5,0	
	Zmyw gleby - <i>Soil loss</i>	0,39	0,38	0,24	0,42	0,17	
02.07-09.07	Spływ – <i>Runoff</i>	5,0*	2,1	2,3	6,6	3,9	
	Zmyw gleby - <i>Soil loss</i>	0,22	0,09	0,09	0,24	0,07	
18.07-25.07	Spływ – <i>Runoff</i>	5,0*	2,2	2,4	3,0	7,0	
	Zmyw gleby - <i>Soil loss</i>	0,53	0,19	0,08	0,10	0,18	
07.08-14.08	Spływ – <i>Runoff</i>	0,8	1,1	1,2	2,9	0,6	
	Zmyw gleby - <i>Soil loss</i>	0,04	0,01	0,01	0,03	0,01	
29.08-12.09	Spływ – <i>Runoff</i>	5,0*	4,0*	6,4*	12,1*	18,8*	
	Zmyw gleby - <i>Soil loss</i>	0,69	0,10	0,11	0,12	0,12	

Objaśnienia: * - zmierzono jedynie część spływu; Abbreviations:

* - only part of runoff was collected

W poszczególnych okresach pomiarowych, spływ powierzchniowy w przeliczeniu na jednostkę powierzchni był największy: dwukrotnie na poletku o długości 2,8 m i trzykrotnie na poletku o długości 5,5 m (w roku 2007) oraz trzykrotnie na poletkach o długości 2,8 i 5,5 m (2008 r.). Współczynniki odpływu (stosunek wielkości spływu do opadu) w roku 2007, obliczone dla maksymalnej

Tabela 2. Spływ powierzchniowy (mm) i zmyw gleby (kg m^{-2}), Bogucin 2008
Table 2. Runoff (mm) and soil loss (kg m^{-2}), Bogucin 2008

Okres pomiarowy <i>Measurement period</i>	Parametr erozji <i>Erosion parameter</i>	Czarny ugor <i>Black fallow</i>	Pszenica jara- <i>Spring wheat</i>				
		Wymiar poletek – <i>Plot size (m·m)</i>					
		3·22,1	3·22,1	3·11,1	3·5,5	3·2,8	
22.04-04.05	Spływ – <i>Runoff</i>	2,5	3,2	7,3	12,0	18,8*	
	Zmyw gleby - <i>Soil loss</i>	0,18	0,08	0,22	0,44	0,63	
20.05-22.05	Spływ – <i>Runoff</i>	0,5	1,0	2,4	5,3	5,3	
	Zmyw gleby - <i>Soil loss</i>	0,04	0,01	0,03	0,08	0,08	
24.06-06.07	Spływ – <i>Runoff</i>	2,9	0,4	0,8	3,8	2,3	
	Zmyw gleby - <i>Soil loss</i>	0,38	0,01	0,02	0,04	0,03	
08.07-15.07	Spływ – <i>Runoff</i>	0,3	0,1	0,1	0,3	0,2	
	Zmyw gleby - <i>Soil loss</i>	0,02	0	0	0	0	
22.07-25.07	Spływ – <i>Runoff</i>	0,3	0	0,1	0,3	0,2	
	Zmyw gleby - <i>Soil loss</i>	0,03	0	0	0	0	
02.08-04.08	Spływ – <i>Runoff</i>	0,7	0,1	5,1	8,7	18,8*	
	Zmyw gleby - <i>Soil loss</i>	2,34	0,03	0,06	0,10	0,24	
31.08-01.09	Spływ – <i>Runoff</i>	0,7	-	-	-	-	
	Zmyw gleby - <i>Soil loss</i>	0	-	-	-	-	
18.09-24.09	Spływ – <i>Runoff</i>	1,0	-	-	-	-	
	Zmyw gleby - <i>Soil loss</i>	0,02	-	-	-	-	
02.10-08.10	Spływ – <i>Runoff</i>	0,6	-	-	-	-	
	Zmyw gleby - <i>Soil loss</i>	0,01	-	-	-	-	
08.10-21.10	Spływ – <i>Runoff</i>	5,9	-	-	-	-	
	Zmyw gleby - <i>Soil loss</i>	0,32	-	-	-	-	

