

EROZJA WODNA GLEB W ROLNICZEJ ZLEWNI LESSOWEJ Z OKRESOWYM ODPŁYWEM WODY W WIELKOPOLU (WYŻYNA LUBELSKA) W LATACH 2008–2011

Andrzej Mazur¹

¹ Katedra Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Leszczyńskiego 7, 20-069 Lublin, e-mail: amazur70@op.pl

STRESZCZENIE

Badania wykonano w latach 2008–2011 na obszarze zlewni lessowej w Wielkopolu na Wyżynie Lubelskiej. Celem pracy było określenie natężenia erozji wodnej gleb oraz wielkości odpływu poza zlewnię wody i zawartej w niej wybranych składników materii. Po spływach powierzchniowych wód prowadzono ilościowo-jakościową inwentaryzację szkód erozyjnych. Mierzono także ilość odpływających ze zlewni wód, z których pobierano próby w celu określenia stężenia: zawiesiny glebowej azotu i jego form oraz fosforu i potasu. Monitorowano także wysokość i natężenie opadów oraz miąższość pokrywy śnieżnej i prowadzono obserwacje jej topnienia. Wyniki badań dowodzą, że stan okrywy roślinnej decyduje o wielkości szkód erozyjnych. Zboża jare oraz rośliny okopowe słabo chronią glebę przed erozją, a dobrze oziminy, użytki zielone i lasy. Średnioroczne szkody erozyjne w zlewni wyniosły: żłobiny – 189 m³·km⁻², zmyw powierzchniowy – 153 m³·km⁻², namuły – 128 m³·km⁻², a zmyw gleby – 0,335 mm. Odpływ wody poza zlewnie jest przeciętnie skorelowany z wysokością opadu (współczynnik korelacji $r = 49$). Natomiast korelację bardzo wysoką ($r = 0,85$) stwierdzono pomiędzy odpływem wody i gleby ze zlewni. Średnio w ciągu roku poza zlewnię odpływało: 7,1 mm wody, 44,85 Mg·km⁻² gleby, 127,2 kg·km⁻² N-Nog, 18,2 kg·km⁻² P oraz 145,6 kg·km⁻² K.

Słowa kluczowe: erozja wodna, zlewnia lessowa, użytkowanie terenu, odpływ wody, opady atmosferyczne

WATER EROSION IN THE AGRICULTURAL LOESS CATCHMENT WITH A PERIODICAL WATER OUTFLOW IN WIELKOPOLE (LUBELSKIE UPLAND) IN THE YEARS 2008–2011

ABSTRACT

The research was carried out in the years 2008–2011 in the loess catchment area in Wielkopole in the Lublin Upland. The purpose of the work was to determine the intensity of water soils erosion and the size of the outflow beyond the water catchment and the selected constituents of matter contained in it. After surface water runoff, quantitative and qualitative inventory of erosion damage was carried out. The quantity of waters from the catchment was also measured, from which samples were taken in order to determine the concentration of soil suspension of nitrogen and its forms as well as phosphorus and potassium. The height and intensity of precipitation as well as the thickness of the snow cover were also monitored and observations of its melting were carried out. The research results prove that the condition of the plant cover determines the amount of erosive damage. Spring crops and root crops poorly protect the soil from erosion, while winter cereals, grassland and forests protect good. The average annual erosive damage in the catchment was: rills – 189 m³·km⁻², surface runoff – 153 m³·km⁻², deposits – 128 m³·km⁻², and soil washout – 0.335 mm. The outflow of water outside the catchment is on average correlated with the amount of precipitation (correlation coefficient $r = 49$). On the other hand, a very high correlation ($r = 0.85$) was found between the outflow of water and soil from the catchment. On average, during the year outflow from the catchment were: 7.1 mm of water, 44.85 Mg·km⁻² of the soil, 127.2 kg·km⁻² N-Nog, 18.2 kg·km⁻² P and 145.6 kg·km⁻² K.

Keywords: water erosion, loess catchment, land use, water outflow, atmospheric precipitation

WSTĘP

Spływ powierzchniowy, który definiowany jest jako epizodyczne, grawitacyjne przemieszczanie się wody po powierzchni terenu w kierunku cieków i obniżeniom terenu w zlewni [Bocheńska i in. 2002], powstaje po przekroczeniu tzw. fazy detencji i wówczas równocześnie z infiltracją istnieje odpływ powierzchniowy wody. Wywołują go opady deszczu o dużym natężeniu lub szybkie topnienie pokrywy śnieżnej. Wówczas tempo dostawy wody jest większe od zdolności infiltracyjnych gleby i woda zaczyna spływać grawitacyjnie po terenie do miejsc położonych niżej [Banasik, Górski 1990, Świętochowicz 2012].

Spływ powierzchniowy jest główną przyczyną erozji wodnej gleb, która wymieniana jest na pierwszym miejscu wśród czynników degradujących gleby w skali świata. Procesy erozji wodnej oprócz przekształcania rzeźby terenu [Mazur i in. 2015, Young, Hammer 2000], redukują z gleb związki próchniczne i składniki pokarmowe roślin [Kim i in. 2018, Mazur 2018, Olson 2007] oraz pogarszają właściwości fizykochemiczne gleb [Hladký i in. 2016, Ijaz i in. 2006]. Prowadzi to do obniżenia żyzności gleb [Duan i in. 2011, Lobo i in. 2005] oraz spadku plonów roślin uprawnych [Arriaga, Lowery 2003, Papiernik i in. 2005]. Erozja wodna wpływa także na pogorszenie stosunków hydrologicznych i wzrost zagrożenia powodziowego oraz niszczenie urządzeń infrastruktury technicznej [Asiedu 2018, Koreleski 1997, Mioduszewski 2003]. Wyrzutowane z użytków rolnych składniki pokarmowe roślin, przyczyniają się do eutrofizacji wód powierzchniowych [Kiryluk, Rauba 2011, Smoroń 2012].

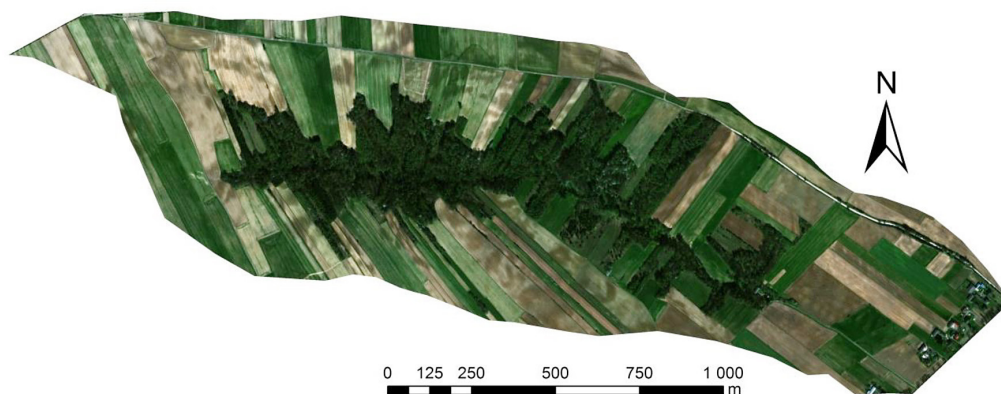
Specyfika opadów atmosferycznych, dominacja rolniczego użytkowania gleb wytworzonych

z lessów oraz bogactwo form hipsometrycznych, powodują przyspieszony odpływ i silne zagrożenie erozją wodną obszarów Wyżyny Lubelskiej [Józefaciuk, Józefaciuk 1999]. Zatem badania nad erozją gleb mają nie tylko aspekt poznawczy, ale i użytkowy. Mogą zostać wykorzystane do planowania i prowadzenia racjonalnej gospodarki rolnej, zgodnej z zasadami zrównoważonego rozwoju, w celu stworzenia przyszłym pokoleniom możliwości gospodarowania zasobami środowiska o jak najwyższym standardzie.

