

**Mapa zagrożeń geomorfologicznych
wywołanych wezbraniem rzeki górskiej
(na przykładzie dolnej części doliny Ścinawki, Sudety Środkowe)**

*Map of geomorphological threats arising out of floods along
a mountain river
(as exemplified by the lower Ścinawka, Middle Sudety Mts., Poland)*

ŁUKASZ PAWLIK

Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego, Uniwersytet Wrocławski,
50-137 Wrocław, pl. Uniwersytecki 1; lukaszpawlik@geom.uni.wroc.pl

Zarys treści. W artykule przedstawiono sposób konstrukcji mapy obrazującej potencjalne efekty morfologiczne katastrofalnej powodzi na równinie aluwialnej rzeki górskiej. Zaproponowana mapa zagrożeń geomorfologicznych może być integralną częścią mapy zagrożeń powodziowych, a przez to, zgodnie z Dyrektywą Powodziową Parlamentu Europejskiego z 2007 r., wpływać na jej treść. Interdyscyplinarne podejście do problemu powodzi pozwoli na uwzględnienie procesów erozji i akumulacji w treści tej mapy. Analiza częstości ekstremalnych wezbrań w środowisku górskim oraz ich efektów geomorfologicznych skłania do stwierdzenia, że tego typu prognoza staje się niezbędna do prawidłowej oceny intensywności i rozmiarów zniszczeń zabudowy równiny aluwialnej i koryta rzecznego.

Słowa kluczowe: zagrożenia geomorfologiczne, kartowanie, powódź, erozja, akumulacja, Sudety.

Wstęp

W świetle wydarzeń takich jak katastrofalne w skutkach wezbrania rzek sudeckich w lipcu 1997 lub w 1998 r. (*Dorzecze Odry...*, 1999; Czerwiński i Żurawek, 1999; Żurawek, 1999; Zieliński, 2000, 2001, 2003; Łach, 2003), zagadnienie zagrożeń szczególnego środowiska życia człowieka, jakim jest równina aluwialna, staje się nadzwyczaj aktualne. W intensywnie zagospodarowanych dnach dolin rzek sudeckich wezbrania i powodzie nabierają rangi zjawiska o największej potencjalnej sile niszczącej. W takim przypadku kwestia skutecznej ochrony obszarów leżących w bezpośrednim sąsiedztwie rzek staje się bardzo ważna z ekonomicznego i społecznego punktu widzenia.

Pierwsze próby oszacowania ryzyka związanego z powodzią zostały podjęte przez hydrologów, którzy za pomocą modelowania i obserwacji terenowych są w stanie wyznaczyć obszary zalewowe, przy założonym prawdopodobieństwie wystąpienia wezbrania (Gutry-Korycka i inni, 2006; de Moel i inni, 2009; Neuhold i inni, 2009). Choć analizy hydrologiczne obejmują tylko przepływy i stany wód oraz informacje o zabudowie hydrotechnicznej i komunikacyjnej, mapy obszarów zalewowych stały się powszechnym narzędziem w pracach nad zagospodarowaniem przestrzennym i w sytuacjach kryzysowych związanych z powodzią. Dostrzegając niekompletność tego typu analiz (Fernández-Lavado i inni, 2007; de Moel i inni, 2009; Neuhold i inni, 2009), a biorąc pod uwagę dramatyczne skutki i zniszczenia spowodowane przez procesy *stricte* geomorfologiczne, tj. erozję i akumulację, zaproponowano rozwinięcie wcześniejszych obserwacji, poczynionych przez różnych autorów, w postaci mapy zagrożeń geomorfologicznych (np. Kasprzak, 2008). Analiza zagrożeń w świetle stwierdzonych prawidłowości przestrzennego rozkładu erozji i akumulacji, mających swoje bezpośrednie konsekwencje w rozmiarach zniszczeń powodziowych, może okazać się o wiele bardziej praktyczna niż przedstawienie samych obszarów zalewowych.

