

SKUTKI ULEWY W KORYCIE MAŁEGO CIEKU WODNEGO

Szczepan L. DĄBKOWSKI, Jarosław BODULSKI

Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, Katedra Inżynierii Wodnej

Słowa kluczowe: erozja koryta, mały ciek, oberwanie chmury

Streszczenie

W wyniku ulewnego deszczu 25 lipca 2001 r., na jednym z dopływów rzeki Lubrzanka w Górach Świętokrzyskich, doszło do silnej erozji koryta. Rozpoczęła się ona od zniszczonego przez wezbranie przepustu drogowego. W pracy przedstawiono analizę przypuszczalnych warunków hydraulicznych (przepływów i prędkości), charakterystykę materiału, w którym koryto zostało uformowane, dopuszczalne prędkości nierozmywające oraz charakterystyki wyerodowanego koryta ciek. Całkowita objętość gruntu zabrana przez wodę wynosi około 5700 m³, przy czym do koryta rzeki Lubrzanka i do leżącego na niej zbiornika retencyjnego Cedzyna trafiło około 400 m³ gruntu.

WPROWADZENIE

Deszcze o dużej intensywności i wydajności wywołują gwałtowne wezbrania cieków wodnych i erozję ich koryt [CIEPIEŁOWSKI, DĄBKOWSKI, 1968; RATOMSKI, 2000; 2001]. Erodowany grunt jest przemieszczany w korytach potoków i w dolinach rzek. Wyerodowany materiał, rozdrabniany przez wodę, ulega pewnemu sortowaniu. Cząstki najdrobniejsze są unoszone przez wodę, a grubsze – wleczone po dnie. Część materiału po przemieszczeniu pozostaje na terenach zalewowych zmieniając ich ukształtowanie i właściwości gleb.

Zjawiska erozji w korytach i zlewniach potoków są w krajowej literaturze opisywane rzadko, a jak wykazał RATOMSKI [2000], ich skutki gospodarcze i przy-

Adres do korespondencji: prof. dr hab. Sz. L. Dąbkowski, Politechnika Świętokrzyska, Katedra Inżynierii Wodnej, ul. 1000-lecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce; tel.+48 (41) 3424374, e-mail: ldab@eden.tu.kielce.pl

rodnicze bywają katastrofalne. Potrzeba uwzględnienia tych zjawisk w projektach budowli wodnych i komunikacyjnych oraz w zagospodarowaniu zlewni i dolin rzecznych jest niedostatecznie rozumiana [RATOMSKI, 2001].

W pracy omówiono przypadek zniszczenia koryta małego cieką wodnego w Górach Świętokrzyskich w czasie gwałtownego wezbrania, spowodowanego deszczem nawalnym o dużej wydajności.

OBIEKT BADAŃ

Potok od Bęczkowa ma swoje źródła u podnóża Góry Radostowa (452,3 m n.p.m.) i Kamieniec (414,6 m n.p.m.), po ich wschodniej stronie, na wysokości około 385 m n.p.m. (rys. 1.). W górnej części potoku istnieje siedem źródeł czynnych przez cały rok. Powierzchnia zlewni potoku, po jego ujściu do rzeki Lubrzanka, wynosi 3,8 km², a do przekroju, od którego zaczęła się erozja koryta – 3,6 km². Długość cieką od najwyższego położonego źródła do ujścia wynosi 4,4 km, a do górnego krańca badanego odcinka 3,8 km. Najwyższe położone fragmenty zlewni wznoszą się na 414,6 m n.p.m., a teren przy ujściu potoku do rzeki Lubrzanka ma rzędną około 265 m n.p.m. Średni spadek cieką wynosi 25%.

Zlewnia jest prawie bezleśna, jedynie w dolnej części po obu stronach doliny występują dwa niewielkie kompleksy leśne. W części środkowej i górnej potok wyżłobił koryto w dnie wąskiej doliny o charakterze wąwozu, szczególnie wyraźnego po połączeniu cieków spod miejscowości Wymysłona i Zaskale (rys. 1).

25 lipca 2001 r. nastąpiło lokalne „oberwanie chmury”. Parametry opadu trudno ocenić, gdyż najbliższa stacja opadowa IMGW Kielce–Suków leży w znacznej odległości od zlewni potoku i niżej, bo na wysokości 260 m n.p.m. (rys. 1). Dobaowa suma opadów na tej stacji wyniosła 155 mm, a na posterunku opadowym na dziedzińcu Urzędu Miasta Kielce, w odległości około 7 km od Sukowa, zanotowano w tym dniu 75,7 mm. Opad w całym lipcu 2001 r. na tym posterunku wyniósł 265,8 mm, a w Sukowie – 294,2 mm. Według relacji świadków, centrum ulewy wystąpiło w rejonie Góry Radostowa, tj. w zlewni omawianego potoku. Ulewa doprowadziła do silnej erozji koryta na dolnym odcinku potoku, na długości około 320 m.