W pracy przedstawiono wyniki badań z lat 2008-2011, dotyczące szkód erozyjnych oraz odpływu wody i zawartych w niej wybranych składników materii (gleby, azotu: ogólnego, amonowego, azotanowego, azotynowego, oraz potasu i fosforu) z rolniczej zlewni lessowej w Wielkopole na Wyżynie Lubelskiej. Stanowią one kontynuację oraz rozszerzenie prowadzonych badań, których wyniki opublikowano w pracach Mazura i Pałysa [2006], Mazura i in. [1990], Pałysa [2001] oraz Pałysa i Mazura [1994].

MATERIAŁ I METODY

Obiekt badań stanowiła zlewnia z okresowym odpływem wód (rys. 1) znajdująca się w miejscowości Wielkopole we wschodniej części mezoregionu – Wyniosłość Giełczewska (Wyżyna Lubelska) [Kondracki 2000]. Powierzchnia zlewni wynosi 188,5 ha. Kształtem przypomina wstęgę o długości 2550 m i maksymalnej szerokości 850 m. Kierunek głównej formy dolinowej przebiega z zachodu na wschód. Jej powierzchnia w ponad 79% użytkowana jest rolniczo. Las i zadrzewienia zajmują tylko 13,6% powierzchni zlewni i są zlokalizowane w sąsiedztwie wąwozu dolinowe-



Rys. 1. Zlewnia z okresowym odpływem wód w Wielkopole
Fig. 1. The catchment with periodic outflow of waters in Wielkopole

go, który przebiega jej środkiem. Pod względem ukształtowania powierzchni jest typową zlewnią obszarów Wyżyny Lubelskiej, o glebach wytworzonych z lessów, pokrywających miąższością od kilku do kilkunastu metrów skały kredowe. Dominują tutaj gleby typu płowe na lessach. Najwyższy punkt w zlewni ma 280 m n.p.m., a najniższy 205 m n.p.m. Deniwelacje dochodzą do 35 m, a maksymalne spadki na stokach osiągają 35% [Mazur, Pałys 2006, Mazur, Wnuczek 2006, Mazur i in. 1990, Pałys, Mazur 1994].

Badania terenowe, polegające na jakościowo-ilościowej inwentaryzacji procesów morfogenetycznych modelujących rzeźbę badanej zlewni, prowadzono po każdym spływie powierzchniowym wód zgodnie z metodyką opracowaną przez Mazura i Pałysa [1991b]. Podstawą badań terenowych było rozpoznanie form erozyjnych w postaci erozji liniowej, erozji żłobinowej i płatów osadzonych namulów oraz ich kartowanie na mapach w skali 1:10000. Wykonywano również pomiary zinwentaryzowanych szkód erozyjnych, a wyniki zestawiano w tabelach w celu obliczenia objętości wyerodowanej gleby. Zwracano także uwagę na sposób użytkowania terenu, na którym zinwentaryzowano szkody erozyjne. W Przekroju hydrometrycznym zamykającym zlewnię badano odpływ wody ze zlewni, który wyliczono na podstawie pomiarów powierzchni przekroju strugi wodnej oraz jej prędkości. W trakcie pomiarów odpływów, do batymetrów o objętości 1 dm³ pobierano próby odpływającej wody. Z pobranych prób wody określono zawartość:

- zawiesiny wg Brańskiego [1969] (metodą wagową),
- azotu ogólnego – fotometrem MPM 2010 firmy WTW (po uprzednim utlenieniu badanej próby w termoreaktorze w temperaturze 100°C),
- azotu amonowego i azotynowego – fotometrem MPM 2010 firmy WTW,

- azotu azotanowego, fosforu, potasu – fotometrem LF 300 firmy Slandi [Hermanowicz i in. 1999, Świetlik, Dojlido 1999].

Na podstawie stężenia składników i wielkości odpływów określono ładunki składników transportowanych z wodami poza zlewnię.

Na terenie zlewni założono posterunek meteorologiczny wyposażony w deszczomierz Hellmanna i pluwiograf o zapisie dobowym. Oprócz pomiarów wysokości opadów i ich natężenia, mierzono również temperaturę powietrza i grubość pokrywy śnieżnej oraz prowadzono obserwacje jej topnienia.

WYNIKI I DYSKUSJA

Przebieg warunków klimatycznych, a w szczególności wielkość i natężenie opadów atmosferycznych oraz tempo topnienia pokrywy śnieżnej, decyduje o wystąpieniu spływu powierzchniowego i natężeniu erozji gleb [Mazur 2018, Pałys 2001, Święchowicz 2012]. Średnioroczny opad z lat 1987–2011 wyniósł 636,1 mm, z czego około 64% to opady z okresu letniego (tab. 1). Najniższe średnioroczne opady występują w styczniu i lutym – 31,5 i 30,2 mm, natomiast najwyższe w lipcu 97,1 mm. W latach hydrologicznych 2007–2008, 2009–2010 oraz 2010–2011 opady były wyższe od opadu średniorocznego odpowiednio o: 11, 36 i 38%. Natomiast w roku hydrologicznym 2008–2009 odnotowano opad niższy o około 8% w stosunku do opadu średniorocznego. Wysokie opady miesięczne, bo prawie dwu- lub trzykrotnie wyższe od średniomiesięcznych opadów z wielolecia, odnotowano we: IX 2008 r., VI 2009 r., VIII 2010 i VII 2011 r. Opad w lipcu 2011 r. był najwyższym opadem zarejestrowanym w historii prowadzenia obserwacji na tym posterunku meteorologicznym i stanowił aż

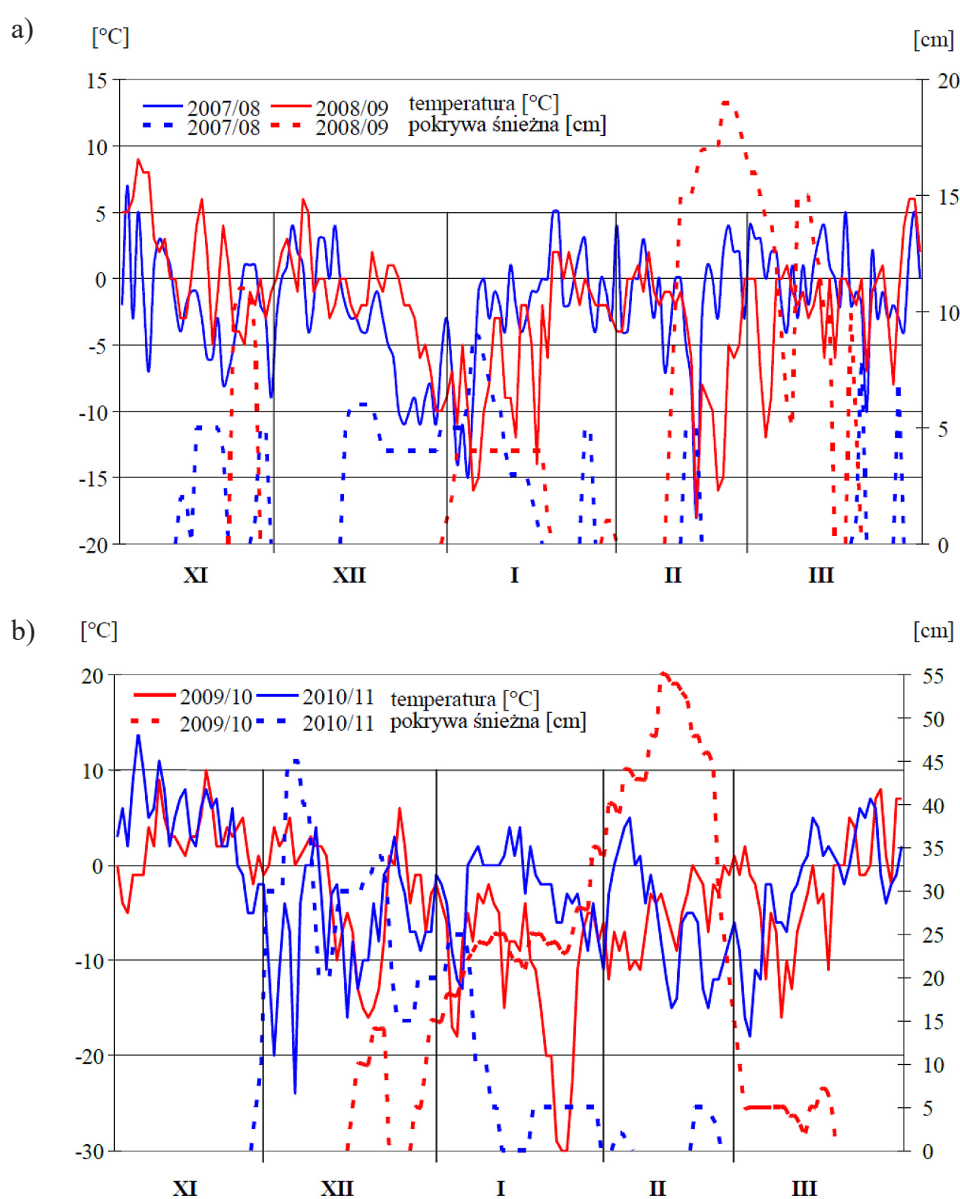
Tabela 1. Opady w Wielkopole w latach hydrologicznych 2008–2011 i wartości średnie z lat 1987–2011
Table 1. Precipitation in Wielkopole in the hydrological years 2008–2011 and average values from 1987–2011