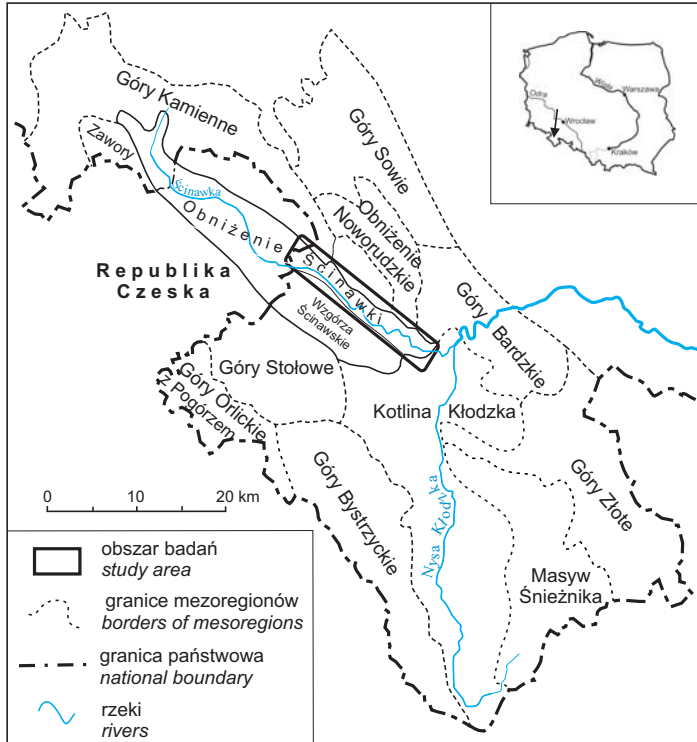
Dyrektywa powodziowa Parlamentu Europejskiego z 2007 r. określa elementy, jakie powinny zawierać mapy zagrożenia oraz ryzyka powodziowego. Powinny się na nich znaleźć m.in. wyznaczone obszary i strefy, w obrębie których może wystąpić erozja brzegowa i odkładanie się rumowiska. Zadanie stawiane przed autorami map zagrożenia powodziowego, w większości przypadków hydrologami i hydrotechnikami, obejmuje zatem procesy i formy rzeźby znajdujące się w sferze zainteresowania geomorfologów (por. Field, 2001; Alcántara-Ayala, 2002). Stwarza to nowe szanse współpracy interdyscyplinarnej, jak również zwiększa możliwości wykorzystania geomorfologii stosowanej w Polsce.

Celem tego artykułu jest przedstawienie przykładowej mapy zagrożeń geomorfologicznych w odniesieniu do mapy zagrożenia powodziowego, jak również wskazanie elementów, które powinny być brane pod uwagę przy konstrukcji takiej mapy. Zaprezentowany obszar obejmuje dolną część dna doliny Ścinawki w Sudetach Środkowych.

Obszar badań

Dolina rzeki Ścinawki (ryc. 1), najdłuższego dopływu Nysy Kłodzkiej (63,85 km, powierzchnia zlewni 593,5 km²), położona jest w obrębie mezoregionu Obniżenia Ścinawki. Jej rozwój oraz rzeźba związane są przede wszystkim z budową geologiczną niecki śródsudeckiej. Ścinawka, płynąc zgodnie z tzw. kierunkiem sudeckim, na przeważającej długości swojego biegu przecina subsekwentnie północne skrzydło niecki śródsudeckiej o budowie monoklinalnej. Sytuacja ta generuje asymetrię zboczy doliny Ścinawki, założonej w permskich

skałach wulkanicznych i osadowych. Dopiero na wysokości wsi Ścinawka Średnia rzeka wcina się w skały metamorfiku kłodzkiego, tj. gnejsy, fyllity, łupki i amfibolity. Generalnie na ewolucję rzeźby doliny Ścinawki miały wpływ przede wszystkim procesy związane z głębokim wietrzeniem chemicznym w paleogenie i neogenie (Wojciechowska, 1966; Jahn i inni, 1984; Krzyszkowski i inni, 1998). Reliktem czwartorzędowym są widoczne na całej długości analizowa-



Ryc. 1. Położenie obszaru badań
Na podstawie: *Atlas Śląska...* (1997), zmienione.

