

**Zdzisław MICHALCZYK, Grzegorz JANICKI, Jan RODZIK,  
Krzysztof SIWEK**

Instytut Nauk o Ziemi, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie  
Institute of Earth Sciences, Maria Curie-Skłodowska University in Lublin

## **Hydrogeomorfologiczne skutki intensywnych opadów na międzyczeczu Bystrzycy i Gielczwi (Wyżyna Lubelska) Hydrogeomorphological effects of intensive rainfalls on the Bystrzyca and Gielczew interfluvium (Lublin Upland)**

**Słowa kluczowe:** gwałtowne ulewy, odpływ epizodyczny, erozja wodna  
**Key words:** rapid downpours, episodic runoff, water erosion

### **Wprowadzenie**

W dniach 31.07–6.08.2005 roku w północnej części Wyżyny Lubelskiej wystąpiły wysokie opady, których suma w kilku stacjach osiągnęła 110–210 mm. Największa ich intensywność stwierdzona została w nocy z 3 na 4 sierpnia, kiedy opad trwający w Lublinie 4–5 godzin osiągnął w dwóch stacjach (Piaski i Pszczela Wola) sumę odpowiednio 110,4 i 108,9 mm. Skutki opadu były na tyle duże, że w kilku gminach ogłoszono stan klęski żywiołowej. Zniszczeniu uległa część drogi – obwodnicy Piask, gdzie mimo zabezpieczeń w postaci utwardzonych odpływów i siatek chroniących zbocza nasypów w wielu miejscach na-

stąpiło ich znaczne rozmycie i zamulenie rowów odpływowych.

Na Wyżynie Lubelskiej katastrofalne (w skali lokalnej) skutki wywołują ulewy o sumie około 100 mm, przy średnim natężeniu przekraczającym  $1 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$  (Górniak 1982, Michalczyk 1984, Rodzik 1984). Są to opady stuletnie, gdyż prawdopodobieństwo ich wystąpienia wynosi około 1% (Suligowski 2004). Rozkład ich jest bardzo nieregularny – w latach 1951–2000 odnotowano w regionie lubelskim tylko 11 dobowych opadów o sumie przekraczającej 100 mm, z tego 8 w obrębie części wyżynnej, a poprzedni opad  $> 100 \text{ mm}$  wystąpił w Pszczelnej Woli 11 września 1981 roku. Opadów o podobnej wysokości i natężeniu było z pewnością więcej, lecz ze względu na stosunkowo rzadką sieć posterunków nie wszystkie zostały odnotowane (Siwek 2006). Świadczą o tym katastrofalne skutki opadów, których zmierzona wysokość była znacz-

nie niższa (Dębski 1958, Maruszczak i Trembaczowski 1958, Ciepielowski i Dąbkowski 1968, Ciepielowski 1970, Buraczyński i Wojtanowicz 1974).

Na podstawie danych z 18 stacji skonstruowano mapę izohiet opadu, który wystąpił w nocy z 3 na 4 sierpnia 2005 roku. Sporządzono także dokumentację fotograficzną oraz – na podstawie śladów piętrzenia i pomiarów geodezyjnych – dokonano oceny maksymalnych przepływów w wytypowanych korytach epizodycznych i ciekach perenialnych. Do obliczenia przepływów zastosowano wzory hydrauliczne. W wybranych zlewniach zinwentaryzowano strukturę upraw oraz pomierzono spektakularne formy erozyjne.

Opracowanie wykonano w ramach grantu zamawianego nr PBZ-KBN-086/P04/2003.

## Charakterystyka opadów

Okres poprzedzający był stosunkowo suchy, gdyż miesięczna suma opadów w lipcu 2005 roku wyniosła (bez 31 lipca)

w Pszczelaj Woli 45,1 mm, a w Piaskach zaledwie 24,7 mm. Pierwsze intensywne opady wystąpiły w nocy z 31 lipca na 1 sierpnia. Nad Polską znajdował się wówczas front atmosferyczny, łączący wędrujący na wschód ośrodek niżowy nad północną Europą z płytkim niżem nad Morzem Śródziemnym. Po jego zachodniej stronie ściągane było chłodne powietrze z północy, a po wschodniej – ciepłe i wilgotne z południa. Na tym zafalowanym froncie utworzył się nad środkową Polską lokalny, płytki niż z centrum (w fazie największego rozwoju) nad Lubelszczyzną, z burzami i przelotnym opadem. Stacje meteorologiczne w Lublinie oraz położone na południe i wschód od miasta odnotowały opady od 29,8 do 64,4 mm (tab. 1). Maksymalna zmierzona wydajność opadu wyniosła  $43 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ . (Lublin-Ogród Botaniczny).

W nocy 3/4.08.2005 roku wystąpiła sytuacja synoptyczna bardzo podobna do tej sprzed trzech dni, z podobnym zespołem zjawisk atmosferycznych. Tym razem najbardziej spektakularnym skutkiem była kilkugodzinna ulewa. Jej zasięg był nieco mniejszy od poprzedniej,

TABELA 1. Wysokość opadów w wybranych stacjach i posterunkach opadowych w Lublinie i okolicy w dniach 31 VII – 6 VIII 2005 roku

TABLE 1. Precipitation in selected stations and rain posts in Lublin and surroundings on the 31st July – 6th August 2005