Objaśnienia: * - zmierzono jedynie część spływu; Abbreviations:

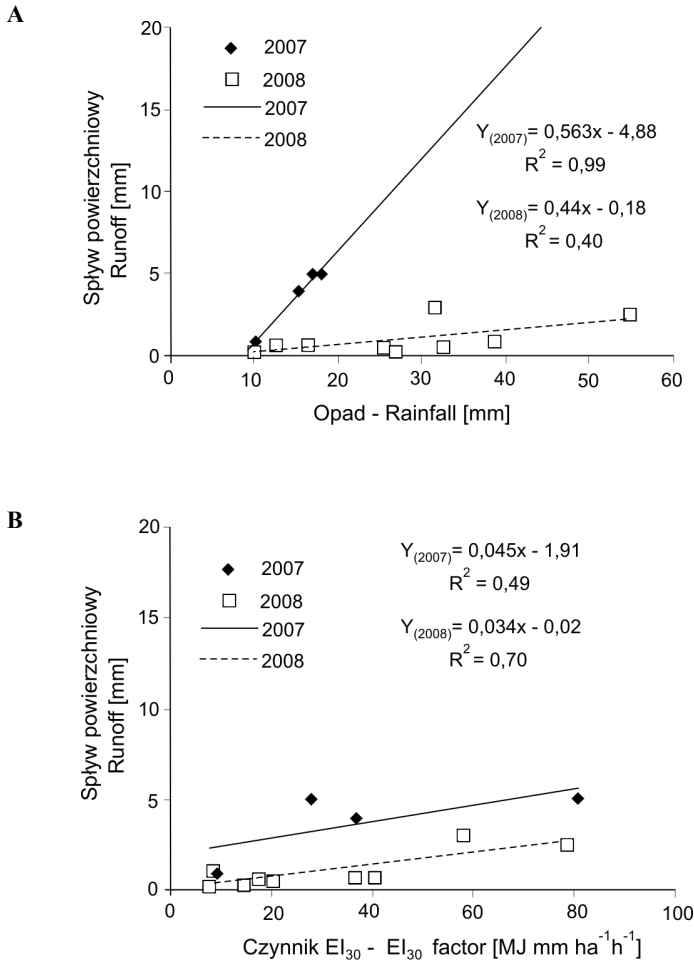
* - only part of runoff was collected

wielkości jednostkowej spływu, zawierały się w przedziale od 6 do 41%, a w roku następnym, były one mniejsze i wynosiły od 0,8 do 20,9%.

Zmyw gleby

Zmyw gleby na poletkach utrzymywanych w czarnym ugorze wyniósł 10,21 oraz 3,13 kg m^{-2} , odpowiednio w 2007 i 2008 r. Największą erozję spowodował opad o charakterze nawałnym w dniu 22.05.2007. Wyrhodowany materiał glebowy nie mieścił się w pojemnikach zbiorczych i wypełnił zadarnione obniżenia, w których je zainstalowano (fot. 2). Ilość wyrhodowanej gleby podczas tego zdarzenia stanowiła 66% ogólnej wielkości erozji w ciągu całego roku hydrologicznego. Zależności między masą wyrhodowanej gleby, zarejestrowaną na poletkach bez roślin oraz parametrami opadu, oceniano na podstawie analizy regresji liniowej. Wykazano, że wielkość wyrhodowanego materiału glebowego w obu latach badań była znacznie lepiej skorelowana z czynnikiem erozyjności EI_{30}

($r^2=0,97$), aniżeli sumą opadu ($r^2=0,08$), (rys. 2). Należy podkreślić, że w obu latach wartości parametru a równań regresyjnych z wykorzystaniem czynnika EI_{30} były bardzo zbliżone do siebie, niezależnie od znacznych różnic erozyjności opadów.