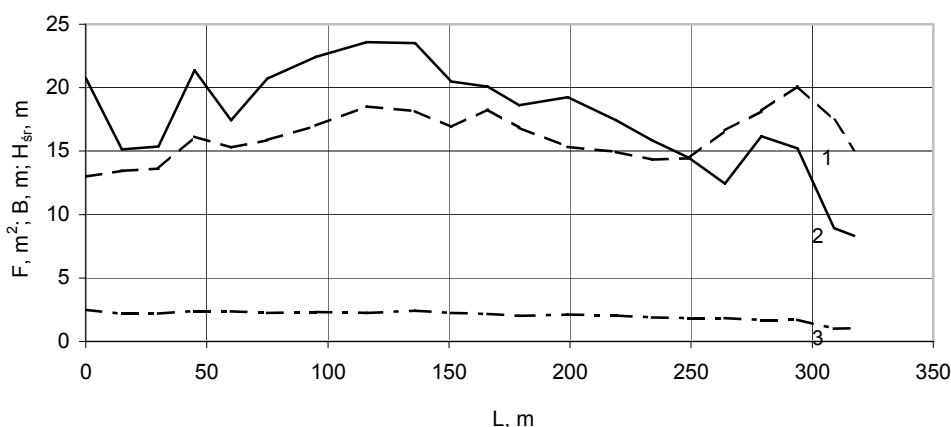
Koryto cieką o pierwotnej szerokości około 2,0 m górá, głębokości około 1,0 m i szerokości w dnie około 0,8 m zostało wyerodowane do szerokości 13,0–20,0 m i maksymalnej głębokości 2,5 m. Został zniszczony przepust drogowy o średnicy przewodu 1,0 m i długości 5 m, który znajdował się na początku rozmytego odcinka, przy wylocie cieką z doliny zalesionej.

METODY I WYNIKI BADAŃ

KORYTO I JEGO CHARAKTERYSTYKA

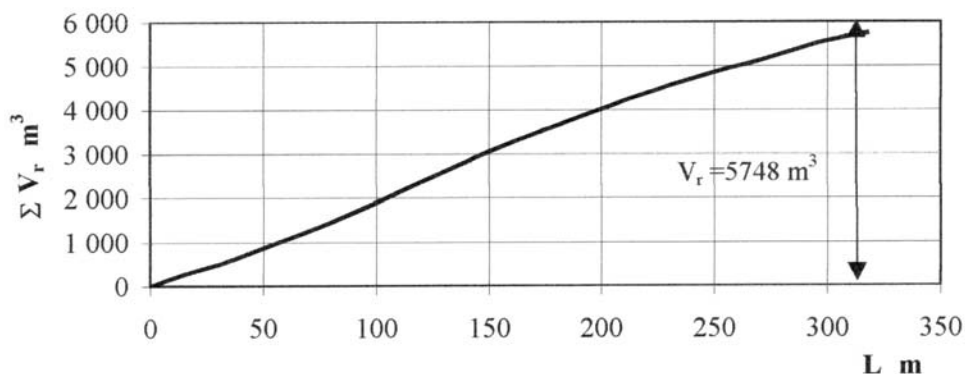
Pomiary i rozpoznanie terenu przeprowadzone we wrześniu 2002 r. dostarczyły informacji o geometrii nowego koryta ciek i materiale gruntowym, w którym zostało ono wyżłobione, a także o odkładach gruntu wyerodowanego. Ogólny układ rozmytego koryta jest zgodny z układem doliny (rys. 2). Po upływie roku wody niskie wyżłobiły sobie bardziej rozwiniętą trasę przepływu. Na rysunku 3. przedstawiono zmienność szerokości, średnich głębokości i pól przekrojów poprzecznych wzdłuż rozmytego koryta. Profil podłużny nowego koryta (rys. 4) obejmuje odcinek od początku, przed zniszczonym przepustem, do przekroju zaniknięcia śladów rozmycia. Spadek dna koryta I przed przepustem w dolinie zalesionej wynosi 40‰ i jest większy od spadku na odcinku rozmytym. Na terenach zalewowych ograniczonych stokami doliny spadek jest zbliżony do spadku pierwszego odcinka koryta rozmytego i wynosi dla zalewu prawego 15‰, dla lewego – 13‰. Typowy przekrój poprzeczny wyerodowanej rynny przedstawiono na rysunku 5. Objętość gruntu rozmytego obrazuje krzywa narastających objętości rozmycia (rys. 6).