Posterunek opadowy Rain post	Wysokość opadów w dniach 31.07– 6.08.2005 roku [mm] Precipitation on the 31st July – 6th August 2005							
	31.07	01.08	02.08	03.08	04.08	05.08	06.08	31.07-6.08
Lublin – Felin	64,0	–	–	61,1	8,9	8,8	17,3	160,1
Lublin – Hajdów	29,8	–	–	45,6	7,3	3,6	23,6	109,9
Lublin – Ogród Botaniczny	50,4	–	–	48,1	15,2	11,9	25,6	151,2
Lublin – Plac Litewski	32,0	–	–	47,6	6,5	3,6	19,3	109,0
Piaski	58,6	–	–	110,4	9,6	11,5	17,7	207,8
Pilaszkowice	45,1	–	–	20,1	11,3	8,1	17,2	101,8
Pszczela Wola	42,5	–	–	108,9	10,0	8,9	14,8	185,1

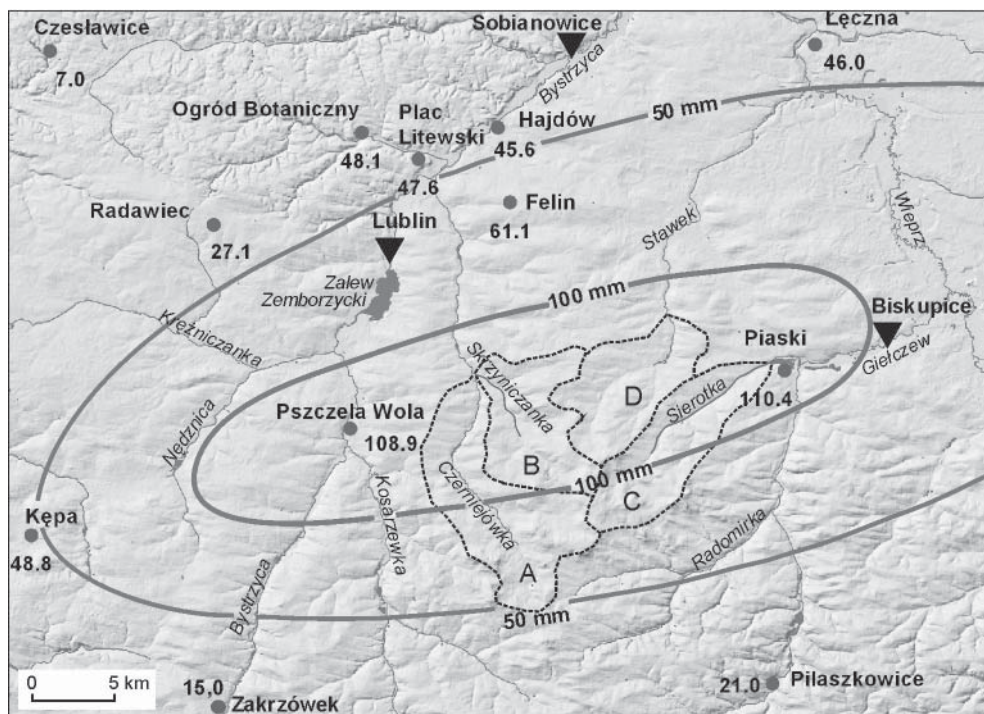
jednak suma opadu w centrum ulewy była dwukrotnie większa (tab. 1). Strefa opadów  $> 50$  mm objęła obszar około  $1500$  km<sup>2</sup>, natomiast opadów najwyższych ( $> 100$  mm) – prawie  $400$  km<sup>2</sup>. Maksymalne natężenie opadu, zmierzone w stacji Zakładu Meteorologii i Klimatologii UMCS na placu Litewskim w Lublinie, wyniosło w godzinach 2.30–3.00 UTC  $4,5$  mm·10 min<sup>-1</sup>. Skutki opadów wskazują, że ich natężenie było proporcjonalne do sumy – w Pszczelej Woli i Piaskach mogło przekroczyć  $1$  mm·min<sup>-1</sup>. Według klasyfikacji Chomicza (1951), w strefie opadu 50–100 mm wystąpił deszcz ulewny III i IV stopnia (A<sub>3</sub> i A<sub>4</sub>), natomiast w strefie opadu  $> 100$  mm – deszcz nawalny I stopnia (B<sub>1</sub>), który ciągnął się pasem szerokości około 10 km, na odcinku ponad 40 km. W godzinach rannych 4 sierpnia układ frontów przesunął się za wschodnią granicę, „pozostawiając” nad Lubelszczyzną brudę niskiego ciśnienia. Związane z nią opady – zwykle o sumach dobowych rzędu kilku lub kilkunastu milimetrów – wystąpiły w dniach 4–6 sierpnia. Tygodniowa suma opadów w centrum ulewy wyniosła około 200 mm – 185,1 mm w Piaskach oraz 207,8 mm w Pszczelej Woli, co stanowi 1/3 średniej sumy rocznej.

### **Teren badań**

Strefa najwyższych opadów objęła północny skłon Wyniosłości Giełczewskiej, mezoregionu zajmującego środek Wyżyny Lubelskiej. Reprezentowany jest tu typ wyżyn krzemionkowo-węglanowych, zbudowanych ze stosunkowo odpornych na erozję skał górnokredowych i paleoceńskich, wykształconych

jako opoki i gezy. W centrum mezoregionu występują wyspowo wzgórza zbudowane z mioceńskich piasków przykrytych warstwą odpornych piaskowców i zlepow muszlowych. Powierzchnia wierzchowinowa obniża się w kierunku północnym od blisko 300 do około 220 m n.p.m., a deniwelacje zwykle nie przekraczają 50–60 m. Skłon ten jest rozcięty przez kilka dolin dopływów Wieprza, zmierzających w kierunku N i NNE. W rzeźbie terenu, poza dolinami rzecznyymi, dominują tu rozległe, połogie garby o stokach wypukło-wklęsłych i wypukłych, rozdzielające suche doliny (Jahn 1956, Maruszczak 1972, Janicki i in. 2008). W części zachodniej wody zbiera Bystrzyca z Kosarzewką, Krężniczanką i Czerniejówką, w części wschodniej Giełczew z Radomirką i Sierotką, a między nimi – niewielki strumień Stawek (rys. 1).