Rys. 1. Zależność między spływem powierzchniowym i sumą opadów (A) oraz czynnikiem EI_{30} (B), poletko utrzymywane w czarnym ugorze

Fig. 1. Relationship between runoff and rainfall amount (A), and EI_{30} factor (B) on black fallow plot

Zmyw gleby na poletku o długości 22,1 m z burakiem cukrowym wyniósł łącznie $9,82 \text{ kg m}^{-2}$, a z pszenicą jarą $0,13 \text{ kg m}^{-2}$ (tab. 2, 3). W metodyce USLE, stosunek masy gleby przemieszczonej z poletek z roślinami do wielkości erozji na poletku utrzymywanym w czarnym ugorze (czynnik okrywy roślinnej C) sta-

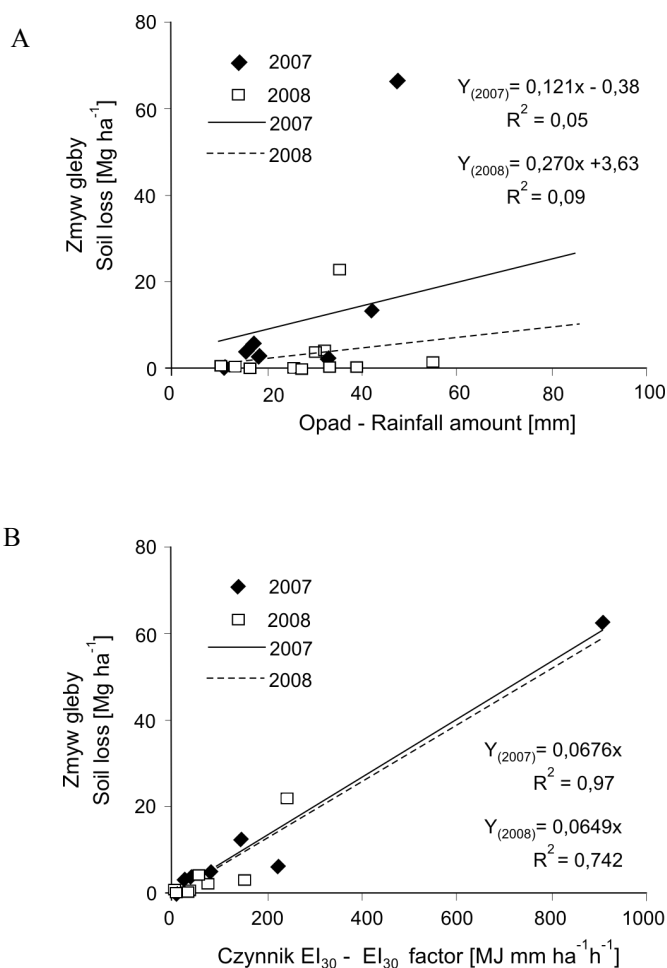
nowi bezpośrednią ocenę efektywności danej rośliny uprawnej w ograniczaniu procesu erozji wodnej. Eksperymentalnie wyznaczona wartość tego czynnika dla buraka cukrowego wyniosła 0,96 (2007 r.), natomiast dla pszenicy jarej była znacznie mniejsza – 0,04 (2008 r.). O tak dużej wartości czynnika C dla buraka cukrowego zadecydował opad burzowy w fazie wschodów (22.05.07), podczas którego stwierdzono nawet większą masę zmytej gleby na poletku z roślinami aniżeli na poletku utrzymanym w czarnym ugorze. Przyczyną tego zróżnicowania mogły być bardziej sprzyjające erozji warunki na poletku z roślinami, związane z zagęszczeniem gleby podczas zabiegów przedsięwziętych, co przejawiało się wytworzeniem się mikrożłobin w linii siewu punktowego. Podczas kolejnych opadów, stosunek zmywu gleby na poletku z burakiem do pozbawionego roślin (czynnik C modelu USLE) ulegał systematycznemu zmniejszeniu, osiągając pod koniec wegetacji wartość 0,15. W roku następnym, na poletkach z pszenicą jarą, maksymalną wielkość czynnika C (0,45) stwierdzono w początkowym okresie wegetacji (od 22.04 do 04.05.2008). Wraz z rozwojem okrywy roślinnej, wartości czynnika ulegały stopniowemu zmniejszeniu do 0 (08.07-25.08.2008).



