

Wpływ deszczów ulewnych i roztopów na rozwój wąwozu lessowego

Jan Rodzik*

Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Instytut Nauk o Ziemi, al. Kraśnicka 2 cd, 20-718 Lublin

Wprowadzenie

Erozja wąwozowa jest procesem w dużym stopniu kształtującym rzeźbę lessowych obszarów wyzynnych (Maruszczak 1973). Opanowanie wąwozów przez roślinność leśną znacznie ograniczyło ich rozwój, jednak w dalszym ciągu są to najbardziej aktywne geosystemy stokowe, na co wpływ mają uwarunkowania antropogeniczne, zwłaszcza rolnicze użytkowanie zlewni (Rodzik 2006). Spektakularna erozja występuje jednak incydentalnie – głównie podczas deszczów nawalnych – jej skutki badano więc metodą jednorazowego kartowania form erozyjnych, a wielkość erozji obliczano na podstawie ich kubatury (m.in. Buraczyński, Wojtanowicz 1974, Rodzik 1984). Z kolei metodę powtarzalnych pomiarów geodezyjnych stosowano tylko do określenia tempa intensywnego rozwoju niewielkich wąwozów o genezie drogowej (Ziemnicki, Naklicki 1971, Józefaciuk 1975).

Słabo poznane jest przekształcanie wąwozów podczas mniejszych deszczów ulewnych (Maruszczak 1986), a zwłaszcza roztopów, kiedy rozwijają się głównie formy sufozyczne (Gardziel, Rodzik 2005). Kilkuletnie pomiary odpływu wody i rumowiska z trzech zlewni wąwozowych (Józefaciuk, Karczewski 1991) zawierają znaczne luki z powodu braku kontroli deszczowych spływów nocnych i skutków erozji w obrębie wąwozów. Dlatego w celu m.in. określenia współczesnego tempa erozji wąwozowej podjęto – w ramach projektu KBN 3P04E 01322 – kompleksowe badania rozwoju wąwozu w latach 2003–2005. Kontynuowano je w latach 2006–2008 w ramach projektu PZB-KBN-086/P04/2003.

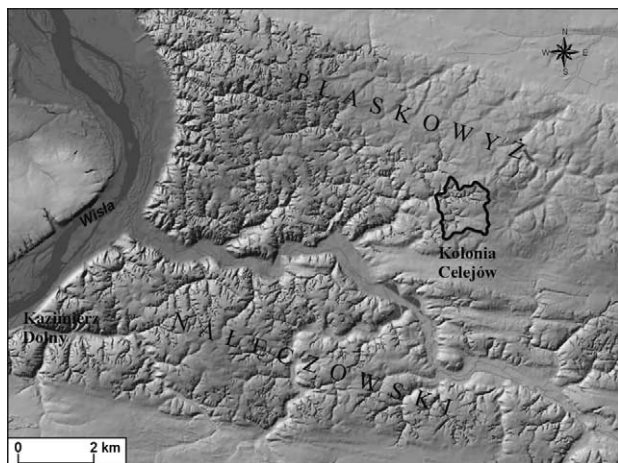
Charakterystyka terenu i metody badań

Wybrano zlewnię wąwozu lessowego w Kolonii Celejów o powierzchni 1,23 km² i deniwelacjach do 50 m (213–165 m n.p.m.), położoną w zachodniej części Płaskowyżu Nałęczowskiego (ryc. 1), na skraju najbardziej rozciętego obszaru w Polsce (Maruszczak 1973). Pokrywą lessową ze zlodowacenia *vistulian*, o miąższości 10–20 m, rozcina tu system wąwozów o głębokości 5–15 m i długości 7,5 km. Główne odnogi wcinają się w podlessowe utwory glacyfluwialne zlodowacenia *odranian*. Teren rozcięty przez wąwozy zajmuje 18% zlewni, pozostała część jest użytkowana rolniczo. Dominuje uprawa zbóż, ale obecnie 1/3 pól zajmują jagodniki i sady. Układ pól jest przeważnie zgodny ze spadkiem, co stymuluje erozję wykształconych tu gleb pługowych (*Luvisols*) i rozwój wąwozów, mimo ich utrwalenia przez wtórną sukcesję grądu *Tilio-Carpinetum* (Rodzik, Zgłobicki 2000, Zgłobicki 2002).