W obrębie garbów międziodolnych opoki i gezy wychodzą na powierzchnię lub występują pod pokrywą utworów rezydualno-zwierzelinowych. W obrębie obniżeń i den suchych dolin przeważają pylaste, piaszczysto-pylaste i piaszczyste plejstocenijskie utwory różnej genezy, cechujące się dobrą przepuszczalnością. Wody podziemne występują zwykle na dużych głębokościach, a zwierciadło wody pozostaje w hydraulicznej równowadze drenowania, nawiązując wysokością występowania do dolin rzecznych (Michalczyk i Wilgat 1998). Na piaszczysto-pylastych zwykle utworach pokrywowych rozwinęły się stosunkowo urodzajne gleby brunatnoziemne, głównie gleby płowe. Jest to mezoregion rolniczy, o dużym udziale w strukturze użytkowania ziemi gruntów ornych (ok. 65%) oraz małym udziale



RYSUNEK 1. Rozkład opadu 3/4 sierpnia 2005 roku na tle rzeźby (DEM) i sieci hydrograficznej okolic Lublina: kropkami oznaczono stacje opadowe, trójkątami – kontrolowane profile na rzekach, linią przerywaną – granice małych zlewni rzecznych omawianych w tekście: A – górnej Czerniejówki, B – Skrzyniczanka, C – Sierotka, D – górnego Stawka

FIGURE 1. Rainfall on the 3rd–4th August 2005 at the background of relief (DEM) and hydrographic net of Lublin surroundings: spots present rainfall stations, triangles – controlled section on rivers, a broken line – boundaries of streams catchments discussed in the text: A – upper Czerniejówka, B – Skrzyniczanka, C – Sierotka, D – upper Stawek

lasów (< 10%), natomiast w strukturze zasiewów przeważają uprawy zbożowe (ok. 75%). Znaczny dotychczas odsetek roślin okopowych i przemysłowych systematycznie się zmniejsza, jak w całym regionie lubelskim, i obecnie wynosi od kilku do kilkunastu procent (Maj 2006). Przeważają pola o wielkości 0,5-4 ha i układzie wzdłużstokowym. Opisywana ulewa wystąpiła w trakcie żniw, gdy około 1/4 zbóż była skoszona, a na polach po spręczeniu rzepaku wykonano kultywatorowanie.

### Retencja gruntowa i epizodyczny spływ powierzchniowy

Opad z 31.07/1.08.2005 roku został niemal w całości zretencjonowany, o czym zdecydowało przesuszone podłoże. Informacje uzyskane z wywiadów wskazują, że spływ powierzchniowy był nieznaczny i został w większości zatrzymany w obrębie den suchych dolin i płaskich den dolin rzecznych. Retencja glebowa wpłynęła jednak na wielkość spływu powierzchniowego po

opadzie następnym, który został, mimo tego, także w większości zretencjonowany w gruncie. W rezultacie po opadach w okresie 31.07–6.08.2005 roku zwierciadło wód podziemnych podniosło się w dorzeczu Czerniejówki od 30 do 70 cm, średnio o 43 cm. Rzutowało to na utrzymywanie się podwyższonych przepływów, również podczas suchej jesieni 2005 roku oraz w I półroczu 2006 roku.

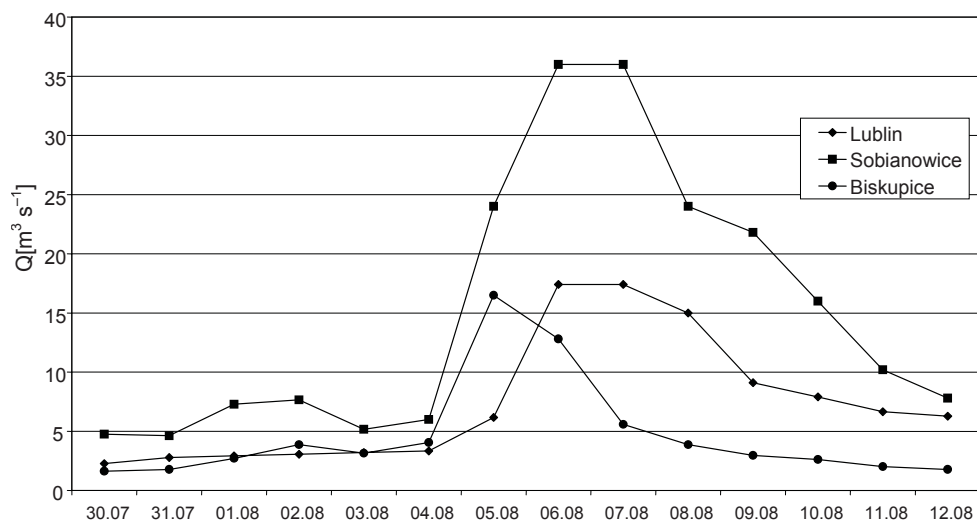
Po opadzie, który wystąpił 3/4 sierpnia 2005 roku, szczegółowe badania terenowe – z uwagi na znaczną rozległość obszaru – przeprowadzono tylko w strefie objętej izohietą 100 mm (rys. 1). Wystąpił tu powszechnie spływ powierzchniowy, którego formowanie zależne było od użytkowania ziemi. Nieznaczące ślady tego spływu stwierdzono na powierzchniach leśnych. W obrębie pól z nieskoszonym zbożem wystąpił spływ rozproszony, natomiast ślady jego koncentracji widoczne były na ścierniskach. Niekiedy koncentrację spływu obserwowano w uprawach trwałych, wzdłuż rzędów krzewów i drzew owocowych, których korony przechwytywały i „kanalizowały” niesiony wiatrem opad. Najbardziej intensywny spływ powierzchniowy z koncentracją w brzdach, a u podnóża stoków nawet spływ warstwowy, stwierdzono w uprawach okopowych (buraki, ziemniaki) oraz na kultywatorowanych polach po zebraniu rzepaku, a także w obrębie dróg, zarówno utwardzonych, jak i gruntowych. W wielu przypadkach spełniały one rolę epizodycznych strumieni zbierających wody spływające z pól.