Najmniejsze spadki ukształtowały się na dolnym odcinku. Jest to uzasadnione dwoma zjawiskami – cofką na odcinku ujściowym i erozją wsteczną. Ogólna objętość gruntu wyerodowanego wyniosła 5748 m³ i jak wynika z krzywej sumowanych objętości od przekroju górnego największy przyrost występował w środkowej części odcinka. Część wyerodowanego gruntu trafiła do koryta rzeki Lubrzanka



Rys. 3. Parametry przekrojów poprzecznych na długości koryta; 1 – szerokość koryta B ; 2 – pole przekroju poprzecznego F ; 3 – głębokość średnia H_{sr}

Fig. 3. Parameters of the cross-sections in longitudinal profile; 1 – width of the channel, 2 – area of the cross section, 3 – average depth



Rys. 6. Krzywa narastających objętości rozmycia V_r na długości koryta poniżej zniszczonego przepustu

Fig. 6. The curve of increasing volume of eroded material V_r below the destroyed culvert

i dalej do zbiornika retencyjnego w Cedzynie, przyczyniając się do utraty pewnej jego pojemności. Część materiału gruntowego odłożyła się na terenie zalewowym tej rzeki.

Na podstawie profilu podłużnego można stwierdzić obniżenie dna koryta w stosunku do przepustu o około 0,62 m. Betonowe rury średnicy 1,0 m zostały przetoczone o około 2 m (fot. 1), a przyczółki częściowo zagłębione w piasku. Ich inwentaryzacja umożliwiła odtworzenie konstrukcji przepustu.



Fot. 1. Pozostałości po zniszczonym przepusie drogowym

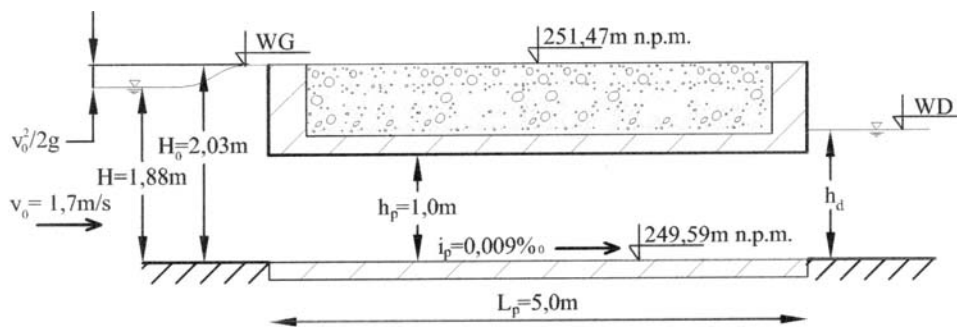
Phot. 1. Remains of the destroyed road culvert

WARUNKI HYDRAULICZNE. PRZEPLYWY I PRĘDKOŚCI

Aby dokonać pełnej charakterystyki zjawisk, które doprowadziły do erozji koryta cieku należałoby znać natężenie przepływu i kształt fali wezbrania, a więc czasy oddziaływania różnych prędkości i sił poruszających na rozmywany grunt. Z braku tych danych podjęto próbę oceny maksymalnego natężenia przepływu w czasie wezbrania, na podstawie pomiarów koryta i doliny cieku.

W pierwszej kolejności oceniono natężenie przepływu, który prawdopodobnie zapoczątkował proces erozji. Z zachowanych śladów wynika, że rozpoczął się on od zniszczonego przepustu, przy którym nastąpiło przelanie się wody przez koronę nasypu drogowego. Dla tych warunków wydatek przepustu został obliczony [BAJKOWSKI i in., 2000] przy następujących założeniach (rys. 7):

- przepust z zatopionym wlotem;
- przepływ pełnym przekrojem przewodu;
- woda górna (WG) – na poziomie korony drogi (251,47 m – rzędne w układzie lokalnym);
- woda dolna (WD) na różnych poziomach.



Rys. 7. Schemat hydrauliczny przepustu z zatopionym wlotem i wylotem, i_p – spadek dna przepustu

Fig. 7. Hydraulic scheme of the culvert with inundated inlet and outlet, i_p – bottom slope of the culvert

Wydatek przepustu Q przy tych założeniach wynosi: dla wylotu zatopionego $1,96 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, a dla wylotu niezatopionego, z przepływem pełnym przekrojem przewodu przepustu – $2,26 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Z uwagi na przybliżony charakter obliczeń można przyjąć, że przelanie się wody przez drogę przy przepuszczeniu nastąpiło, gdy przepływ Q wynosił $2,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