Rok	Miesiąc												Suma [mm]
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
2008	45,7	19,7	42,3	21,3	78,9	49,3	70,2	39,0	102,3	77,8	108,9	52,1	707,5
2009	26,6	24,0	25,2	20,0	56,4	12,0	61,5	143,4	72,3	28,3	35,3	82,0	587,0
2010	41,1	47,6	35,5	37,5	14,8	29,4	100,8	71,8	169,5	200,5	102,8	16,4	867,7
2011	42,0	36,7	23,8	23,4	14,7	70,4	83,0	86,4	339,0	109,0	16,2	30,7	875,3
Średnia 1987-2011	39,8	34,0	31,5	30,2	39,8	50,9	61,1	74,4	97,1	73,1	65,2	39,0	636,1

349% średniomiesięcznego opadu z wielolecia w tym miesiącu. Natomiast najniższe opady odnotowano w miesiącach zimowo-wiosennych: XII 2008 r., IV 2009 r., oraz III 2010 i 2011 r. Opady te stanowiły odpowiednio około 58, 24 i 37% średniomiesięcznego opadu z wielolecia. Wysokość opadów nie jest rozłożona równomiernie w ciągu roku. Przeważają opady z okresu letniego i w okresie badań stanowiły one: 64% w roku 2008, 72% w roku 2009 i 76% w latach 2010 i 2011. Rozkłady opadów są zbliżone do wyników uzyskanych przez Mazura i in. [1990].

Zimą 2007–2008 roku pokrywa śnieżna występowała 7-krotnie i wskutek wzrostu tempera-

tury powietrza powyżej 0°C zanikała nie wywołując spływów powierzchniowych i szkód erozyjnych. Pierwsze opady śniegu wystąpiły w drugiej dekadzie listopada. Pokrywa śnieżna o miąższości 5 cm utrzymywała się tylko przez 10 dni (rys. 2a). W wyniku ocieplenia zanikała i pojawiała się ponownie pod koniec listopada, utrzymując się tylko przez cztery dni. Jej miąższość wynosiła 5 cm. Ponowne opady śniegu i spadki temperatury poniżej 0°C (maksymalnie –15°C w dniu 5 stycznia) odnotowano w połowie grudnia. Pokrywa śnieżna, o maksymalnej miąższości 9 cm (6 i 7 grudnia) zalegała wówczas do 18 stycznia. Następnie w wyniku ocieplenia i opadów deszczu



Rys. 2. Rozkład pokrywy śnieżnej i temperatury powietrza zimą w Wielkopole w latach 2007-2008 i 2008-2009 (a) oraz 2009-2010 i 2010-2011 (b)

Fig. 2. Distribution of snow cover and air temperature in winter in the years 2007-2008 and 2008-2009 (a) and 2009-2010 and 2010-2011 (b)

zanikła. Do końca zimy, pokrywa śnieżna pojawiała się jeszcze czterokrotnie. Jednak utrzymywała się tylko od jednego do trzech dni, a następnie zanikała w wyniku ocieplenia.

Zima roku 2008–2009 należała również do łagodnych. Pierwszy śnieg (11 cm) spadł w trzeciej dekadzie listopada, lecz po pięciu dniach stopniał w wyniku ocieplenia (rys. 2a). W grudniu, małe opady oraz temperatura oscylująca w okolicach 0°C nie sprzyjały zaleganiu śniegu. Dopiero pod koniec grudnia temperatura spadła do -10°C, a opady śniegu na początku stycznia sprawiły, że pokrywa śnieżna o miąższości 4 cm zalegała do końca drugiej dekady stycznia. W wyniku wzrostu temperatury powietrza i opadów deszczu 21 grudnia zanikła nie wywołując spływu powierzchniowego. Kolejne opady śniegu oraz ujemne temperatury powietrza na początku drugiej dekady lutego (maksymalnie -18°C w dniu 17 lutego) sprawiły, że pokrywa śnieżna o maksymalnej miąższości 19 cm (22–24 luty), utrzymywała się do połowy marca. Wzrost temperatury powietrza oraz opady deszczu (5,2 mm) w dniu 16 marca doprowadziły do stopnienia śniegu i spływu powierzchniowego.

Zima roku 2009–2010 należała do mroźnych z dużą ilością opadów śniegu. Po raz pierwszy tej zimy, ujemna temperatura powietrza wystąpiła na początku drugiej dekady grudnia (-10°C w dniu 13 grudnia). Pierwsze opady śniegu wystąpiły 16 grudnia (rys. 2b). Pokrywa śnieżna o maksymalnej miąższości 16 cm utrzymywała się do 22 grudnia. Dodatnia temperatura powietrza i opady deszczu (5,3 mm) doprowadziły do stopnienia śniegu. Spływ powierzchniowy nie wystąpił. Pod koniec grudnia opady śniegu i ujemna temperatura stworzyły korzystne warunki do tworzenia się pokrywy śnieżnej. W dniu 28 grudnia jej miąższość wynosiła 5 cm. Dalsze opady śniegu i ujemna temperatura powietrza (maksymalnie -30°C w dniach 25 i 26 stycznia) prowadziły do zwiększania jej miąższości, maksymalnie do 55 cm w dniach 13–14 luty. W kolejnych dniach temperatura powietrza oscylowała w okolicach 0°C i miąższość pokrywy śnieżnej stopniowo malała, zanikając w dniu 18 marca. Wystąpił wówczas spływ powierzchniowy i odpływ wody poza zlewnię.

Zima roku 2010–2011 należała również do mroźnych i śnieżnych. Ujemna temperatura powietrza i pierwsze opady śniegu wystąpiły pod koniec listopada. W dniu 27 listopada utworzyła się pokrywa śnieżna o miąższości 5 cm, która utrzymywała się do 13 stycznia (rys. 2b). Jej maksymalną miąższość (45 cm) odnotowano w dniach

3-5 stycznia. Spadki temperatury powietrza dochodziły wówczas do -24°C. Pod koniec pierwszej dekady stycznia, dodatnia temperatura powietrza i opady deszczu 8 stycznia (3,5 mm) sprawiły, że śnieg zaczął szybko tajać i zanikł 13 stycznia. Dodatkowo opady deszczu w dniach 14 stycznia (6,1 mm) oraz 15 stycznia (7,4 mm) doprowadziły do spływu powierzchniowego i odpływ wody poza zlewnię. Do końca zimy, pokrywa śnieżna pojawiała się jeszcze trzykrotnie, a jej miąższość osiągała maksymalnie 5 cm. Jednak utrzymywała się krótko, a następnie zanikała w wyniku ocieplenia nie wywołując spływu powierzchniowego.