Koncentracja spływu z pól i dróg miała miejsce w obrębie naturalnych linii ciekowych w osiach niecek i suchych dolin. Funkcjonowały w nich

– często w obrębie nieskoszonego (w tych miejscach wyłożonego) zboża – koryta epizodyczne szerokości od kilku do kilkunastu metrów. Natężenie przepływu, określone według Teisseyre’a (1995), osiągało tu kilka  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , a maksymalny odpływ jednostkowy ze zlewni o powierzchni  $2,5\text{--}4,5 \text{ km}^2$  wynosił  $1,2\text{--}2,5 \text{ m}^3 \cdot (\text{s} \cdot \text{km}^2)^{-1}$ . Wielkość spływu zależna była od struktury upraw, typu rzeźby oraz układu osadniczo-komunikacyjnego – wyraźnie większy odpływ wystąpił ze zlewni o znacznym odsetku ( $> 10\%$ ) upraw przemysłowych i okopowych. W takich zlewniach – zwłaszcza o wklęsłym profilu podłużnym, spowalniającym odprowadzanie wody do zlewni rzecznych – szerokość epizodycznych koryt dochodziła do 30 m, przepływ chwilowy osiągał  $10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , a odpływ jednostkowy  $2,5 \text{ m}^3 \cdot (\text{s} \cdot \text{km}^2)^{-1}$ . W dolinach o wypukłym profilu, zwłaszcza z drogami wzdłuż osi, zachodziło szybkie odprowadzanie wody do zlewni rzecznych, a odpływ jednostkowy nie przekraczał  $1,5 \text{ m}^3 \cdot (\text{s} \cdot \text{km}^2)^{-1}$  (Rodzik i in. 2007).

## Odpływ rzeczny

Pas maksymalnego opadu 3/4 sierpnia 2005 roku „przeciął” środkowe odcinki Nędznicy, Bystrzycy i Czerniejówki, objął dolne odcinki Kosarzewki i Gielczwi, prawie całą zlewnię Sierotki, górną część zlewni Stawka oraz w całości zlewnię dopływu Czerniejówki – Skrzyniczanki. Na tych rzekach były jednak tylko trzy profile wodowskazowe kontrolowane przez IMiGW: na Bystrzycy w Lublinie (poniżej Zalewu Zemborzyckiego) i Sobianowicach oraz na Gielczwi w Biskupicach (rys. 1). Już po



RYSUNEK 2. Dobowe przepływy Bystrzycy w profilach: Lublin (poniżej Zalewu Zemborzyckiego) i Sobianowice oraz Gielczwi w Biskupicach, w dniach 30.07–12.08.2005 roku

FIGURE 2. Daily flows of the Bystrzyca River profiles in Lublin (below Zemborzyce reservoir) and Sobianowice and of the Gielczew River profile in Biskupice, on the 30th July – 12th August 2005

pierwszym opadzie 31.07/1.08 2005 roku odnotowano w nich niewielki wzrost przepływów w dniach 1 i 2 sierpnia.

Znacznie większa była reakcja rzek na opad 3/4 sierpnia 2005 roku (rys. 2). W Biskupicach na Gielczwi 5 sierpnia nastąpił pięciokrotny wzrost przepływu; w znacznej części był to efekt spływu ze zlewni Sierotki. Stan wody, wyższy od stanu sprzed wezbrania o 90 cm, utrzymywał się do końca dnia, co wskazuje na wyrównany spływ ze środkowej części zlewni Gielczwi. Podobny wzrost wystąpił na Bystrzycy w Lublinie, jednak z dobowym opóźnieniem i spłaszczeniem fali wezbraniowej. Bystrzyca w Sobianowicach zareagowała natomiast aż siedmiokrotnym (w ciągu dwóch dni) wzrostem przepływu. Piątego sierpnia dopłynęła tu fala wezbraniowa ze Skrzyniczanki (za pośrednictwem Czerniejówki), natomiast w dniach następnych pojawiły się wody spływające z górnej

i środkowej części dorzecza Bystrzycy. Maksymalny odpływ jednostkowy wyniósł: w zlewni Gielczwi do Biskupic –  $47,5 \text{ l} \cdot (\text{s} \cdot \text{km}^2)^{-1}$ , w zlewni Bystrzycy do Lublina –  $23,3 \text{ l} \cdot (\text{s} \cdot \text{km}^2)^{-1}$  oraz do Sobianowic –  $28,5 \text{ l} \cdot (\text{s} \cdot \text{km}^2)^{-1}$ . W okresie 4–11 sierpnia odpłynęła około 10-milimetrowa warstwa wody – ze zlewni Gielczwi 12,6 mm oraz ze zlewni Bystrzycy odpowiednio – 9,6 mm i 11,9 mm.