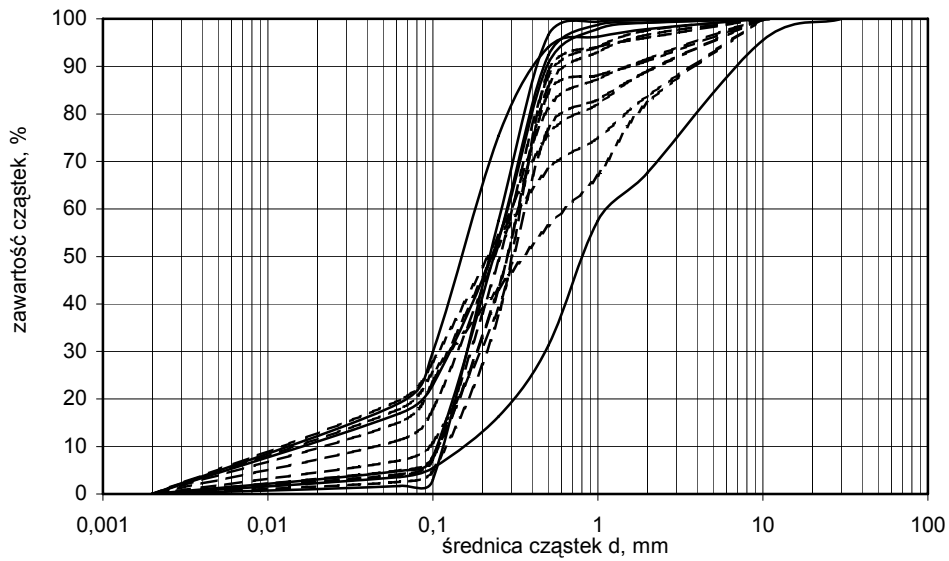
Oceniono przepustowość rowu na odcinku nierozmytym (przed przepustem drogowym w części doliny zalesionej) po rozmyciu przepustu w wyniku przelania się wody przez koronę drogi. Obliczenia wykonano na podstawie pomierzonych przekrojów koryta, spadku podłużnego oraz ocenionego współczynnika szorstkości. Prędkość obliczona wzorem Manninga w warunkach napelnienia koryta po

brzeży, założonego współczynnika szorstkości $n = 0,035 \text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s}$ oraz spadku równego spadkowi uśrednionej linii brzegów koryta, wyniosła $v = 1,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Odpowiadające tym warunkom natężenie przepływu Q wynosiło $7,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Obliczony przypuszczalny przepływ w korycie wyerodowanym w warunkach jego maksymalnego napełnienia w czasie wezbrania, przy założeniu maksymalnego poziomu zwierciadła wody określonego ze śladów pozostawionych przez wielką wodę w terenie i spadku zwierciadła wody równego spadkowi terenu doliny ($I = 14\%$) wyniosłby $Q = 153 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, a prędkość odpowiadająca temu przepływowi $v = 4,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ – są to wartości nieprawdopodobnie duże i sposób oszacowania natężenia przepływu maksymalnego na podstawie wymiarów przekroju i spadku uznano za nieprawidłowy, ponieważ mamy tu do czynienia zarówno ze zmiennym, a nawet szybko zmiennym ruchem wody w czasie, jak i zmieniającą się geometrią koryta. Przepływ kulminacyjny oceniony na $Q = 7,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ jest bardziej wiarygodny, gdyż wynika z niego, że maksymalny odpływ jednostkowy ze zlewni wyniosłby $q = 1,9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. Występowanie takich przepływów na terenach o dużym spadku notowano w literaturze [DĘBSKI, 1967; MIKULSKI, 1963]. Nie można jednak wykluczyć, że przepływ w szczycie fali wezbrania był większy. Mogą wskazywać na to wyniki obliczeń przy założeniu, że przepływ wystąpił z koryta zanim uległo ono erozji i wtedy poziom wody był maksymalny, obniżając się w miarę powiększania koryta. W takim przypadku przepływ obliczony przy założeniach $n = 0,035 \text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s}$ i $I = 14\%$ wyniosłby $Q = 48 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, a prędkość średnia: w całej dolinie $v = 1,76 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, w korycie nierozmytym $v = 3,04 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, a na zalewach $v = 1,60\text{--}1,65 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Wartości te uzasadniają przebieg opisywanego zjawiska, gdyż prędkości na zalewach były mniejsze od dopuszczalnych dla darni trawiastej, a w korycie znacznie przekroczyły dopuszczalne dla piasku, co doprowadziło do intensywnej erozji. Przy tym założeniu odpływ jednostkowy q wyniosłby jednak około $13,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$, co jest też wartością zbyt dużą.