Średnia roczna temperatura powietrza w północno-zachodnim narożu Wyżyny Lubelskiej wynosi 7,7°C, zaś średnia roczna suma opadów (605 mm w Kazimierzu Dolnym) jest wyższa o 50–100 mm niż na obszarach sąsiednich. Pokrywa śnieżna zalega 75–80 dni i zwykle zanika w marcu, podobnie jak sezonowa zmarzlina. Przeciętnie 14 razy w roku występuje opad o sumie dobowej ≥ 10 mm (Siwek 2006). Raz na kilka lat notowane są opady o wysokości ok. 50 mm, natomiast co kilkadziesiąt lat zdarzają się opady katastrofalne, o wysokości ok. 100 mm (Rodzik, Janicki 2003).

W okresie badań mierzono wysokość pokrywy śnieżnej i opadów: deszczomierzem Hellmanna oraz

* e-mail: jan.rodzik@poczta.umcs.lublin.pl



Ryc. 1. Położenie zlewni Kolonii Celejów na tle mapy plastycznej (DEM) zachodniej części Płaskowyżu Natęczowskiego „Kraina wąwozów” opracowanej przez Hołub i in. (2006)

za pomocą cyfrowego pluwiografu TPG-023 firmy A-STER, zapisującego każde 0,1 mm opadu. Odpływ wody ze zlewni rejestrowano u wylotu głównego wąwozu – na przelewie trójkątnym Thomsona – limnigrafem cyfrowym THALIMEDES firmy OTT, z zapisem danych w programie HYDRAS. Podczas spływu co 1–2 godz. pobierano próby wody do pomiaru zmaczenia. Do określenia ładunku zawiesiny zastosowano funkcje potęgowe, obliczone ze związków między przepływem a zmaczeniem. Po każdym dużym spływie (lub serii spływów) mierzono powstałe formy erozyjne i akumulacyjne. Sumę akumulacji i odpływu materiału potraktowano jako erozję całkowitą. Wielkość erozji liniowej określono na podstawie pomierzonych rozcięć, natomiast wielkość niemierzalnej erozji podziemnej (sufozji) obliczono z różnicy między erozją całkowitą a erozją liniową.

Tabela 1. Wielkość spływu (mm) oraz erozji i akumulacji (m^3) podczas ulew i roztopów w zlewni wąwozu w Kolonii Celejów w latach 2003–2006

Roztopy i daty ulew ¹⁾	Spływ w mm	Erozja na polach ³⁾	Erozja w dnie wąwozu	Akum. w dnie wąwozu	Odpływ zawiesiny ⁴⁾	Sufozja ⁵⁾	Erozja całk. ⁶⁾
I–IV 2003*	26,6	4,5	19,2	136,1	72,9	185,3	209,0
II–III 2004*	1,9	0,2	1,0	8,1	0,3	7,2	8,4
III 2005*	5,9	0,7	9,3	50,3	2,1	42,4	52,4
4 V 2005	1,3	8,9	16,3	24,8	7,5	7,1	32,3
31 VII–4 VIII 2005	1,0	0,9	14,1	5,3	12,8	3,1	18,1
III 2006*	13,3	1,0	12,0	114,7	13,7	115,4	128,4
18–20 VIII 2006	0,8	1,2	8,5	4,6	9,5	4,4	14,1
Razem 2003–2006	59,2 ²⁾	17,4	80,4	344,0	118,8	364,9	462,7