Fot. 2. Materiał glebowy osadzony wokół pojemników zbiorczych po opadzie w dniu 22.05.2007, (poletko z burakiem cukrowym o długości 22,1 m)

Photo 2. Deposition of soil material around collectors after rainstorm, 22 May 2007, plot with sugar beet, 22.1 m long

Pomiary erozji wykazały zróżnicowanie wielkości masy zerodowanej gleby w zależności od powierzchni (długości) poletek oraz rośliny uprawnej. Łączna masa zmytej gleby zebrana na obiekcie z burakiem cukrowym wzrastała wraz z długością poletka, wynosząc w kolejności od poletka najdłuższego do najkrót-



Rys. 2. Zależność między zmywem gleby i sumą opadów (A) oraz czynnikiem EI_{30} (B), poletko utrzymywane w czarnym ugorze

Fig. 2. Relationship between soil loss and rainfall amount (A), and EI_{30} factor (B), fallow plot

szeogo: 650,7; 484,7; 364,5 i 231,3 kg. Na poletkach z pszenicą jara, skumulowane wartości erozji pozostawały na zbliżonym poziomie i wynosiły 2,0; 2,1; 1,6 oraz 2,0 kg (odpowiednio dla poletek o długości 22,1; 11,1; 5,5 i 2,8 m). Z kolei wielkości te w przeliczeniu na jednostkę powierzchni poletka były największe na poletku najmniejszym i malały wraz ze zwiększeniem jego powierzchni (długości). Łączny zmyw jednostkowy gleby na obiekcie z burakiem cukrowym wyniósł 9,82; 14,69; 22,09 i 28,04 kg m⁻², natomiast dla pszenicy jarej: 0,13; 0,34; 0,66 i 0,98 kg m⁻², odpowiednio dla poletek o długości 22,1; 11,1; 5,5 i 2,8 m. W poszczególnych okresach pomiarowych największe wielkości jednostko-

we erozji obserwowano na poletkach o różnej długości. Dla buraka cukrowego (2007 r.), masa gleby w przeliczeniu na jednostkę powierzchni była największa: 5 razy na poletku najmniejszym oraz 3 razy na poletku o długości 5,5 m, a dla pszenicy jarej (2008 r.) po 2 razy na poletkach o długości 2,8 i 5,5 m. Średnia odległość przemieszczenia, obliczona dla łącznej wielkości zmywu zarejestrowanego na poletkach z burakiem cukrowym wyniosła 5,9 m, a dla pszenicy jarej 3,5 m. W poszczególnych okresach pomiarowych średnie odległości przemieszczenia zawierały się w przedziale od 3,9 do 13,2 m (burak cukrowy) oraz od 2,6 do 4,5 m (pszenica jara).

DYSKUSJA

Bezpośrednią ocenę wpływu użytkowania stoków na wielkość erozji oddaje czynnik okrywy roślinnej (C) modelu USLE. Dla całego okresu wegetacyjnego buraka cukrowego wyniósł on 0,96 (2007 r.), a pszenicy jarej - 0,04 (2008 r.). Uzyskana wartość czynnika C dla buraka cukrowego jest znacznie większa w porównaniu do wyników badań przeprowadzonych w 1997 r., w których wyniosła ona zaledwie 0,04 (Rejman, Usowicz 1998). Różnica ta jest spowodowana wystąpieniem intensywnych opadów deszczu w innych okresach sezonu wegetacyjnego. W niniejszych badaniach opad o charakterze nawalnym wystąpił w okresie wschodu roślin (22.05.2007), natomiast we wcześniejszych przy pełnej okrywie roślinnej (06.09.1997; 33 mm; 420,8 MJ mm ha⁻¹h⁻¹). W pierwszym przypadku, słabo rozwinięta okrywa roślinna nie była w stanie ograniczyć erozji, w drugim - niemal całkowicie ograniczyła jej wielkość (do 1%). Należy nadmienić, że przed wystąpieniem opadu wrzesniowego, wartość czynnika C wynosiła 0,19. Pomimo dość rozpowszechnionej w Europie uprawy buraka cukrowego, jedynie A. Bollinne (1985) podjął się próby oceny wielkości erozji w uprawie buraka cukrowego i określenia jego funkcji glebo-ochronnej. W przeprowadzonych przez niego badaniach w pasie lessowym Belgii, czynnik C wyniósł 0,43, a w poszczególnych okresach pomiarowych zawierał się w przedziale od 0,26 do 0,64. Wartość czynnika C dla pszenicy jarej (0,04) wyznaczona w roku 2008 była znacznie mniejsza od wielkości uzyskanych we wcześniejszych badaniach, w których mieściły się one w przedziale od 0,10 do 0,19 (okres 4 lat), a dla kukurydzy wyniosła 0,33 (1 rok badań) (Rejman 1997, Rejman, Usowicz 1998). Zakres ten jest zbliżony do wielkości wyznaczonych w badaniach amerykańskich (Wischmeier, Smith 1978).