CHARAKTERYSTYKA GRUNTU I JEGO ODKŁADÓW

Podczas badań terenowych pobrano próbki gruntu (5 próbek) z dna koryta na całej długości rozmycia i dla każdej z nich sporządzono krzywe uziarnienia (rys. 8). Mimo różnicowania krzywych można stwierdzić, że koryto ciekła utworzone jest w typowych piaskach aluwialnych, przewarstwionych (fot. 2), o średnicach ziaren rzadko przekraczających 2 mm. Warstwy gruntu o różnym uziarnieniu mają grubości do kilku centymetrów. Pobrano też próbki z terenów odsypiska (9 próbek), którego powierzchnia wynosi 2,1 ha, a średnia miąższość osadów około 0,25 m. Na podstawie krzywych uziarnienia gruntu odłożonego (rys. 8) stwierdzono większą na ogół zawartość ziaren grubszych, w porównaniu z gruntem nieprzemitym przez wodę. Ogólna objętość gruntu osadzonego wyniosła 5303 m^3 . Prędkości dopuszczalne nierozmywające, obliczone dla takich gruntów, wynoszą od 0,5



Rys. 8. Krzywe uziarnienia prób gruntu nierozmytego (—) i osadzonego na powierzchni terenu (---)

Fig. 8. Grain – size distribution curve of the soil (—) and settled sediment (---)



Fot. 2. Widoczne przewarstwienia na skarpach wyerodowanego koryta

Phot 2. Soil layers on the channel slopes visible after erosion

do $0,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Prędkości rzeczywiste były prawdopodobnie wielokrotnie większe. W korycie cieką wypełnionym po brzegi (przed rozmyciem) można je szacować na ponad $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, a więc rozmycie zaczęło się już przy znacznie mniejszym napelnieniu koryta i trwało przez cały czas przepływu, dla którego prędkości rzeczywiste przekraczały wartości dopuszczalne nierozmywające dla gruntu. Z tego powodu pola powierzchni przekrojów koryta wyerodowanego wielokrotnie przekroczyły pola przekroju przed erozją. Wynoszą one od $8,3 \text{ m}^2$ w najniższym przekroju odcinka wyerodowanego, do 24 m^2 w górnej części (rys. 3). Mniejsze pola przekrojów koryta w dolnej części odcinka są wynikiem zmniejszonej intensywności erozji wskutek spiętrzenia, wywołanego wysokim poziomem wody w odbiorniku. W okresie zmniejszania się natężeń przepływu woda z terenów zalewowych, spływając obniżeniami brzegów do koryta głównego w wyniku erozji wstecznej wyłobliła koryta boczne (rys. 2). W dnie rozmytego koryta uformowało się koryto wód średnich i niskich o krzywiznach znacznie zróżnicowanych i o znacznie większym rozwinięciu w planie.

PODSUMOWANIE

Opisany przypadek erozji koryta niewielkiego cieką wskutek gwałtownego wezbrania po silnej ulewie obrazuje zakres zmian w morfologii cieką i jego doliny oraz szkód gospodarczych. Te ostatnie wynikają ze zniszczenia pasa terenu użytkowanego dotychczas rolniczo, zniszczenia przepustu drogowego oraz ubytku pojemności zbiornika retencyjnego.

Dodatkową przyczyną tak dużej erozji koryta był przepust drogowy, który w pierwszej fazie wezbrania działał jak przeszkoda piętrząca wodę. W konsekwencji, po przelaniu się wody przez koronę drogi, przepust został zniszczony, a powstała fala wyerodowała koryto.

Ogólna objętość wyerodowanego gruntu wyniosła 5748 m^3 , z czego 5303 m^3 osadów odłożyło się warstwą średniej grubości $0,25 \text{ m}$ podwyższając poziom terenu o powierzchni $2,1 \text{ ha}$. Pozostała część wyerodowanego gruntu (445 m^3) została przeniesiona przez rzekę Lubrzanka w dół i osadzona w zbiorniku retencyjnym Cedzyna.

Zjawiska towarzyszące rozmyciu koryta potoku, wskazują na potrzebę uwzględniania następstw intensywnych deszczów podczas projektowania przepustów lub małych mostów. Mała przepustowość tych budowli, wywołująca spiętrzenie, a następnie przelanie się wody przez drogę, może być przyczyną gwałtownej erozji koryta cieką po przerwaniu drogi. Zjawisko takie, pomijając jego skalę, można porównać z falą wezbrania po przerwaniu zapory. W literaturze rzadkie są opisy takich zjawisk. Powodują one znaczne transformacje koryt i dolin cieków wodnych. Gromadzenie informacji na ten temat będzie prowadzić do doskonalenia metod wymiarowania przepustów i małych mostów.