Location of the study area
Source: *Atlas Śląska...* (1997), modified.

nego odcinka doliny, od Tłumaczowa po ujście do Nysy Kłodzkiej, dwie plejstoceńskie terasy akumulacyjne o zróżnicowanej wysokości (2–5 m oraz 15–20 m nad poziom rzeki). Natomiast najbardziej charakterystyczną cechą doliny Ścinawki jest przemienność rzeźby i związane z tym odcinki przełomowe i basenowe (Wojewoda, 2007). Odcinki przełomowe wykształcone są w obrębie bardziej odpornych skał osadowych i wulkanicznych tworzących twarde i ostańce denudacyjne. Ze względu na skaliste zbocza oraz silne przekształcenie antro-

pogeniczne Ścinawka ma ograniczone możliwości swobodnego meandrowania w obrębie równiny zalewowej, osiągając wskaźnik krętości o wartości średnio 1,07 (analizowany odcinek 1,22) przy spadku 7,15‰ (2,7‰). Ścinawka jest jedyną rzeką sudecką, która dwukrotnie przecina granicę państwową z Czechami. Jej środkowa część znajduje się na obszarze makroregionu Broumovskiej Kotliny w Republice Czeskiej.

Metody badań

Podstawową metodą było kartowanie geomorfologiczne miejsc erozji bocznej jako tych punktów, które w okresie przyboru wody mogą okazać się najwrażliwsze na destrukcyjne działanie przyspieszonego nurtu wody. Kartowanie objęło również antropogeniczną zabudowę koryta w postaci opasek betonowych, kamiennej zabudowy brzegów, progów betonowych w dnie koryta, mostów drogowych i kolejowych, kładek dla pieszych, filarów i obudowy nieistniejących mostów i kładek. Jak wskazują wcześniejsze prace (np. Zieliński, 2000), częste poważne zniszczenia były w sąsiedztwie takich właśnie obiektów. Wzięto również pod uwagę cechy biotyczne, tj. przeszkody z grubego rumoszu drzewnego tkwiącego w korycie, erozyjnie podcięte drzewa grożące powaleniem, zalesione części równiny zalewowej oraz stopień porośnięcia wałów brzegowych drzewami i krzewami. Skartowano wychodnie skalne w brzegach oraz paleokoryta i starorzecza, które podczas wysokich stanów wody mogą zostać uaktywnione, zmieniając kierunek przepływu powodziowego.

Podczas prac kameralnych, uwzględniając publikowane materiały o zmianach morfologicznych den dolin dotyczące wschodniej części Kotliny Kłodzkiej (Czerwiński i Żurawek, 1999; Żurawek, 1999; Zieliński, 2000, 2001, 2003; Łach, 2003) oraz dane z innych regionów (Teisseyre, 1979; Czerwiński, 1991; Kotarba, 1998; Hrádek, 1999; Field, 2001; Migoń i inni, 2002; Izmailow i inni, 2004; Arnaud-Fassetta, 2005), wykonano prognozę geomorfologicznych skutków katastrofalnej powodzi na równinie aluwialnej dla dolnej części doliny Ścinawki. Prognozę przedstawiono na podkładzie złożonym z map topograficznych w skali 1:10 000 (układ 1965). Wyszczególniono przy tym miejsca szczególnie narażone na zagrożenia geomorfologiczne i dla nich zaproponowano mapy w skali 1:5 000 (ryc. 4A, B, C i D).

Podjęte prace miały na celu wskazanie potencjalnych miejsc erozji brzegowej, tworzenia się koryt powodziowych i akumulacji pozakorytowej, biorąc za podstawę prawidłowości ich rozmieszczenia stwierdzone po wcześniejszych katastrofalnych powodziach. Ze względu na przytoczone przykłady zakłada się, że powstające formy są typowe dla wezbrania o prawdopodobieństwie wystąpienia mniejszym niż 1%.