Temperatury powietrza zimą oraz opady śniegu decydują o tworzeniu się pokrywy śnieżnej oraz jej miąższości. Temperatura powietrza wahała się od +5 do -30°C, a miąższość pokrywy śnieżnej od 5 do 55 cm (rys. 2a i 2b). Na podstawie obserwacji tajania śniegu można stwierdzić, że spływ roztopowy wód, generujący erozję gleb, występuje w przypadku szybkiego tajania pokrywy śnieżnej o miąższości wynoszącej co najmniej 15 cm, lub gdy gleba jest zamrznięta i nie retencjonuje wody z topniejącego śniegu. Opady deszczu występujące pod koniec topnienia śniegu potęgują spływ powierzchniowy. Potwierdzają to również badania wykonane przez Mazura i Pałysa [2004, 1991a] Mazura i in. [1990] oraz Mazura i Wnuczka [2006].

W roku 2008 natężenie procesów erozji powierzchniowej i żłobinowej na terenie zlewni było bardzo małe. Wpłynęły na to głównie warunki meteorologiczne jakie występowały w tym czasie. Niskie opady śniegu oraz mała miąższość pokrywy śnieżnej, a także niezamrznięta gleba w okresie zimowym, powodowały dobre retencjonowanie wody oraz brak spływów powierzchniowych i szkód erozyjnych. Spływ powierzchniowy w zlewni wystąpił czterokrotnie po opadach burzowych, których wysokości wahały się od 16,0 do 32,5 mm (tab. 2), a chwilowe intensywności osiągały wartości od 16,5 do 25,4 mm·h⁻¹. Małe opady deszczu o niskiej intensywności sprawiły, że w zlewni wystąpiły jedynie nieliczne procesy erozji powierzchniowej na polach zlokalizowanych na zboczach i obsianych zbożami jarymi oraz z roślinami okopowymi (głównie w maju). Lokalne rozmywy liniowe w postaci erozji żłobinowej zaobserwowano na drogach gruntowych, w dnach niecek denudacyjnych, gdzie koncentrowała się spływająca woda, a także na polach z roślinami okopowymi i w wyoranych bruzdach. Płaty odłożonych namulów inwentaryzowano głównie na powierzchniach zadarnionych, polach obsia-

Tabela 2. Odpływ wody, gleby oraz szkody erozyjne w zlewni w Wielkopole w latach 2008-2011**Table 2.** Water outflow, soil and erosive damage in the catchment in Wielkopole in 2008-2011

Data spływu	Opad [mm]	Odpływ poza zlewnię		Objętość żłobin [m ³ ·km ⁻²]	Zmyw pow. [m ³ ·km ⁻²]	Objętość namulów [m ³ ·km ⁻²]	Zmyw gleby [mm]
		wody [mm]	gleby [Mg·km ⁻²]				
2.05.2008	19,8	–	–	17,37	8,13	2,53	0,026
18.05.2008	18,4	–	–	22,20	–	3,72	0,022
7.07.2008	32,5	–	–	38,21	12,35	9,23	0,027
20.09.2008	16,0	–	–	3,45	9,82	15,26	0,013
23-24.03.2009	–	–	–	8,75	6,14	5,51	0,008*
19.05.2009	18,9	0,77	18,79	38,74	81,50	18,86	0,120
23.06.2009	20,3	–	–	12,35	22,31	9,28	0,034
25.06.2009	52,3	0,45	1,26	27,94	35,10	20,27	0,063
18-19.03.2010	–	0,32	1,32	69,23	45,28	38,45	0,115*
3.06.2010	23,7	–	–	5,42	8,61	5,25	0,014
24.07.2010	59,8	1,75	17,43	46,45	28,23	51,23	0,075
6.08.2010	40,5	2,32	13,87	46,12	29,45	28,11	0,076
9.08.2010	63,6	4,01	28,42	81,35	84,56	49,45	0,166
30.08.2010	41,5	1,24	11,23	29,18	15,42	23,45	0,045
14-15.01.2011	–	9,32	35,21	86,41	12,45	48,12	0,100*
12.04.2011	26,0	–	–	11,12	21,23	15,32	0,033
3.05.2011	32,2	–	–	16,48	25,54	18,45	0,042
29.06.2011	28,5	–	–	12,45	14,24	8,45	0,027
4.07.2011	31,5	2,43	23,27	42,86	35,47	31,24	0,078
5.07.2011	57,2	5,34	27,25	55,76	34,56	39,12	0,090
15.07.2011	32,2	–	–	14,29	9,68	11,63	0,024
20.07.2011	32,1	–	–	12,56	8,14	10,45	0,021
27.07.2011	42,2	0,42	1,35	29,53	29,27	18,23	0,059
14.08.2011	36,5	–	–	19,25	22,45	21,86	0,042
18.08.2011	22,2	–	–	9,56	11,24	9,12	0,021

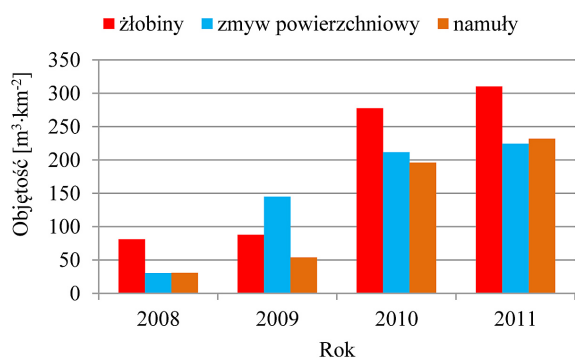
* Spływ roztopowy.

nych oziminami, a także w zalesionym wąwozie. Objętości inwentaryzowanych żłobin wahały się od 3,45 do 38,21 m³·km⁻², zmyw powierzchniowy maksymalnie osiągał 12,35 m³·km⁻², a objętości namulów wahały się od 2,53 do 15,26 m³·km⁻². Łączna objętość żłobin w 2008 roku wyniosła 81,23 m³·km⁻², zmyw powierzchniowy oszacowano na 30,30 m³·km⁻², a objętość osadzonych namulów wyniosła 30,74 m³·km⁻² (rys. 3). Zmyw gleby w przeliczeniu na powierzchnię zlewni wyniósł 0,088 mm.

W roku 2009 powolne topnienie śniegu, hamowane dodatkowo nocnymi przymrozkami oraz niezamarznięta gleba sprawiły, że woda ze śniegu w większości została zmagazynowana w glebie. Odpływ ze zlewni nie wystąpił, a lokalne spływy powierzchniowe nie wyrządziły dużych szkód erozyjnych. Erozję liniową i powierzchniową inwentaryzowano głównie na polach bez

okrywy roślinnej. Dodatkowo erozję liniową zaobserwowano na drogach gruntowych. Objętość żłobin zinwentaryzowanych po tym spływie wyniosła 8,75 m³·km⁻², zmyw powierzchniowy oszacowano na 6,14 m³·km⁻², a objętość osadzonych namulów wyniosła 5,51 m³·km⁻² (tab. 2).