LITERATURA

- BAJKOWSKI S., DĄBKOWSKI SZ. L., JAWOROWSKA B., SZUSTER A., UTRYSKO B., 2000. Światła mostów i przepustów. Zasady obliczeń z komentarzem i przykładami. Wrocław: IBDiM ss. 161.
- CIEPIEŁOWSKI A., DĄBKOWSKI SZ.L., 1968. Charakterystyka hydrologiczna skutków katastrofalnego oberwania chmury nad Rzeszowskiem w dniu 26 kwietnia 1966 r. Prz. Geofiz. r. 13 (21) s. 179–193.
- DĘBSKI K., 1967. Hydrologia. Cz. 2. Potamologia. Warszawa: Dział Wydaw. SGGW ss. 323.
- MIKULSKI Z., 1963. Zarys hydrografii Polski. Warszawa: PWN ss. 287.
- RATOMSKI J., 2000. Przyczyny i skutki powodzi 1997 r. w zlewni potoków Kasinka i Porębianka. Sympozjum KGW-PAN. Hydrotechnika III – 2000. Ustroń 2000 r. s. 193-207.
- RATOMSKI J., 2001. Wpływ regulacji potoków na rozwój obszarów wiejskich i środowisko naturalne. Zesz. Nauk. AR Krak. nr 382 Inż. Środ. z. 21 s. 335–341.

Szczepan L. DĄBKOWSKI, Jarosław BODULSKI

RESULTS OF THE RAINSTORM IN THE CHANNEL OF THE SMALL WATERCOURSE

Key words: cloudburst, small water course, channel erosion

S u m m a r y

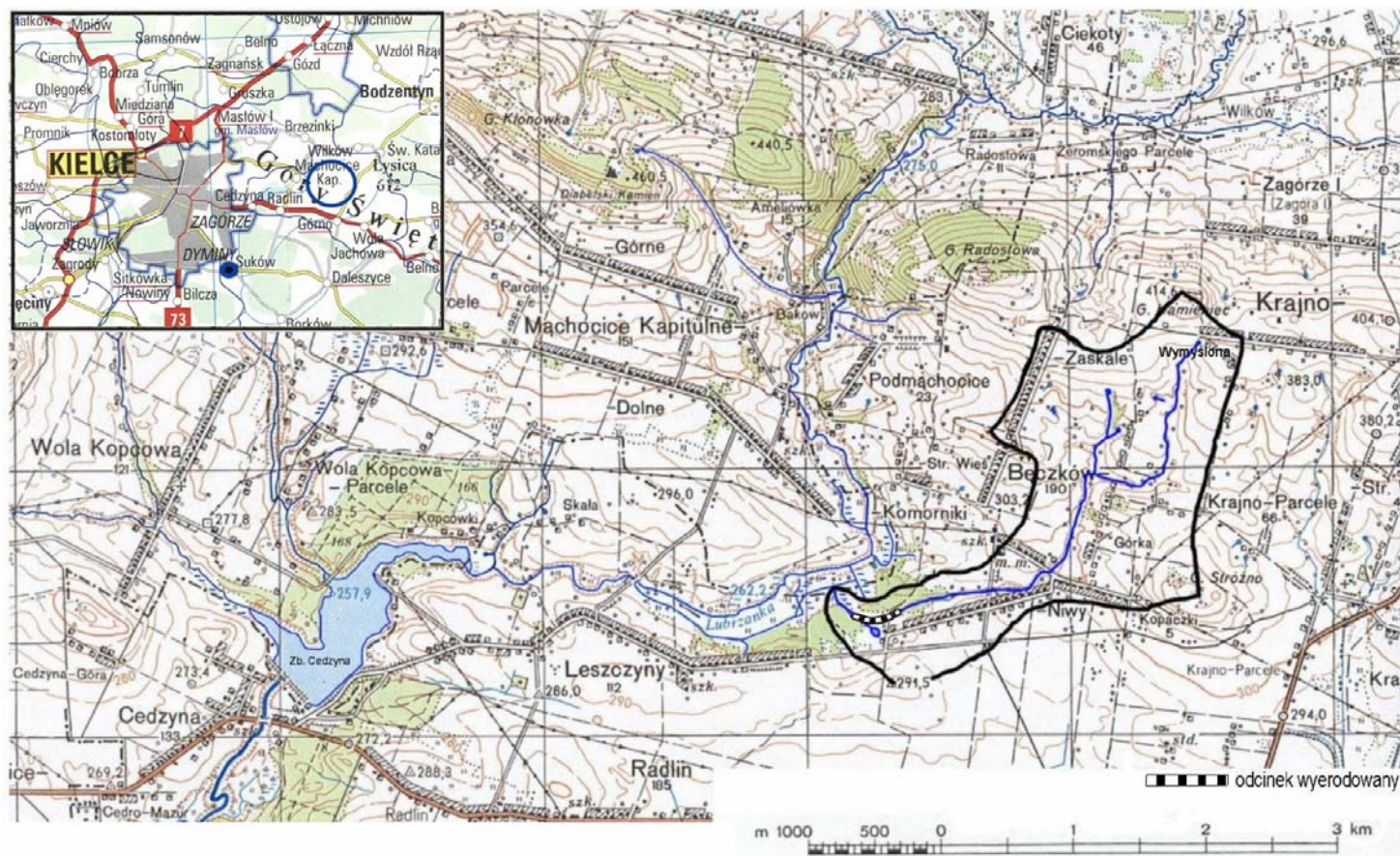
As a result of the cloudburst on 25th July 2001 one of affluents of the Lubrzanka River in the Świętokrzyskie Mountains was affected by strong erosion of the stream channel. It began with the destruction of the road culvert in upper section of the eroded channel. Presumable hydraulic conditions (discharge and velocities), characteristics of the soil material of which the stream channel was formed, permissible velocity and characteristics of the channel after erosion are presented in this paper. Total volume of the ground material taken away by water was around 5 700 m³, out of which c. 400 m³ were deposited in the channel of the Lubrzanka River and in the retention reservoir Cedzyna.