* roztopy

¹⁾ epizody lub ich serie objęte jednym kartowaniem skutków geomorfologicznych

²⁾ w tym pozostały spływ deszczowy oraz bazowy z okresowych wycieków i wysięków

³⁾ bruzdy i zmywy na polach, z których materiał odpłynął do wąwozu

⁴⁾ przeliczony z ton na m^3 przy założeniu ciężaru objętościowego 1,3 g/cm³

⁵⁾ różnica erozji całkowitej oraz erozji w zlewni i w dnie wąwozu

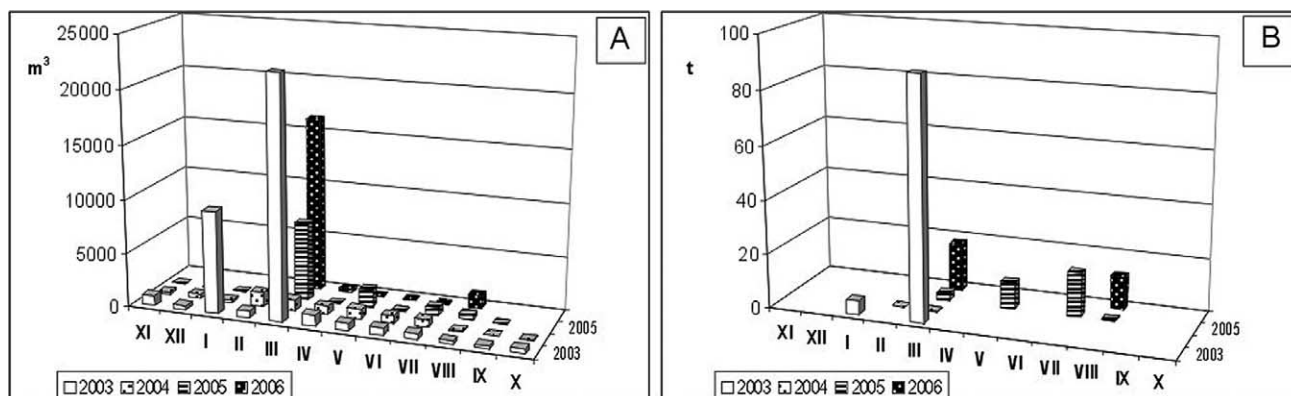
⁶⁾ suma: akumulacja + odpływ

Wyniki badań

Przedstawiono tylko wyniki z lat hydrologicznych 2003–2006, w których 10-krotnie z wąwozu wystąpił odpływ o „skutecznym” natężeniu >50 l/s, zaś w latach 2007–2008 odpływu takiego nie było. Okres 2003–2006 był suchy, ze średnią roczną sumą opadów 517 mm (od 418,9 w 2003 r. do 580,4 w 2006 r.). Stosunkowo mało było dni z opadem = 10 mm, od 8 w 2003 r. do 14 w 2006 r. Pięciokrotnie – wyłącznie w latach 2005–2006 – wystąpiły ulewy o sumach 15–65 mm i natężeniu do 0,6–2,4 mm/min, skutkujące przepływem u wylotu wąwozu >50 l/s, z maksimum 284 l/s (Furtak, Rodzik 2007). Były to – według klasyfikacji Chomicza (1951) – opady na pograniczu deszczu ulewnego A₄ i deszczu nawalnego B₁, jednak o małym współczynniku i wskaźniku odpływu, odpowiednio: 0,8–2,2% i 0,2–1,3 mm (tab. 1).

Zimy były z kolei dość śnieżne o maksymalnej grubości pokrywy 30–40 cm. Zimą 2002/2003 grunt był zlodzony i przemarznięty do 30 cm, podczas następnej (2003/04) prawie nie zamarzał, zimą 2004/05 przemarznięcie wynosiło 5–10 cm, a zimą 2005/2006 – 15–20 cm. Typowy spływ roztopowy odbywał się zwykle przez kilka dni w II i III dekadzie marca, a największy z nich (18,2 mm) miał miejsce w marcu 2003 r. (ryc. 2). Poza tym spływ roztopowy wystąpił w styczniu (2 razy) i kwietniu 2003 oraz w lutym 2004 r. Jego wielkość determinowana była głównie miąższością zmarzliny oraz towarzyszącymi opadami deszczu, takimi jak np. 28 marca 2006 r., kiedy odnotowano maksymalny przepływ 382 l/s.

W ciągu czterech lat odpłynęło z badanej zlewni 72 800 m³ wody i 155 t zawiesiny. 31% odpływu wody i 58% odpływu zawiesin wystąpiło podczas kilkudniowego spływu roztopowego w marcu 2003. Był to



Ryc. 2. Sumy miesięczne odpływu wody (A) i zawiesiny (B) ze zlewni Kolonii Celejów w latach 2003–2006 (wg Rodzika i in. 2007)

Tabela 2. Udział spływów roztopowych i deszczowych w rozwoju wąwozu w Kolonii Celejów w latach 2003–2006

Procesy ¹⁾	Suma 2003–2006 m ³	Średnia roczna m ³	Roztopowe %	Deszczowe %
Odpływ wody ²⁾	72800,0	18200,0	81	6
Odpływ zawiesiny	118,8	29,7	75	25
Akumulacja w dnie wąwozu	344,0	86,0	90	10
Erozja całkowita	462,7	115,7	86	14
Erozja na polach	17,4	4,4	37	63
Erozja w dnie wąwozu	80,4	20,1	51	49
Sufozja na zboczach	364,9	91,2	96	4

¹⁾obliczane analogicznie jak w tabeli 1

²⁾w tym odpływ bazowy z wysięków i wycieków (13%) bez skutków erozyjnych

drugi co do wielkości spływ roztopowy w ostatnim 25-leciu w tym regionie. Na jego wielkość (18,2 mm) wpłynęło głębokie przemarznięcie gruntu i zlodzenie podczas dwóch styczniowych odwilży z opadami deszczu, kiedy dodatkowo spłynęło 7,8 mm wody. Aż 52% wody i 61% zawiesiny z 4-lecia odpłynęło w 2003 r., w którym nie wystąpił „skuteczny” spływ deszczowy.