W wyniku opadów burzowych w zlewni trzykrotnie wystąpiły spływy powierzchniowe, z czego dwukrotnie odnotowano odpływ wody poza przekrój hydrometryczny zamykający zlewnię. Pierwszy spływ powierzchniowy i odpływ wody ze zlewni miał miejsce 19 maja po opadzie burzowym o wysokości 18,9 mm i maksymalnym natężeniu 95,1 mm·h⁻¹. Ze zlewni odpłynęło wówczas 0,77 mm wody oraz 18,79 Mg·km⁻² gleby. Nie-wysoki opad, ale o dużym natężeniu, doprowadził do dużego uaktywnienia się procesów denudacyjnych. Dominującą formą erozji była erozja powierzchniowa. Zmyw powierzchniowy osza-



Rys. 3. Zinventaryzowane objętości szkód erozyjnych w latach 2008-2011 w zlewni w Wielkopole
Fig. 3. The inventory volumes of the erosive damage in 2008-2011 in the catchment in Wielkopole

cowano wówczas na $81,50 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$, a objętość żłobin wyniosła $38,74 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$. Kolejny opad burzowy w dniu 23 czerwca o wysokości $20,3 \text{ mm}$ i maksymalnym natężeniu $13,4 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ wywołał spływ powierzchniowy i mniej szkód erozyjnych na polach. Objętość zmywu powierzchniowego oszacowano na $22,31 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$, a żłobin na $12,35 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$. W dniu 25 czerwca opad wyniósł aż $52,3 \text{ mm}$. Jego chwilowe natężenie wynosiło $128,4 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$. Ze zlewni odpłynęło wówczas $0,45 \text{ mm}$ wody oraz $1,26 \text{ Mg} \cdot \text{km}^{-2}$ gleby. Objętość żłobin wyniosła $27,94 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$, a zmyw powierzchniowy oszacowano na $35,10 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$. Najwięcej szkód erozyjnych w postaci żłobin inventaryzowano w miejscach gdzie koncentrowała się spływająca woda (dna niecek denudacyjnych, w dnie wąwozu dolinowego i jego bocznych odgałęzieniach, drogach gruntowych, na polach z roślinami okopowymi, w brzdach). Erozja powierzchniowa występowała głównie na polach obsianych zbożami jarymi (szczególnie podczas spływu majowego), a także z uprawą roślin okopowych. Zboża ozime dostatecznie dobrze chroniły glebę przed erozją. Łączna objętość żłobin w 2009 roku wyniosła $87,78 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$, zmyw powierzchniowy oszacowano na $145,05 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$, a objętość osadzonych namułów wyniosła $53,92 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$ (rys. 3). Zmyw gleby w przeliczeniu na powierzchnię zlewni wyniósł $0,225 \text{ mm}$. Poza zlewnię odpłynęło $1,22 \text{ mm}$ wody, co stanowi $0,2\%$ opadu rocznego, a razem z wodą w postaci zawiesiny glebowej odpłynęło $20,05 \text{ Mg} \cdot \text{km}^{-2}$ gleby (rys. 5).

W 2010 roku w dniach 18–19 marca odnotowano spływ roztopowy i odpływ ze zlewni w wysokości $0,32 \text{ mm}$ wody oraz $1,32 \text{ Mg} \cdot \text{km}^{-2}$ gleby (tab. 2). Spływ powierzchniowy wyrządził wiele szkód erozyjnych. Objętość żłobin wynio-

śla wówczas $69,23 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$. Zmyw powierzchniowy oszacowano na $45,28 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$, a objętość namułów wyniosła $38,45 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$. Erozję liniową i powierzchniową inventaryzowano głównie na polach pozbawionych roślinności. W mniejszym stopniu działała na polach obsianych oziminami, natomiast na stokach zadarnionych i zalesionych nie stwierdzono procesów erozyjnych – wystąpiła tu głównie akumulacja. Erozję liniową inventaryzowano także na drogach gruntowych i w dnie wąwozu dolinowego. Na stromych zboczach wąwozu pozbawionych okrywy roślinnej, zaobserwowano soliflukcję, obrywy i osuwiska. Jednak zjawiska te nie występowały na duża skalę i ich znaczenie rzeźbotwórcze było niewielkie. W wyniku opadów burzowych w zlewni pięciokrotnie wystąpiły spływy powierzchniowe, z czego czterokrotnie odnotowano odpływ wody poza przekrój hydrometryczny zamykający zlewnię. W dniu 3 czerwca po opadzie burzowym $23,7 \text{ mm}$ i maksymalnym natężeniu $12,8 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ wystąpił spływ powierzchniowy. Natężenie erozji w zlewni było małe, bowiem dobrze rozwinięta roślinność na polach uprawnych skutecznie chroniła glebę przed erozją. Nieliczne szkody erozyjne w postaci erozji powierzchniowej i liniowej zaobserwowano na polach z roślinami okopowymi. Kolejny opad burzowy w dniu 24 lipca o wysokości $59,8 \text{ mm}$ i maksymalnym natężeniu $111,8 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$, spowodował odpływ ze zlewni oraz szkody erozyjne. Erozja żłobinowa ($46,45 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$) występowała głównie na polach z roślinami okopowymi, dnach niecek denudacyjnych, drogach gruntowych i w wąwozie. Z kolei erozja powierzchniowa ($28,23 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$) występowała głównie na polach ze zbożami. Poza zlewnię odpłynęło $1,75 \text{ mm}$ wody i $17,43 \text{ Mg} \cdot \text{km}^{-2}$ gleby. Kolejne dwa opady burzowe miały miejsce 6 i 9 sierpnia. Wywołały one odpływ ze zlewni oraz liczne szkody erozyjne. Bardzo gwałtowny opad deszczu ($63,6 \text{ mm}$) wystąpił 9 sierpnia (najwyższy w okresie badań). Jego natężenie dochodziło do $156,4 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$. Odpływ wody ze zlewni wyniósł wówczas $4,01 \text{ mm}$, a gleby $28,42 \text{ Mg} \cdot \text{km}^{-2}$. Na polach rejestrowano erozję liniową ($81,35 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$) oraz erozję powierzchniową ($84,56 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$). Największe szkody erozyjne odnotowano na polach gdzie wykonano podorywkę po rzepaku oraz zbożach. Akumulacja materiału glebowego ($49,54 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$) występowała głównie na zadarnionych i zalesionych stokach, w dnach dolinek i dnie dolnego odcinka wąwozu (szerokie dno o małym spadku). Kolejny opad 30 sierpnia o wy-

sokości 41,5 mm i natężeniu 28,6 mm·h⁻¹, spowodował odpływ wody ze zlewni w wysokości 1,24 mm, a odpływ gleby wyniósł 11,23 Mg·km⁻². Objętość żłobin obliczono na 29,18 m³·km⁻², spływ powierzchniowy oszacowano na 15,42 m³·km⁻², a objętość namulów na 23,45 m³·km⁻². Lokalizacja szkód erozyjnych była podobna do wcześniej opisanych. Łącznie w 2010 roku objętość żłobin wyniosła 277,75 m³·km⁻², zmyw powierzchniowy oszacowano na 211,55 m³·km⁻², a objętość osadzonych namulów wyniosła 195,94 m³·km⁻² (rys. 3). Zmyw gleby w przeliczeniu na powierzchnię zlewni wyniósł 0,490 mm. Odpływ wody poza zlewnię wyniósł 9,64 mm wody, co stanowi 1,1% opadu rocznego. Z wodą poza zlewnię odpłynęło 72,27 Mg·km⁻² gleby (rys. 5).

W roku 2011 spływ roztopowy i odpływ poza zlewnię odnotowano w dniach 14–15 stycznia. Poza zlewnię odpłynęło wówczas 9,32 mm wody oraz 35,21 Mg·km⁻² gleby. W zlewni powstało dużo szkód erozyjnych. Erozję liniową i powierzchniową inwentaryzowano głównie na polach bez okrywy roślinnej. Pola obsiane ozimami chroniły dobrze glebę przed erozją, chociaż miejscami również obserwowano jej działanie (głównie erozja powierzchniowa). Dodatkowo erozję liniową zaobserwowano na drogach gruntowych, w dnach niecek denudacyjnych i w dnie wąwozu. W wąwozie na stromych zboczach bez okrywy roślinnej, wystąpiła soliflukcja, obrywy i osuwiska. Jednak zjawiska te nie zachodziły na dużą skalę i ich znaczenie rzeźbotwórcze było niewielkie. Objętość żłobin zinwentaryzowanych po tym spływie wyniosła 86,41 m³·km⁻², zmyw powierzchniowy oszacowano na 12,45 m³·km⁻², a objętość osadzonych namulów wyniosła 48,12 m³·km⁻² (tab. 2). W wyniku opadów burzowych w zlewni aż dziesięciokrotnie wystąpiły spływy powierzchniowe, z czego tylko trzykrotnie odnotowano odpływ wody poza przekrój hydrometryczny zamykający zlewnię. Pierwsze trzy spływy powierzchniowe (12.04, 3.05 i 29.06) wywołane opadami burzowymi o wysokościach od 26 do 32,2 mm i maksymalnych natężeniach od 18,6 do 28,4 mm·h⁻¹, nie wyrządziły dużych szkód erozyjnych na obszarze zlewni. Objętości zinwentaryzowanych żłobin wahały się od 11,12 do 16,48 m³·km⁻², z zmywu powierzchniowego od 14,24 do 25,54 m³·km⁻². Objętości namulów oszacowano od 8,45 do 18,45 m³·km⁻². Erozję liniową i powierzchniową inwentaryzowano głównie na polach bez okrywy roślinnej i drogach gruntowych. A płyty odłożonych namulów