W obu uprawach jednostkowy zmyw gleby malał wraz ze wzrostem powierzchni (długości) poletek, a jego łączna wielkość na poletku najkrótszym była 2,9- oraz 7,5-krotnie większa w porównaniu do wartości wyznaczonej na poletku o długości 22,1 m. W poszczególnych okresach pomiarowych, największe wielkości jednostkowego zmywu gleby stwierdzano również na poletkach

o długości 5,5 m (trzykrotnie na obiekcie z burakiem cukrowym i raz – z pszenicą). Nie oznacza to jednak, że badania erozyjne powinny być prowadzone na poletkach o takiej długości. Wyznaczona „efektywna” odległość przemieszczenia gleby, będąca pochodną przybliżonej powierzchni zbiorczej była różna w poszczególnych okresach pomiarowych, dochodząc maksymalnie do 4,5 m oraz 13,2 m (odpowiednio dla pszenicy i buraka cukrowego). Badania z luminoformami przeprowadzone przez W. Froehlich (1992) świadczą również o ograniczonej odległości przemieszczenia gleby podczas wystąpienia spływu rozproszonego. Autor ten dla opadu o wysokości 26 mm i maksymalnym natężeniu $1,3 \text{ mm min}^{-1}$ określił zasięg transportu cząstek dla zbóż na około 6,5 m, a dla ziemniaka – 1,4 m. Wyniki te wskazują, że prowadzenie badań na poletkach o jednej długości nie pozwala na poprawne określenie wielkości erozji w warunkach klimatycznych Polski, a stosowanie poletek standardowych USLE (lub o długości większej) skutkuje jej niedoszacowaniem. Należy jednak w tym miejscu zaznaczyć, że zależności modelu zostały opracowane dla obszaru, w którym roczne wielkości czynnika erozyjności opadu i spływu powierzchniowego (EI_{30}) wynoszą około $7000 \text{ MJ mm ha}^{-1}\text{h}^{-1}$ (Forster i in., 1981), podczas gdy w Polsce są one znacznie mniejsze i po przeliczeniu do jednostek układu SI zawierają się w przedziale od 426 do 968 (Banasik, Górski 1993).

WNIOSKI

Przeprowadzone badania wykazały, że:

1. Okrywa roślin pszenicy jarej jest znacznie bardziej efektywna w ograniczaniu wielkości erozji wodnej w porównaniu do okrywy buraka cukrowego;
2. Wielkości jednostkowe erozji wyznaczone w oparciu o standardowe poletka USLE (o długości 22,1 m) są znacznie mniejsze w porównaniu do erozji wyznaczonej na poletkach krótszych;
3. Pomiar na poletkach o zróżnicowanej długości pozwala na bardziej realistyczną ocenę wielkości erozji, umożliwiając wyznaczenie przybliżonej wielkości powierzchni zbiorczej i efektywnej odległości przemieszczenia cząstek;
4. Efektywna odległość przemieszczenia gleby na poletkach z burakiem wynosiła od 3,9 do 13,2 m, a na poletkach z pszenicą od 2,6 do 4,5 m.