Recenzenci:

dr inż. Zbigniew Popek

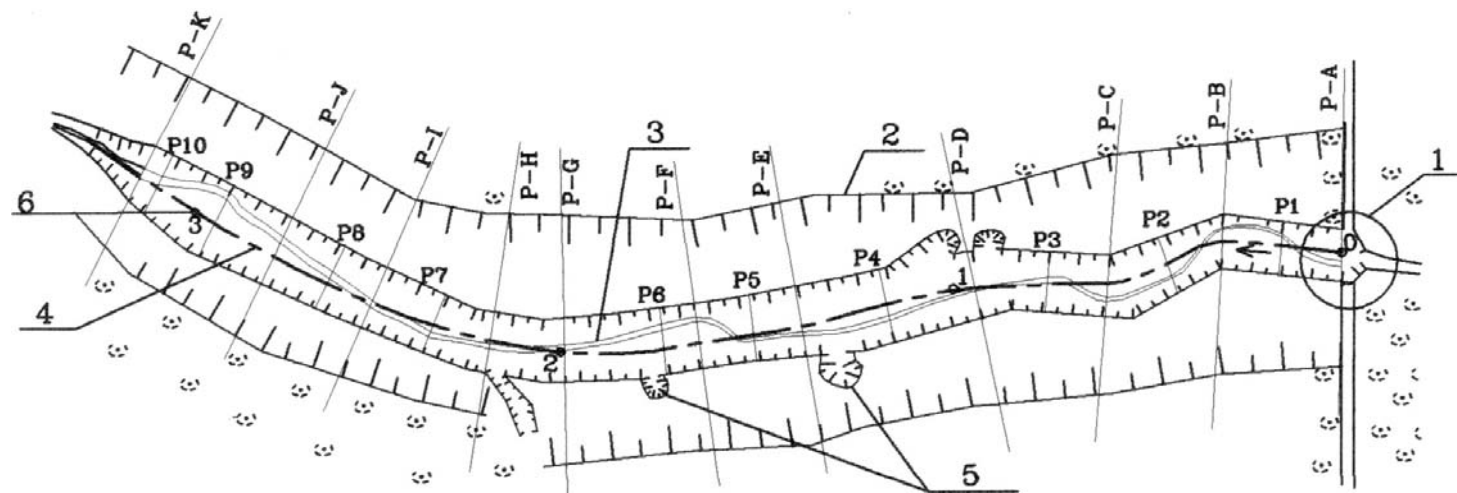
dr hab. inż. Jerzy Ratomski – prof. PK

Praca wpłynęła do Redakcji 28.05.2004 r.