Średni roczny odpływ wody wynosił 18 200 m³, a wskaźnik odpływu 14,8 mm. Odpływ roztopowy stanowił 81% tej wielkości, odpływ po ulewnych deszczach 6%, a pozostałą część stanowił odpływ bazowy z wycieków i wysięków, funkcjonujący w pierwszych latach badań. W ładunku zawiesin udział roztopów wyniósł 75%, natomiast ulew 25% (tab. 2). Średni roczny odpływ zawiesiny wyniósł 38,6 t, czyli 31,4 t/km², jednak poza zlewnię odpłynęła tylko 1/4 materiału, natomiast większość została akumulowana w dnie wąwozu w postaci pokryw i stożków proluwialnych. Średnia roczna masa uruchomionego – głównie przez sufozję – materiału wyniosła 159,4 t, czyli 129,6 t/km².

Dyskusja i wnioski

Przedstawione wyniki wskazują, że w strukturze genetycznej odpływu z wąwozów lessowych Wyżyny Lubelskiej dominuje odpływ roztopowy, a erozja wąwozowa zachodzi głównie podczas roztopów. Wyciągnięcie wniosków wymaga jednak porównania z wynikami innych pomiarów spływu i erozji w tym regionie (m.in. Józefaciuk, Karczewski 1991, Mazur, Pałys 1992), a zwłaszcza określenia reprezentatywności okresu badań.

Porównanie to wskazuje, że warunki formowania spływu roztopowego w latach 2003–2006, a także jego wielkość i intensywność, były co najmniej przeciętne. Roczny wskaźnik całkowitego spływu powierzchniowego (14,8 mm) był natomiast dwukrotnie niższy od wieloletniego w tym regionie (Michalczyk, Wilgat 1998). Można więc sądzić, że spływ opadowy w latach 2003–2006 był znacznie niższy od średniego wieloletniego, z przyczyny niższej od średniej sumy opadów oraz liczby deszczów ulewnych, zwłaszcza o dużej wydajności. Nie wystąpiły np. spływy deszczowe o natężeniu >1 m³/s, jakie w badanej zlewni obserwowano w latach 1997 i 1999, kiedy

znacznie rozcięte zostało dno wąwozu, a materiał wyniesiony poza zlewnię (Rodzik, Zgłobicki 2000, Zgłobicki 2002).

Oceniono, że gdyby okres badań objął jeden taki rok, średni wskaźnik denudacji mechanicznej wzrósłby przynajmniej 3-krotnie, osiągając 100 t/km^2 , i dorównałby wielkością sufozji, a także akumulacji. Oprócz wzrostu odpływu i natężenia przepływu do silniejszej erozji w latach mokrych przyczynia się większa wilgotność lessu, znacznie podwyższająca podatność na rozmywanie (Frankowski, Grabowski 2006). Poza tym stwierdzono, że wraz ze wzrostem natężenia przepływu deszczowego następował gwałtowny wzrost zmacenia ($y=13,591x^{1,4204}$), podczas gdy w fazie wzrostu spływu roztopowego wzrost zmacenia był znacznie mniejszy ($y=0,4791x^{1,4396}$). Podczas zdarzających się raz na 50–100 lat opadów katastrofalnych dochodzi do wynoszenia materiału z wąwozów nawet w postaci spływów błotnych lub gruzowo-błotnych w ilości 4000–10 000 t/km (Buraczyński, Wojtanowicz 1974, Rodzik 1984, Rodzik, Janicki 2003). Jeśli uwzględnić taki hipotetyczny spływ, średni wskaźnik denudacji jednostkowej mógłby osiągnąć nawet 200 t/km^2 na rok.

Na różną rolę spływu roztopowego i deszczowego w wąwozach zwrócili uwagę Gardziel i Rodzik (2005). Jednak dopiero wyniki przedstawionych tu szczegółowych i kompleksowych badań ilościowych – a także ich porównanie z wynikami wcześniejszych badań – upoważniają do stwierdzenia, że skutki tych spływów są przeciwstawne. Spływ roztopowy powoduje głównie przestrzenny rozwój systemów wąwozowych i ich wypływanie. Spływ deszczowy natomiast pogłębia wąwozy i wynosi materiał poza ich zlewnie.