Literatura

- Banasik K., Górski D., 1993, Evaluation of rainfall erosivity for east Poland, [w:] K. Banasik, A. Żbikowski (red), *Runoff and sediment yield modeling*, Warsaw Agricultural University Press, 129–134.
- Bollinne A., 1985, Adjusting the Universal Soil Loss Equation for use in western Europe, [w:] S. A. El-Swaify, W.C. Moldenhauer, A. Lo (red.), *Soil erosion and conservation*, SCSA, Ankeny, IO, 206–213.

- Brown, L.C., Foster, G.R., 1987, Storm erosivity using idealized intensity distributions, *Transactions of the ASAE* 30, 379–386.
- Cerdan O., Govers G., Le Bissonnais Y., Van Oost K., Poesen J., Saby N., Gobin A., Vacca A., Quinton J., Auerswald K., Klik A., Kwaad F.J.P.M., Raclot D., Ionita I., Rejman J., Rousseva S., Muxart T., Roxo M.J., Dostal T., 2010, Rates and spatial variations of soil erosion in Europe: a study based on erosion plot data, *Geomorphology* 122, 167–177.
- Forster G.R., McCool D.K., Renard K.G., Moldenhauer W.C., 1981, Conversion of the Universal Soil Loss Equation to SI units, *Journal of Soil and Water Conservation* 36, 6, 355–359.
- Froehlich W., 1992, Mechanizm erozji i transportu fluwialnego w zlewniach beskidzkich, [w:] A. Kotarba (red.) *System denudacyjny Polski*, Prace Geogr. 155, 171–189.
- Gil E., 1986, Rola użytkowania ziemi w przebiegu spływu powierzchniowego i splukiwania na stokach fliszowych, *Przeegl. Geogr.* 58, 1/2, 51–65.
- Loughran R.J., 1989, The measurement of soil erosion, *Progress in Physical Geography* 13, 216–233.
- Parsons A.J., Stromberg S.G.L., 1998, Experimental analysis of size and distance of travel of unconstrained particles in interrill flow, *Water Resources Research* 34, 9, 2377–2381.
- Rejman J., 1997, Runoff and soil under conventional tillage for cereal production in SE Poland, *Bibliotheca Fragmenta Agronomica* 2B/97, 559–562.
- Rejman J., Usowicz B., 1998, Zastosowanie modelu USLE do prognozowania natężenia erozji wodnej gleb pływych Wyżyny Lubelskiej: teoria i praktyka, *Bibliotheca Fragmenta Agronomica* 4A/98, 231–244.
- Rejman J., Usowicz B., 2002, Evaluation of soil loss contribution areas on loess soils in southeast Poland, *Earth Surf. Process. Landforms* 27, 13, 1415–1423.
- Rejman J., Turski R., Paluszek J., 1998, Spatial and temporal variations in erodibility of loess soil, *Soil and Tillage Research* 46, 61–68.
- Rejman J., Brodowski R., Iglík I., 2008, Annual variations of soil erodibility of silt loam developer from less based on 10-years runoff plot studies, *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Land Reclamation* 39, 77–83.
- Renard K.G., Foster G.R., Weesies G.A., McCool D.K., Yoder D.C., 1997, *Predicting soil erosion by water – a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*, Agricultural Handbook 703, US Gov. Print Office, Washington DC, 404 s.
- Skrodzki M., 1972, Present-day water and wind erosion of soils in NE Poland, *Geographia Polonica* 23, 77–92.
- Ślupik J., 1986, Ocena metod badań roli użytkowania ziemi w przebiegu spływu wody i erozji gleb w Karpatach, *Przeegl. Geogr.* 58, 1/2, 41–50.
- Turski R., Słowińska-Jurkiewicz A., Paluszek J., 1987, Wpływ erozji na fizyczne właściwości gleb wytworzonych z lessu, *Rocz. Gleboznawcze* 38, 1, 37–49.
- Wischmeier W.H., Smith D.D., 1978, *Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning*, Agricultural Handbook No. 537, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C., 1–58.