Gwałtownie zareagowały na ulewę zlewnie małych cieków perenialnych, znajdujących się w centrum maksymalnego opadu, jak zlewnia Skrzyniczanki i górna część zlewni Stawka (rys. 1). Liczne stawy i przetamowania w dolinie Stawka wpływały na zatrzymanie pierwszego, miejscowego spływu, na który nałożyła się fala z górnej części zlewni, odwadnianej epizodycznie. Spowodowało to gwałtowny przepływ fali wezbraniowej, która zniszczyła szereg grobli i nasypów oraz przelała się przez

dwupasmową drogę Lublin – Chełm/Zamość nr 12/17.

Spektakularna, lokalna powódź wystąpiła także w dolinie Skrzyniczanki, strumieniu długości 3,2 km, średnim przepływie przy ujściu poniżej  $0,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  i spadku doliny 3,4‰. Zlewnia ta charakteryzuje się koncentrycznym układem suchych dolin o wzdłużstokowym układzie pól oraz wypukłych profilach den dolin i stoków, co sprzyja szybkiemu spływowi powierzchniowemu i jego koncentracji w dnie doliny rzecznej. Przy ujściu Skrzyniczanki do Czerniejówki, fala wezbraniowa o natężeniu przepływu czoła  $16,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  została podparta przez nasyp drogowy, co spowodowało utworzenie zbiornika o pojemności w fazie kulminacyjnej około 35 tys.  $\text{m}^3$ . Maksymalny odpływ chwilowy z tego zbiornika – obliczony z zastosowaniem wzorów na przepust zatopiony oraz przelew niezatopiony o szerokiej koronie – wynosił  $29,7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , co przy powierzchni zlewni  $36,0 \text{ km}^2$  daje odpływ jednostkowy  $825 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ .

W sąsiedniej zlewni górnej Czerniejówki (do ujścia Skrzyniczanki), o powierzchni  $56,4 \text{ km}^2$ , maksymalny przepływ wynosił zaledwie około  $3,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Na tę zastanawiającą rozbieżność złożyło się kilka przyczyn:

- zlewnia górnej Czerniejówki jest wydłużona, a rzeka ma mniejszy spadek (2,8‰),
- w początkowym odcinku zlewni był znacznie niższy opad,
- początkowy odcinek ma charakter wypełnionej piaskami kotliny o wklęsłych stokach i suchym dnie.

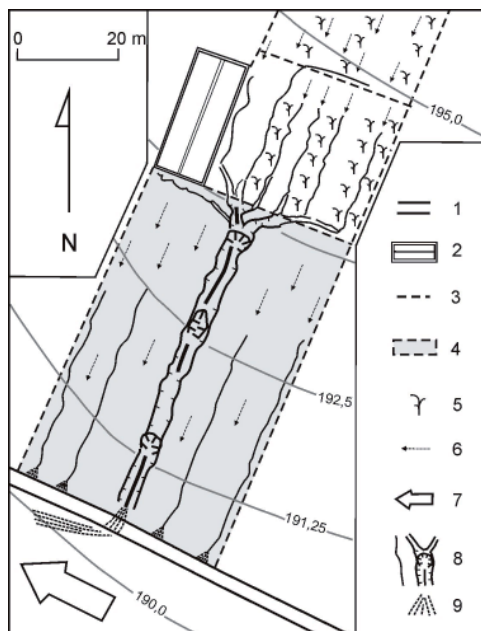
W rezultacie asynchroniczny spływ zasilany był tylko przez część zlewni. Z kolei w środkowym i dolnym odcin-

ku dorzecza Czerniejówki nastąpiła transformacja spływu wody poprzez jej zatrzymywanie w stawach i lokalnych rozlewiskach. Maksymalny przepływ tej rzeki w Lublinie, który pojawił się w godzinach południowych z głównym spływem pochodzącym ze zlewni Skrzyniczanki, osiągnął  $24,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . W godzinach rannych dnia następnego (5 sierpnia) wezbranie dotarło Bystrzycą do wodowskazu w Sobianowicach (rys. 2).

### Skutki geomorfologiczne

Opisywany gwałtowny opad i spływ powierzchniowy spowodował wystąpienie procesów erozyjnych o zróżnicowanym natężeniu, zależnym od pokrycia terenu i możliwości koncentracji spływu. Roślinność leśna, a także uprawy trwałe z zadarnioną powierzchnią, nieskoszone zboża, a nawet ścierniska stanowiły dobrą ochronę przed erozją. Nie zarejestrowano w ich obrębie skutków spłukiwania oraz erozji liniowej. Na takich polach krótkotrwały przepływ w osiach niecek i suchych dolin odbywał się w obrębie koryt transportowych lub transportowo-depozycyjnych. Znaczne skutki erozyjne wystąpiły natomiast na polach kulturowanych i w uprawach okopowych (rys. 3).