Częstość katastrofalnych powodzi

Dyrektywa Powodziowa Parlamentu Europejskiego z 2007 r. kładzie nacisk m.in. na ocenę ryzyka powodziowego w dłuższej perspektywie czasowej. Zakłada się, że wszelkie oceny i założenia będą musiały być skorygowane i dostosowane do zmieniających się warunków w dorzeczach (*Dyrektywa...*, 2007; Pytkowska, 2007). W przypadku map ryzyka powodziowego zmiany te mają być uwzględniane co 6 lat (de Moel i inni, 2009). Obejmuje to szeroko dyskutowane zmiany klimatyczne (naturalne i antropogeniczne) oraz ich wpływ na częstość występowania powodzi (np. Staffler i inni, 2008).

Przegląd danych historycznych sięgających XIII i XIV w. wskazuje, że ekstremalne powodzie na obszarze Sudetów zdarzają się co kilkanaście-kilkadziesiąt lat. W Kotlinie Jeleniogórskiej pojawiają się w interwałach 15- i 20-letnich (Budych i Majewicz, 1999). W Kotlinie Kłodzkiej Nysę Kłodzką cechuje 18-letni okres powtarzalności powodzi, a Białą Łądecką – 29-letni (Łach, 2003). Dla tych rzek analiza została przeprowadzona według ekstremalnych stanów maksymalnych z pomiarów prowadzonych od 1901 r. Dość częstą sekwencją są dwie katastrofalne powodzie następujące jedna po drugiej lub z roczną przerwą (Mikulski, 1997). Zdarzają się również zgrupowania lat lub dekad o większej intensywności opadów, co określane jest jako tzw. *clustering* (Starkel, 2008). Powyższe przykłady stoją w opozycji do powszechnej opinii na temat częstości tzw. „wielkiej wody”, interpretowanej jako powódź stuletnia (z prawdopodobieństwem wystąpienia 1%) lub pojawiająca się jeszcze rzadziej.

Zmiany klimatyczne, choć trudne do przewidzenia, powinny być brane pod uwagę przy opracowywaniu scenariuszy powodziowych. Jak wskazuje analiza H. de Moela i innych (2009), żadna z map zagrożenia powodziowego z 29 krajów europejskich, w tym z Polski, nie bierze pod uwagę przyszłych zmian klimatycznych. Wyjątkiem są np. symulacje przeprowadzone w prowincji Bolzano we Włoszech dla rzek Ridanna i Cengles (Staffler i inni, 2008). Zakłada się, że w dłuższej perspektywie czasowej nastąpi wzrost ryzyka wystąpienia powodzi błyskawicznych (ang. *flash floods*) oraz powodzi sztormowych (*IPCC...*, 2007; de Moel i inni, 2009). Przypuszczenia te muszą uwzględniać stopień ingerencji człowieka w środowisko i jego ewentualny wpływ na wzrost częstości powodzi, np. poprzez wylesienie stoków (Smith i Ward, 1998; Budych i Majewicz, 1999; Migoń i inni, 2002) oraz warunki formowania fal wezbraniowych, np. zwiększenie ich koncentracji i prędkości przemieszczania, co dla dorzecza górnej Wisły wykazał J. Punzet (1998–1999). Fakt ten może mieć mniejsze znaczenie w przypadku Ścinawki, której zlewnia jest zlewnią III rzędu, ale większe w przypadku całej zlewni Nysy Kłodzkiej, zbierającej wody z dużej części Sudetów Środkowych i Wschodnich. Z drugiej jednak strony wzrost ryzyka powodziowego jest spowodowany postępującą zabudową hydrotechniczną koryt rzecznych

oraz zagospodarowaniem terenów zalewowych rzek (Wyźga, 1993). W takim przypadku zwiększające się straty gospodarcze nie są adekwatne do hydrologicznych cech charakteryzujących wielkość wezbrania (Smith i Ward, 1998; Punzet, 1998–1999).