Literatura

- Buraczyński J., Wojtanowicz J. 1974. Rozwój wąwozów lessowych w okolicy Dzierzkowic na Wyżynie Lubelskiej pod wpływem gwałtownej ulewy w czerwcu 1969 roku. *Ann. UMCS, B*, 26: 135–168.
- Chomicz K. 1951. Ulewy i deszcze nawalne w Polsce. *Wiad. Służby Hydrolog. i Meteorolog.*, 2, 3: 5–88.
- Frankowski Z., Grabowski D. 2006. Geologiczno-inżynierskie i geomorfologiczne uwarunkowania erozji wąwozowej w lessach w rejonie Kazimierza Dolnego. *Przegl. Geol.*, 54, 9: 777–783.
- Furtak T., Rodzik J. 2007. Charakterystyka odpływu ze zlewni wąwozu lessowego na Wyżynie Lubelskiej. [W:] Z. Michalczyk (red.), *Obieg wody w środowisku naturalnym i przekształconym. Badania hydrograficzne w poznawaniu środowiska*, 8. Wyd. UMCS, Lublin, s. 219–226.
- Gardziel Z., Rodzik J. 2005. Rozwój wąwozów lessowych podczas wiosennych roztopów na tle układu pól (na przykładzie Kazimierza Dolnego). [W:] A. Kotarba, K. Krzemień, J. Święchowicz (red.), *Współczesna ewolucja rzeźby Polski. VII Zjazd Geomorfologów Polskich*, Kraków, 19–22.09.2005, s. 125–132.
- Józefaciuk Cz. 1975. Rozwój wąwozów nieumocnionych i umocnionych. *Pam. Puł.*, 65: 143–160.
- Józefaciuk A., Karczewski A. 1991. Struktura okresowych spływów powierzchniowych w lessowych mikrozwlewniach. *Pam. Puł.*, 98: 155–171.
- Maruszczak H. 1973. Erozja wąwozowa we wschodniej części pasa wyżyn południowopolskich. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 151: 15–30.
- Maruszczak H. 1986. Tendencje sekularne i zjawiska ekstremalne w rozwoju rzeźby małopolskich wyżyn lessowych w czasach historycznych. *Czas. Geogr.*, 57, 2: 271–282.
- Mazur Z., Pałys S. 1992. Erozja wodna w zlewni lessowej na Lubelszczyźnie w latach 1956–1991. *Ann. UMCS, E*, 47: 219–229.
- Michalczyk Z., Wilgat T. 1998. Stosunki wodne Lubelszczyzny. *Badania hydrograficzne w poznawaniu środowiska*, 4. Wyd. UMCS, Lublin, s. 1–167.
- Rodzik J. 1984. Natężenie współczesnej denudacji w silnie urzeźbionym terenie lessowym w okolicy Kazimierza Dolnego. *Przewodnik Ogólnopolskiego Zjazdu PTG, Lublin 13–15 IX 1984*, cz. 2, s. 125–130.
- Rodzik J. 2006. Wąwozy – naturalne czy kulturowe elementy krajobrazu? *Probl. Ekologii Krajobrazu*, 18: 457–464.
- Rodzik J., Furtak T., Zgłobicki W. 2007. Influence of snowmelts and heavy rainfalls on water and sediment yield from the loess gully catchment (Lublin Upland – Poland). [W:] J. Casali, R. Gimenez (red.), *Progress in Gully Erosion Research*. Univ. Publ. de Navarra, Pamplona, s. 104–105.
- Rodzik J., Janicki G. 2003. Local downpours and their erosional effects. *Papers on Global Change IGBP*, 10: 49–66.
- Rodzik J., Zgłobicki W. 2000. Współczesny rozwój wąwozu lessowego na tle układu pól. [W:] S. Radwan, Z. Lorkiewicz (red.), *Problemy ochrony i użytkowania obszarów wiejskich o dużych walorach przyrodniczych*. Wyd. UMCS, Lublin, s. 257–261.
- Siwek K. 2006. Zróżnicowanie opadów atmosferycznych na Lubelszczyźnie w latach 1951–2000. *Maszynopis pracy doktorskiej*. Arch. Bibl. Gł. UMCS, Lublin, s. 1–104.
- Zgłobicki W. 2002. Dynamika współczesnych procesów denudacyjnych w północno-zachodniej części Wyżyny Lubelskiej. Wyd. UMCS, Lublin, 1–159.
- Ziemnicki S., Naklicki J. 1971. Stan i rozwój trzech wąwozów na Wyżynie Lubelskiej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 119: 7–24.