Na wierzchowinach i ich skłonach wystąpiły w obrębie upraw okopowych intensywne rozbryzgi oraz spłukiwanie rozproszone, przechodzące w górnych częściach stoków w spłukiwanie liniowe. Sieć drobnych żłobinek zmieniała się tu w wyraźne bruzdy erozyjne (rys. 3). W dolnych częściach stoków, zazwyczaj o większym nachyleniu, połączenie bruzd skutkowało utworzeniem bruzd



RYSUNEK 3. Koncentracja i skutki spływu powierzchniowego po ulewie 3/4 sierpnia 2005 roku na zboczu doliny Skrzyniczanki w Mętowie: 1 – szosa, 2 – budynek, 3 – granice działek, 4 – pole kultywowane, 5 – krzewy i drzewa owocowe, 6 – spływ rozproszony i splukiwanie, 7 – walny spływ dnem doliny, 8 – formy erozji liniowej, 9 – stożki deluwialne

FIGURE 3. Concentration and effects of runoff after downpour on the 3rd–4th August 2005 on the slope of Skrzyniczanka Stream valley in Mętów: 1 – road, 2 – building, 3 – borders of plots, 4 – field cultivated with, 5 – shrubs and fruit trees, 6 – dispersed runoff and rainwash, 7 – main runoff on the valley floor, 8 – forms of linear erosion, 9 – deluvial fans

głównych, a niekiedy rozcięć, dochodzących do 1 m głębokości. Formy te można zaliczyć już do przejawów erozji wąwozowej. U podnóża stoków następowała depozycja materiału w postaci stożków lub rozległych pokryw deluwialnych o miąższości do 20 cm. W osiach niecek i suchych dolin (niekiedy na stokach) formowały się w obrębie tych upraw koryta erozyjne głębokości 10–20 cm,

miejscami z przegłębieniami w postaci podłużnych wanien.

W poszczególnych zlewniach suchych dolin procesy te objęły od kilku do kilkunastu procent powierzchni, zgodnie z udziałem upraw okopowych i przemysłowych. Także w ich obrębie natężenie procesów erozji i depozycji było bardzo zróżnicowane. Największe jednostkowe natężenie erozji zarejestrowano na polu z wzdłużstokową uprawą buraka cukrowego w Krebsówce koło Niedrzwicy Dużej. Na długości 320 m, przy różnicy wysokości 17 m, wystąpił klasyczny układ stref morfodynamicznych – od strefy rozbryzgu na wierzchowinie, przez strefy splukiwania rozproszonego na jej skłonie, erozji bruzdowej na stoku, depozycji u podnóża, do strefy transportu w dnie doliny z erozją korytową i eworsją. Obliczony na podstawie pomierzonych form bilans erozyjny tego pola, o powierzchni 2,24 ha, przedstawiał się następująco: erozja – 334 m<sup>3</sup>, akumulacja – 213 m<sup>3</sup>, odpływ materiału – 121 m<sup>3</sup>. Jednostkowa erozja w obrębie tego pola wyniosła więc prawie 200 t·ha<sup>-1</sup>, a denudacja jednostkowa (odpływ materiału poza pole) – ponad 70 t·ha<sup>-1</sup>, czyli 7 tys. t·km<sup>-2</sup>. Jest to wielkość denudacji zlewni wąwozowych podczas deszczów nawalnych (Rodzik i Janicki 2003). Mimo że większość materiału została zdeponowana u podnóża stoku w postaci mikropedymentu, to powierzchnia pola obniżyła się średnio o ponad 5 mm. Dolna część wypukłego zbocza o powierzchni 1500 m<sup>2</sup>, gdzie szereg bruzd był bliski uformowania badlandu, obniżyła się aż o prawie 8 cm.

Intensywne procesy erozyjne wystąpiły również w obrębie zbierających spływ stokowy dróg gruntowych i szu-



trowych, szczególnie na drogach przecinających skośnie osie niecek stokowych i suchych dolin. Silna erozja wgłębna wystąpiła zwłaszcza poniżej przelewów spływu przez drogi, gdzie utworzyły się kotły eworsyjne o objętości do 50 m<sup>3</sup>. Materiał z nich odkładał się zwykle kilkadziesiąt metrów poniżej w postaci podłużnych odsypów. Generalnie materiał transportowany wzdłuż osi suchych dolin był w większości deponowany w postaci odsypów i pokryw deluwialnych w jej dnie. Nie wystąpiło więc istotne zasilanie systemu fluwialnego w materiał mineralny (Rodzik i in. 2007).

W dnach dolin rzecznych, krótkotrwały spływ nie spowodował dużych zmian w zarośniętych korytach, gdyż dominował spływ pozakorytowy, o mniejszej prędkości. W dolinie Skrzyniczanki spływ odbywał się całą szerokością dna, nie mieszcząc się w przepustach i pod mostkami. W miejscach przelewu przez liczne nasypy drogowe, głównie na gruntowych drogach dojazdowych do posesji, utworzyły się po ich stronie dystalnej nisze erozyjne z odsypami materiału. Przed ujściem do Czerniejówki, gdzie nastąpiło opisywane spiętrzenie i retencja w utworzonym zbiorniku, dłuższy odpływ spowodował całkowite rozcięcie nasypu (z utwardzoną nawierzchnią) kanałem ulgi szerokości kilku metrów.

## Podsumowanie

W nocy z 3/4 sierpnia 2005 roku pojawiła się w strefie powierzchniowego działu wodnego Wieprza i Bystrzyca gwałtowna ulewa. Opad trwał stosunkowo długo, 4–5 godzin, a jego natężenie było zmienne – tylko w czasie około pół

godziny mogło przekraczać 1 mm·min<sup>-1</sup>. W strefie największego zasilania spadło ponad 100 mm, co spowodowało gwałtowny spływ powierzchniowy prowadzący do lokalnych powodzi i uruchomienia procesów erozyjnych, powodujących szkody w uprawach, infrastrukturze drogowej i hydrotechnicznej.