na powierzchniach zadarnionych i zalesionych oraz na polach obsianych ozimami. Podczas spływu w dniu 29 czerwca najczęściej szkód erozyjnych ewidencjonowano na polach z roślinami okopowymi i drogach gruntowych. Kolejne dwa opady burzowe 4 i 5 lipca o wysokościach 31,5 oraz 57,2 mm i chwilowych natężeniach wynoszących odpowiednio 82,3 oraz 152,6 mm·h⁻¹, spowodował odpływ ze zlewni oraz szkody erozyjne. Objętości zinwentaryzowanych żłobin wyniosły odpowiednio 42,86 oraz 55,76 m³·km⁻². Zmyw powierzchniowy oszacowano na około 35 m³·km⁻², a objętość namulów na 31,24 i 39,12 m³·km⁻². Erozja żłobinowa występowała głównie na polach z roślinami okopowymi, dnach niecek denudacyjnych, drogach gruntowych i w wąwozie. Z kolei erozję powierzchniową inwentaryzowano głównie na polach ze zbożami. Poza zlewnię odpłynęło odpowiednio 2,43 oraz 5,34 mm wody, a także 23,27 i 27,25 Mg·km⁻² gleby. Kolejne opady burzowe deszczu powodowały jeszcze pięciokrotnie spływ powierzchniowy w zlewni, a tylko 27 lipca dodatkowo wystąpił odpływ wody ze zlewni (0,42 mm wody oraz 1,35 Mg·km⁻² gleby). Wysokości opadów wahały się od 22,2 do 42,2 mm, a ich chwilowe intensywności wynosiły od 16,2 do 78,9 mm·h⁻¹ (najwyższa intensywność w dniu 27 lipca). Podczas opadów lipcowych najczęściej szkód erozyjnych powstało na polach z roślinami okopowymi i na drogach gruntowych. Na polach ze zbożami lokalnie rejestrowano głównie erozję powierzchniową. Natomiast podczas opadów sierpniowych najczęściej szkód powstało na polach gdzie wykonano podorywkę po rzepaku i zbożach. Płyty odłożonych namulów rejestrowano głównie na płaskich fragmentach terenu, na powierzchniach zadarnionych i zalesionych, oraz w dolnym odcinku dna wąwozu dolinowego. Zinwentaryzowana objętość żłobin wahała się od 9,56 do 29,53 m³·km⁻². Spływ powierzchniowy oszacowano od 8,14 do 29,27 m³·km⁻², objętości osadzonych namulów od 9,12 do 21,86 m³·km⁻². Łącznie w 2011 roku objętość żłobin wyniosła 310,27 m³·km⁻², zmyw powierzchniowy oszacowano na 224,27 m³·km⁻², a objętość osadzonych namulów wyniosła 231,99 m³·km⁻² (rys. 3). Zmyw gleby w przeliczeniu na powierzchnię zlewni wyniósł 0,537 mm. Odpływ wody poza zlewnię wyniósł 17,51 mm wody, co stanowi 2% opadu rocznego. Razem z wodą poza zlewnię odpłynęło 87,08 Mg·km⁻² gleby (rys. 5).

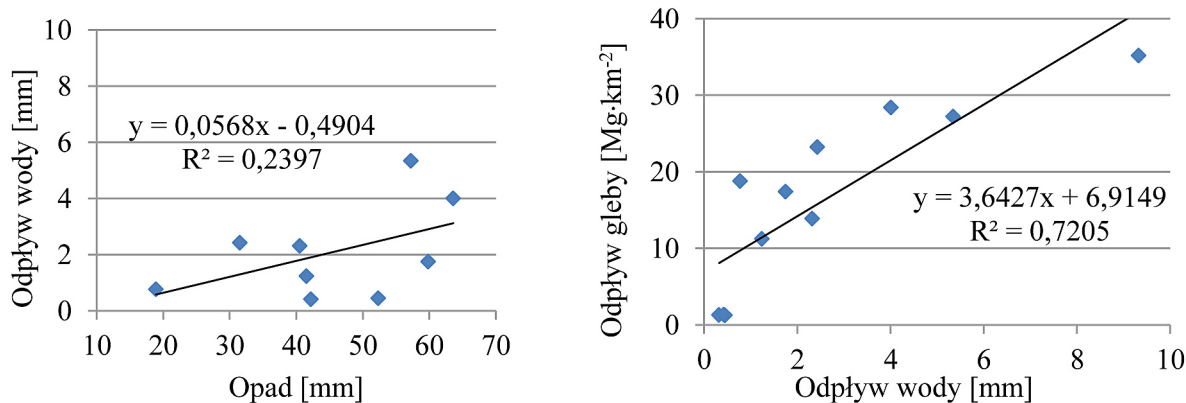
W warunkach przeprowadzonych badań, najczęściej szkód erozyjnych rejestrowano w roku

2010 i 2011 (rys. 3). Czyli w latach mokrych o wysokich opadach, wyższych o 36 i 38% od opadu średniorocznego. Ale wyniki badań wskazują, że wielkość szkód erozyjnych zinwentaryzowanych w zlewni, nie miała wyraźnego związku z wysokością opadów wywołujących spływ powierzchniowy. Często obserwowano, że pomimo wysokich opadów szkody erozyjne były mniejsze niż w przypadku opadów niższych. Zależność taką potwierdzają również badania Mazura [2009] oraz Mazura i Pałysa [2004, 2006]. Trudno również znaleźć ścisły związek między ilością odpływającej wody ze zlewni a wielkością szkód erozyjnych. Niejednokrotnie podczas wyższego odpływu ilość szkód erozyjnych w zlewni była mniejsza niż przy niższych odpływach. Przeprowadzone badania pokazują, że natężenie erozji gleb jest bardzo złożonym procesem. O intensywności erozji decyduje wiele lokalnych czynników, np.: okrywa roślinna, erozyjność opadów, podatność gleb na erozję, rzeźba terenu, użytkowanie, faza rozwoju roślin. Czynniki te są ze sobą wzajemnie powiązane i mogą potęgować lub ograniczać erozję gleb. Trudno zatem na podstawie jednego czynnika wnioskować o natężeniu erozji gleb. Również badania Laflena i Moldehauera [2003], Mazura i Pałysa [1991a], Shainberga i in. [2003], Święchowicz [2012] oraz Żmudy [2006], ukazują erozję wodną gleb jako bardzo złożony proces, będący wypadkową wielu powiązanych ze sobą czynników.