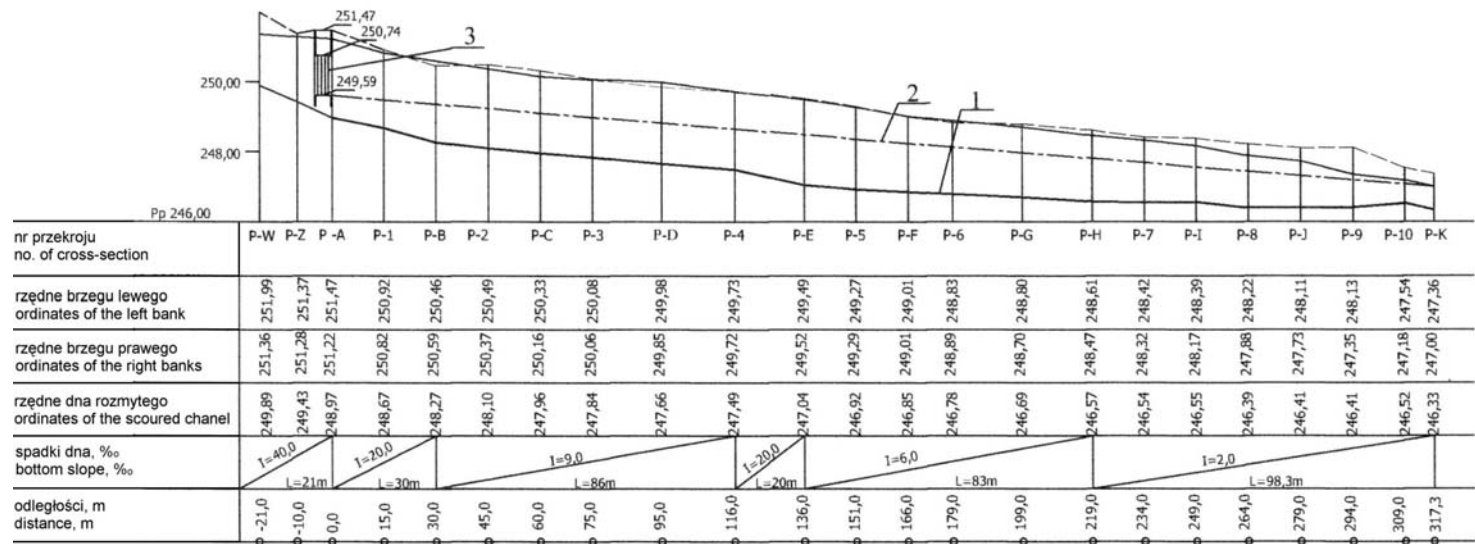
Rys. 1. Mapa zlewni potoku od Bęczkowa i jej okolic

Fig. 1. Map of the stream basin from Bęczków and its surroundings



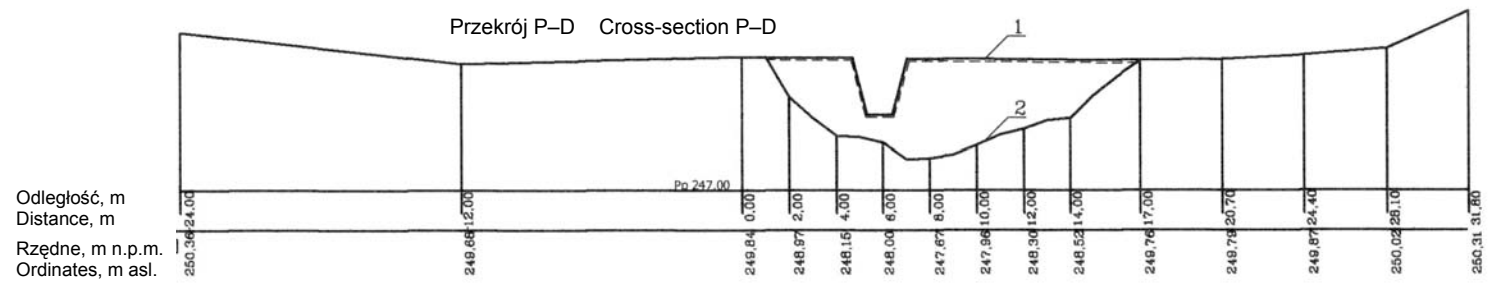
Rys. 2. Plan sytuacyjny koryta po erozji; P-A-P-K – przekroje dolinowe, P1-P10 – przekroje koryta wyerodowanego, 1 – zniszczony przepust drogowy, 2 – krawędź doliny, 3 – koryto niskich wód po erozji, 4 – oś doliny, 5 – koryto boczne, 6 – hektometraż koryta

Fig. 2. Plan of the stream channel after erosion; P-A-P-K – valley sections, P1-P10 – channel sections, 1 – destroyed road culvert, 2 – border of the valley, 3 – channel of low water after erosion, 4 – axis of the valley, 5 – side channel, 6 – hectometers



Rys. 4. Profil podłużny koryta wyerodowanego; 1 – linia dna po erozji; 2 – pierwotna linia dna; 3 – zniszczony przepust

Fig. 4. Longitudinal profile of the eroded stream channel; 1 – bottom profile after erosion, 2 – original bottom profile, 3 – destroyed culvert



Rys. 5. Typowy przekrój koryta rozmytego: 1 – koryto przed rozmyciem; 2 – koryto po rozmyciu

Fig. 5. Typical cross-section of the eroded channel: 1 – channel before erosion; 2 – channel after erosion