Z czynników terenowych decydujących o lokalnych skutkach ulewy najważniejszym okazało się pokrycie terenu, a zwłaszcza struktura upraw. Dominujące na tym terenie pola uprawne ze zbożem – tuż przed ich zbiorem – wykazały dużą zdolność retencjonowania wody oraz skuteczną ochronę gleby przed splukiwaniem. Skutkujący erozją, skoncentrowany spływ powierzchniowy wystąpił tylko na uprawach okopowych i glebie spulchnionej. W usytuowanych wzdłużstokowo uprawach buraka cukrowego erozja osiągnęła niekiedy wielkości charakterystyczne dla zlewni wąwozowych (kilkadziesiąt t·ha<sup>-1</sup>), a wypukłe fragmenty stoków uległy obniżeniu o kilka centymetrów.

W skali zlewni suchych dolin o powierzchni kilku kilometrów kwadratowych oprócz struktury upraw ważną rolę odegrała rzeźba i usytuowany w niej układ osadniczo-komunikacyjny, determinujący często kierunek spływu oraz tempo odpływu ze zlewni. Przyspieszenie spływu w strefie wododziałowej i opóźnienie w strefie wylotowej powodowało spiętrzenia, skutkujące maksymalnym odpływem jednostkowym do 2,5 m<sup>3</sup>·(s·km<sup>2</sup>)<sup>-1</sup>. Lokalny układ komunikacyjny determinował także powstawanie form erozyjnych, gdyż najsilniej erodowane były odcinki dróg gruntowych lub innych niedostatecznie utwardzonych, zbierające spływ z pól lub przecinające

naturalne linie ciekowe. Materiał wyero-  
dowany z dróg i pól w większości zdepo-  
nowany został w dnach suchych dolin w  
obrębie subzlewni.

Do gwałtownych wezbrań z uszko-  
dzeniem infrastruktury hydrotechnicznej  
i drogowej doszło w małych ( $< 50 \text{ km}^2$ )  
zlewniach cieków perenialnych, usytu-  
owanych w całości w strefie najwyższe-  
go opadu. Przy korzystnych warunkach  
koncentracji spływu (zbliżonego do kon-  
centrycznego układu dolin) maksymalny  
odpływ jednostkowy osiągnął w nich  
 $0,8 \text{ m}^3 \cdot (\text{s} \cdot \text{km}^2)^{-1}$ . Spływ z tych zlewni,  
o wyraźnie spłaszczonej fali, kształto-  
wał także wezbrania w dolinach rzek  
nadrzędnych o zlewniach częściowo  
objętych strefą maksymalnego opadu.  
Relatywnie mniejsze wezbrania w tych  
dolinach wywołały lokalne podtopienia,  
bez istotnych skutków erozyjnych.

## Wnioski

Mimo dużej, przekraczającej 100  
mm sumy opadu, skutki ulewy – hydro-  
logiczne, a zwłaszcza geomorfologiczne  
– były, w porównaniu z podobnymi ule-  
wami, stosunkowo małe. Złożyły się na  
to: rozłożenie opadu w czasie kilku go-  
dzin, stosunkowo niewielkie (jak na kra-  
jobraz wyżynny) deniwelacje i spadki,  
przepuszczalne podłoże (duża infiltracja)  
oraz zaawansowany, optymalny stan we-  
getacji (duża intercepcja i ochrona przed  
erozją).

Skutki te byłyby jeszcze mniejsze  
bez poprzedzającego ulewnego opadu  
sprzed 3 dni oraz stymulującego spływ  
i erozję rozłogu pól i układu dróg wzgłę-  
dem rzeźby. Wszystkie istotne skutki  
erozyjne w różnej skali przestrzennej

(pola, zlewni suchej doliny, zlewni rzecz-  
nej) związane były z uwarunkowaniami  
antropogenicznymi, jak: uprawy słabo  
chroniące glebę, wzdłużstokowy układ  
pól, przebieg dróg tworzących progi na  
trasie spływu oraz spiętrzenia na przepu-  
stach i groblach.

Na opad nawalny, nawet o stosunko-  
wo dużym zasięgu, silnie reagują zlewnie  
małych cieków, bezpośrednio zasila-  
ne przez zlewnie suchych dolin. Wraz ze  
wzrostem rangi zlewni relatywnie maleje  
reakcja hydrologiczna, a skutki geomor-  
fologiczne są znikome.

W użytkowanych rolniczo deluwial-  
nych systemach stokowych podczas  
epizodycznych spływów deszczowych  
dominuje bliski transport i akumulacja  
materiału w obrębie suchych dolin. Do-  
minującym kierunkiem rozwoju rzeźby  
jest planacja, a zasilanie systemu kory-  
towego w materiał mineralny jest nie-  
znaczące.

## 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 Hydrol. i Meteorol.*  
2, 3: 5–88.
- CIEPIEŁOWSKI A. 1970: Maksymalne wielkości  
spływów jednostkowych z deszczów nawa-  
lnych. *Przeł. Geofiz.* 15 (23), 2: 179–193.
- CIEPIEŁOWSKI A., DĄBKOWSKI Sz.L. 1968:  
Wezbranie małych dopływów Wojstawki w  
dniu 28.V.1965 roku. *Pr. Studia. Kom. Gosp.*  
*Wodn. i Surowc.* 9: 289–298.
- DĘBSKI K. 1958: Odpływ z deszczu nawalnego  
we wsi Piaski Szlacheckie pod Krasnymsta-  
wem w czerwcu 1956 roku. *Gosp. Wodna* 18,  
8: 339–342.