Odpływ wody poza zlewnię w latach 2009-2011 wahała się od 0,32 do 9,32 mm (tab. 2). Łącznie odpłynęło 28,37 mm wody, z czego około 60% to odpływ wywołany opadami burzowymi deszczu. Z zależności pomiędzy odpływem wody

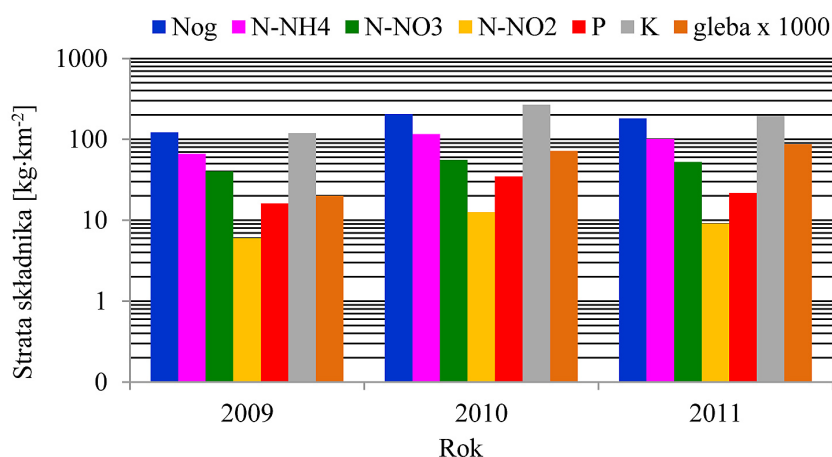
ze zlewni a wysokością opadu deszczu, przedstawionych na rysunku 4a wynika, że wysoki odpływ wody niekoniecznie zależy od wysokości opadu. Potwierdzają to badania przeprowadzone przez Mazura i Pałysa 1991b. Obliczona wartość współczynnika korelacji pomiędzy odpływem wody a opadem $r = 49$ (wskaźnik determinacji $R^2 = 0,24$), świadczy o korelacji przeciętnej [Stanisz 2006]. Razem z odpływającą wodą poza zlewnię wystąpił odpływ gleby, który w latach 2009-2011 wahał się od 1,35 do 35,21 $\text{Mg}\cdot\text{km}^{-2}$ (tab. 2). W ciągu trzech lat, poza zlewnię łącznie odpłynęło 179,40 $\text{Mg}\cdot\text{km}^{-2}$ gleby, z czego około 80% to odpływ gleby podczas wiosenno-letnich opadów burzowych deszczu. Odpływ gleby w funkcji odpływu wody poza zlewnię przedstawiono na rysunku 4b. Z zależności tu przedstawionych wynika, że niekoniecznie o ilości odpływającej gleby można wnioskować na podstawie ilości odpływającej ze zlewni wody. Niejednokrotnie mniejszy odpływ wody dawał większy odpływ gleby. Potwierdzają to również badania wykonane przez Mazura [2009] oraz Mazura i Pałysa [1991a, 1991b, 2006]. Należy jednak podkreślić, że zależność jest wysoka, bowiem obliczona wartość współczynnika korelacji pomiędzy odpływem gleby a wody poza zlewnię $r = 0,85$ (wskaźnik determinacji $R^2 = 0,72$), wskazuje na korelację bardzo wysoką [Stanisz 2006].

Oprócz gleby razem z wodą w formie rozpuszczonej poza zlewnię odpływało rocznie: 122,6-205 $\text{kg}\cdot\text{km}^{-2}$ N-Nog, 66,6-116,8 $\text{kg}\cdot\text{km}^{-2}$ N-NH₄, 40,5-55,9 $\text{kg}\cdot\text{km}^{-2}$ N-NO₃, 6,0-12,6 $\text{kg}\cdot\text{km}^{-2}$ N-NO₂, 16,2-34,8 $\text{kg}\cdot\text{km}^{-2}$ P oraz 119,3-267,7 $\text{kg}\cdot\text{km}^{-2}$ K. Największe odpływy wszystkich badanych form azotu, a także fosforu i pota-



Rys. 4. Zależność pomiędzy odpływem wody ze zlewni a wysokością opadu a) oraz odpływem gleby a odpływem wody ze zlewni b)

Fig. 4. Relationship between the outflow of water from the catchment and the amount of precipitation a) and the outflow of soil and outflow of water from the catchment b)



Rys. 5. Odpływ wybranych składników chemicznych oraz gleby ze zlewni w Wielkopolu w latach 2009-2011
 Fig. 5. Outflow of selected chemical components and soil from the catchments in Wielkopole in 2009-2011

su, odnotowano w roku 2010, a najniższe w roku 2009 (rys. 5). Odpływy azotu ogólnego, fosforu i potasu z badanej zlewni były niskie w stosunku do podawanych w literaturze ($4,5\text{--}20\text{ kg ha}^{-1}$ N-Nog, $0,5\text{ kg ha}^{-1}$ P, $2\text{--}17\text{ kg ha}^{-1}$ K) [Koc 1998, Rajda i in. 1994; Żmuda 2006].

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Krajobrazy wyżynne Polski, szczególnie krajobrazy wyżyn lessowych (w tym Wyżyny Lubelskiej), cechuje mała lesistość i przewaga rolniczego użytkowania gleb, które odznaczają się dużą żyznością i produktywnością, ale są mało odporne na erozyjną degradację, co powoduje okresowo duże natężenie erozji gleb. Warunkiem ochrony gleb przed dalszą erozyjną degradacją jest kompleksowe rozwiązanie problemu np. poprzez prace urządzeniowo-rolne, z zachowaniem hierarchii potrzeb oraz właściwe rozmieszczenie podstawowych sposobów użytkowania gruntów (grunty orne, lasy, użytki zielone), a także zwiększanie lesistości i stosowanie barier przeciwoerozyjnych – szczególnie na rolniczo użytkowanych stokach.

Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski:

1. W wyniku spływów powierzchniowych wód w badanej zlewni zachodzą intensywne procesy erozji wodnej, które przekształcają rzeźbę zlewni i są przyczyną degradacji gleby.
2. Natężenie erozji wodnej w dużym stopniu zależy od przebiegu warunków meteorologicznych (opady burzowe, występowanie i tempo topnienia pokrywy śnieżnej) oraz sposobu i kierunku użytkowania terenu. Skośno- oraz

wzdłużstokowy kierunek uprawy zwiększa zagrożenie erozyjne.

3. Największe szkody erozyjne występują na zboczach, liniach ciekowych oraz drogach gruntowych. Silnie erodowane są gleby na stokach użytkowanych rolniczo – szczególnie narażone są gleby pozbawione okrywy roślinnej w trakcie spływów roztopowych lub wcześnie wiosennych opadów burzowych.
4. Rośliny okopowe oraz zboża jare (szczególnie wiosną) bardzo słabo chronią glebę przed erozją wodną. Nie należy uprawiać tych roślin na stokach. Dobrą glebochronną funkcją odznaczają się zboża ozime oraz użytki zielone (zadarnienia) i lasy.
5. Wielkość szkód erozyjnych, a także ilość odpływającej ze zlewni wody i gleby nie zależy od wielkości opadów deszczu, które wywołują spływy powierzchniowe i erozję gleb w zlewni.
6. Średnioroczna objętość zinwentaryzowanych szkód erozyjnych wyniosła około: żłobin – $189\text{ m}^3\cdot\text{km}^{-2}$, zmywu powierzchniowego – $153\text{ m}^3\cdot\text{km}^{-2}$, płatów osadzonych namulów – $128\text{ m}^3\cdot\text{km}^{-2}$. Natomiast średnioroczny zmyw gleby w przeliczeniu na powierzchnię zlewni wyniósł $0,335\text{ mm}$. Od 79 do 90% szkód erozyjnych powstało podczas opadów burzowych.
7. Średniorocznie poza zlewnię odpływało $7,1\text{ mm}$ wody oraz $44,85\text{ Mg}\cdot\text{km}^{-2}$ gleby. Odpływ wody jak i gleby poza zlewnię był większy podczas opadów burzowych i stanowił odpowiednio 66 i 79,4% odpływu całkowitego.
8. Poza zlewnię razem z wodą średniorocznie odpływało około: $127,2\text{ kg}\cdot\text{km}^{-2}$ N-Nog, $71,2\text{ kg}\cdot\text{km}^{-2}$ N-NH₄, $37,3\text{ kg}\cdot\text{km}^{-2}$ N-NO₃,

6,9 kg·km⁻² N-NO₂, 18,2 kg·km⁻² P oraz 145,6 kg·km⁻² K. Od 84 do 89% wyerodowanych i wynoszonych poza zlewnię składników chemicznych odpływało podczas opadów burzowych.