- GÓRNIAK A. 1982: Skutki gwałtownej ulewy w okolicach Krasnego na Działach Grabowieckich (23.VII.1980). *Prace Stud. Kola Nauk. Geogr.* 21–37.
- JAHN A. 1956: Wyżyna Lubelska. Rzeźba i czwartorzęd. *Prace Geogr. IG PAN* 7: 1–453.
- JANICKI G., RODZIK J., TYC A. 2008: Zastosowanie klasyfikacji litologicznej w typologii krajobrazu naturalnego Wyżyn Polskich. *Probl. Ekol. Krajoobr.* 19 (w druku).
- MAJ H. 2006: Rolnicze użytkowanie ziemi w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem województwa lubelskiego. Materiały z I Ogólnopol. Konf. Geografów – Doktorantów. Red. M. Harasimiuk. Lublin 12–14 czerwca 2006 r., Wydaw. Akad., Lublin: 225–239.
- MARUSZCZAK H. 1972: Wyżyny Lubelsko-Wołyńskie. W: *Geomorfologia Polski*. Red. M. Klimaszewski 1: 340–383.
- MARUSZCZAK H., TREMBACZOWSKI J. 1958: Geomorfologiczne skutki gwałtownej ulewy w Piaskach Szlacheckich koło Krasnegostawu. *Ann. UMCS B*, 11: 129–168.
- MICHALCZYK Z. 1984: Charakterystyka stosunków wodnych dorzecza Grodarza. *Przew. Ogólnopol. Zjazdu PTG, Lublin* 13–15 IX 1984 r., cz. 2: 121–125.
- MICHALCZYK Z., WILGAT T. 1998: Stosunki wodne Lubelszczyzny. *Badania hydrograficzne w poznawaniu środowiska*, 4, Wydaw. UMCS, Lublin: 1–167.
- RODZIK J. 1984: Natężenie współczesnej denudacji w silnie urzeźbionym terenie lessowym w okolicy Kazimierza Dolnego. *Przew. Ogólnopol. Zjazdu PTG, Lublin* 13–15 IX 1984 r., cz. 2: 125–130.
- RODZIK J., JANICKI G. 2003: Local downpours and their erosional effects. *Papers on Global Change IGBP* 10: 49–66.
- RODZIK J., JANICKI G., REJMAN J. 2007: Human induced conditions of sediment transport during heavy rainfall in catchments of first-order of the Lublin Upland (Poland). *Proceedings of COST 634 International Conference “Off-site impacts of soil erosion and sediment transport”*. Prague, Czech Republic, 1st–3rd October 2007: 39–43.
- SIWEK K. 2006: Zróżnicowanie opadów atmosferycznych na Lubelszczyźnie w latach 1951–2000. Praca doktorska w Zakładzie Meteorologii i Klimatologii UMCS, Lublin.
- SULIGOWSKI R. 2004: Struktura czasowa i przestrzenna opadów w Polsce. Próba regionalizacji. *Prace Inst. Geogr. AŚ*, 12, Kielce.
- TEISSEYRE A.K. 1995: Episodic channels and the development of dry valleys in cropland. *Questiones Geographicae* 17/18: 65–78.

## Summary

**Hydrogeomorphological effects of intensive rainfalls on the Bystrzyca and Gielczew interfluve (Lublin Upland).** On the 31st July – 6th August 2005 in Lublin surroundings, high and intensive rainfalls appeared (Table 1). The highest one took place at night of 3rd–4th August and its level exceeded 100 mm in two stations (Fig. 1). It was the rain of changeable intensity to  $1 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ , lasting 4–5 hours. In the area of 400 square kilometers enclosed with 100 mm isohyet, an intensive runoff with erosional effects appeared. Its size in rural area was conditioned by land use, crop structure, field pattern and road network. Majority of corn fields determined the predominance of dispersed runoff and little rainwash. Concentration of runoff and linear erosion took place only on small area of: roads, fields with root plants and fields of aerated soil (Fig. 3). The maximum of erosion rate in the field scale reached:  $200 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  of translocated material and  $70 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  of carried material, field surface lowering by 5 mm and convex parts of slope by 8 cm. Deposition of material, in form of fans and proluvial covers took place in dry valley floors. Concentrated runoff formed here episodic channels: transport and deposition in channels being flat and erosional channels in crops with uncovered soil. Below roads crossing the channels, potholes with the capacity to  $50 \text{ m}^3$  and bars of eroded material were formed. Most of moved soil material was left within dry valleys whereas water runoff was the main source of flood waters in river valleys. Specific outflow from dry valley catch-

ments, with the area of 5 square km, reached  $1\text{--}2.5 \text{ m}^3 \cdot (\text{s} \cdot \text{km}^2)^{-1}$ . In valleys of small perennial flows with catchment area less than 50 square km (for instance: Skrzyniczanka, upper Stawek and Sierotka Streams), located in zone of the highest rainfall, local floods appeared. They caused losses in road and hydrotechnical infrastructure. Waves from these catchments, with specific outflow to  $0.8 \text{ m}^3 \cdot (\text{s} \cdot \text{km}^2)^{-1}$ , caused relatively smaller flood waters in higher valleys in next days (Fig. 2). Five-times growth of flow in Biskupice on the Giełczew River and seven-times one

in Sobianowice on the Bystrzyca river occurred. On 4th–11th August period, about 12 mm of water flowed from these catchments but in the Czerniejówka catchment, level of groundwater raised about 30–70 cm.

**Authors' address:**

Zdzisław Michalczyk, Grzegorz Janicki,  
Jan Rodzik, Krzysztof Siwek  
Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie  
Instytut Nauk o Ziemi  
al. Kraśnicka 2 c, d, 20-718 Lublin  
Poland