BIBLIOGRAFIA

- Arriaga F.J., Lowery B. 2003. Corn production on an eroded soil: effects of total rainfall and soil water storage. *Soil and Till. Res.*, 71, 87–93.
- Asiedu J.K. 2018. Assessing the Threat of Erosion to Nature-Based Interventions for Stormwater Management and Flood Control in the Greater Accra Metropolitan Area, Ghana. *J. Ecol. Eng.*, 19(1), 1–13.
- Banasik K., Górski D. 1990. Wyznaczenie erozyjności deszczy do uniwersalnego równania strat glebowych. *Zesz. Nauk. AR Wrocław*, 189, Melior. XXXIV, 103–109.
- Bocheńska T., Dowgiałło J., Kleczkowski A.S., Macioszczyk T., Rózkowski A. (red.) 2002. Słownik hydrogeologiczny [online]. Pr. zbior. Warszawa. PIG. [Dostęp: 20.09.2018]. https://www.mos.gov.pl/g2/kategoriaPliki/2009_04/d6e-1baf4ccc946e5c1f7cac62c532e96.pdf.
- Brański J. 1969. Oznaczenie ilości unosin metodą wagową, bezpośrednią przy użyciu sączków. *Pr. Inst. Hydrol. Melior.*, 94, 13-21.
- Duan X., Xie Y., Ou T., Lu H. 2011. Effects of soil erosion on long-term soil productivity in the black soil region of northeastern China. *Catena*, 87, 268–275.
- Hermanowicz W., Dojlido W., Dożańska W., Kosiorowski B., Zerbe J. 1999. Fizykochemiczne badania wody i ścieków. *Wyd. Arkady*, 558 ss.
- Hladký J., Novotná J., Elbl J., Kynický J., Juříčka D., Novotná J., Brtnický M., 2016. Impacts of Water Erosion on Soil Physical Properties *Acta Univ. Agric. Silv. Mendelianae Brun.*, 64, 1523–1527.
- Ijaz A., Khan F., Bhatti A.U. 2006. Some physico-chemical properties of soil as influenced by surface erosion under different cropping systems on upland-sloping soil. *Soil and Environ.*, 25(1), 28–34.
- Józefaciuk A., Józefaciuk Cz. 1999. Ochrona gruntów przed erozją. *Wyd. IUNG, Puławy*, 109 ss.
- Kim K., Kim B., Eum J., Seo B., Christopher L. Shope C. L., Peiffer S. 2018. Impacts of land use change and summer monsoon on nutrients and sediment exports from an agricultural catchment. *Water*, 10, 544, doi:10.3390/w10050544.
- Kiryłuk A., Rauba M. 2011. Wpływ rolnictwa na stężenie fosforu ogólnego w wodach powierzchniowych zlewni rzeki Śliny. *Inżynieria Ekologiczna*, 26, 122–132.
- Koc J. 1998. Wpływ intensywności użytkowania obszaru na wielkość odpływu biogenów z obszarów rolniczych. *Roczn. AR w Poznaniu*, 307/52, 101-106.
- Kondracki J. 2000. *Geografia regionalna Polski*. Wyd. Nauk. PWN, 468 ss.
- Koreleski K. 1997. Ochrona gruntów przed erozją w gospodarce przestrzennej. *Rocz. AR w Poznaniu*, 294, 195–202.
- Lafren J.M., Moldehauer W.C. 2003. Pioneering soil erosion prediction. The USLE story. *World Ass. Soil Water Conesrv., Spec. Publ.*, 1, Beijing, China, 1-43.
- Lobo D., Lozano Z., Delgado F. 2005. Water erosion risk assessment and impact on productivity of a Venezuelan soil. *Catena*, 64, 297–306.
- Mazur A. 2009. Erozja gleb w rolniczej zlewni lessowej na Roztoczu Zachodnim w latach 1988–2008. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 535, 269–275.
- Mazur A. 2018. Quantity and Quality of Surface and Subsurface Runoff from an Eroded Loess Slope Used for Agricultural Purposes. *Water*, 10, 1132, doi:10.3390/w10091132.
- Mazur A., Grzywina A., Król Ż., Gabryszuk J., Nieścioruk K., Obroślak R. 2015. Rozwój wąwozu drogowego w Gorzkowie (Wyżyna Lubelska). *Inżynieria Ekologiczna*, vol. 44, str. 89–94.
- Mazur A., Pałys S. 2004. Natężenie erozji wodnej gleb w rolniczej zlewni lessowej z okresowym odpływem. *Roczn. Gleb.*, 55(1), 175–180.
- Mazur A., Pałys S. 2006. Erozja wodna gleb w rolniczej zlewni lessowej na Wyżynie Lubelskiej w latach 1987-2005. *Rocz. AR w Poznaniu*, 375, 75–80.
- Mazur A., Wnuczek A. 2006. Erozja wodna gleb na przykładzie rolniczej zlewni lessowej w 2003 roku. *Wiad. Melior. i Łąk.*, 49(2), 69–72.
- Mazur Z., Pałys S. 1991a. Natężenie erozji wodnej w małych zlewniach terenów lessowych Wyżyny Lubelskiej w latach 1986–1990. *Wyd. AR w Lublinie*, 63–78.
- Mazur Z., Pałys S. 1991b. Erozja wodna gleb na lessach Roztocza zachodniego w latach 1988-1990 na przykładzie fragmentu zlewni rzeki Por. *Wyd. AR w Lublinie*, 79–92.
- Mazur Z., Pałys S., Grodzieński W., Mitrus W. 1990. Erozja wodna w okresie spływów roztopowych 1987 r. w dwu zlewniach rolniczych i leśnej na Wyżynie Lubelskiej. *Rocz. Nauk Roln., seria A*, 82(1/2), 81–99.
- Mioduszewski W. 2003. Mała retencja. Ochrona zasobów wodnych i środowiska naturalnego. *Wyd. IMUZ, Falenty*, 166 ss.
- Olson K.R. 2007. Soil organic carbon storage in

- southern Illinois woodland and cropland. *Soil Sci.*, 172, 623–630.
29. Pałys S. 2001. Erozja wodna w zlewniach z okresowym odpływem wody na Wyżynie Lubelskiej w latach 1987-1999. *Folia Univ. Agric. Stetin.*, 217, Agric., 87, 179–182.
30. Pałys S., Mazur Z. 1994. Erozja wodna gleb w zlewni rolniczej i leśnej na Wyżynie Lubelskiej. *Rocz. AR w Poznaniu*, 266, 129–137.
31. Papiernik S.K., Lindstrom M.J., Schumacher J.A., Farenhorst A., Stephens K.D., Schumacher T.E., Lobb D.A. 2005. Variation in soil properties and crop yield across an eroded prairie landscape. *J. Soil Water Conserv.*, 60, 388–395.
32. Rajda W., Ostrowski K., Kowalik T., Marzec J. 1994. Erozja chemiczna w mikrozwlewniach rolniczych na terenie podgórskim. *Rocz. AR w Poznaniu*, 266/14, 139-152.
33. Shainberg I., Mamedow A.I., Levy G.J. 2003. Role of wetting rate and rain energy in seal formation and erosion. *Soil Sci.*, 168, 54-62.
34. Smoroń S. 2012. Zagrożenie eutrofizacją wód powierzchniowych wyżyn lessowych Małopolski. *Woda Środ. Obsz. Wiej.*, 12, 1(37), 181–191.
35. Stanisz A. 2006. *Przystępny kurs statystyki. Tom 1.* Wyd. StatSoft Polska. Kraków, 532 ss.
36. Świątlik R., Dojlido J.R. 1999. *Metody analizy wody i ścieków.* Wyd. Politechn. Rad., 188 ss.
37. Świątchowicz J. 2012. Wartości progowe parametrów opadów deszczu inicjujących procesy erozyjne w zlewniach użytkowanych rolniczo. Wyd. IGiGP UJ, Kraków, 279 ss.
38. Young F.J., Hammer R.D. 2000. Soil-landform relationship on a loess-mantled landscape in Missouri. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61-4, 1443–1454.
39. Żmuda R. 2006. Funkcjonowanie transportu fluwialnego w małej zlewni zagrożonej erozją wodną. *Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu*, 544, 165 ss.