Dodatkowym argumentem przemawiającym za uwzględnieniem zmian klimatycznych jest fakt wydzielenia naturalnych faz zwiększonej częstości powodzi dla doliny Wisły, których było kilka w ciągu całego holocenu (Starkel, 1986; Rotnicki i Starkel, 1999). Jedna z ostatnich faz przypadająca na V–VI w. dobrze koreluje z danymi dendrochronologicznymi dotyczącymi pni powalonych dębów tkwiących w grubookruchowych żwirach w przedgórskim odcinku dna doliny Nysy Kłodzkiej. Wskazują one na wysokoenergetyczne przepływy w okresie 540–590 AD, których szacowana siła mogła być większa niż zanotowana w czasie powodzi w 1997 r., a nie wywołała takich efektów sedymentacji w tej części doliny (Krapiec i inni, 2004).

Geomorfologiczne efekty wezbrania na równinach aluwialnych rzek górskich i przedgórskich

Już wczesne obserwacje poczynione przez M. Klimaszewskiego (1935) na Podhalu po powodzi z 1934 r. oraz A. Zierhoffera (1935) w zlewni Dniestru po powodzi z 1927 r., dały wyobrażenie o skali zjawiska w sensie zmian morfologicznych w dnach dolin różnej rangi oraz na stokach. Wytoczyły one jednocześnie nowy kierunek badań opartych na dwóch podstawowych procesach, tj. erozji i akumulacji. Literatura przedmiotu zawiera wiele opisów efektów obu procesów, dotyczących zarówno małych zlewni (np. Kaszowski i Kotarba, 1970), jak i den dolin najbardziej przekształconych podczas powodzi obejmujących większe obszary w Tatrach i w Sudetach (Teisseyre, 1979; Kotarba, 1998; Czerwiński i Żurawek, 1999; Łach, 2003; Zieliński, 2003). Dane te pozwalają na rozpoznanie prawidłowości przestrzennego rozkładu miejsc erozji i akumulacji, tym samym zyskując rangę danych aplikacyjnych, użytecznych w modelowaniu przyszłych zmian związanych z ekstremalnymi powodziami. Można to przedstawić w postaci klas odmiennego zagrożenia geomorfologicznego (Fernández-Lavado i inni, 2007; Kasprzak, 2008), ale również wyznaczyć dokładne strefy wystąpienia określonej formy, np. kamieńca, czy miejsc intensywnej erozji bocznej (Zieliński, 2000, 2001, 2003), tym samym zwiększając dokładność opracowania dla mapy zagrożeń geomorfologicznych (Field, 2001; Kasprzak, 2008). Takie podejście wymaga zebrania informacji na temat:

- miejsc wzmożonej erozji podczas ekstremalnych powodzi,
- morfologicznych skutków erozji w obrębie obiektów hydrotechnicznych,
- miejsc akumulacji pozakorytowej,
- wpływu roślinności na procesy erozji i akumulacji pozakorytowej.

Warto tu przytoczyć wyniki obserwacji G. Arnaud-Fassetta i innych (2005) z Alp Francuskich, którzy po analizie zmian morfologicznych po dwóch powodziach o różnym natężeniu stwierdzili, że przekształcenia hydro-geomorfologiczne występują w tych samych miejscach. Sugerują jednocześnie, aby w strefach najbardziej aktywnych morfodynamicznie poprawić jakość konstrukcji hydrotechnicznych.

Miejsca wzmożonej erozji podczas ekstremalnych powodzi

Z punktu widzenia zagrożeń geomorfologicznych największe znaczenie ma erozja boczna, która zależna jest od wielu – często lokalnych – czynników. W przypadku zdarzeń ekstremalnych jest głównie funkcją wielkości przepływu, tzn. intensywność erozji wzrasta wraz z biegiem rzeki. Ponadto jej natężeniem sterują dwa ważne, choć lokalnie zmienne czynniki: litologia brzegu oraz roślinność przykorytowa (Zieliński, 2000, 2001).

Erozja boczna odgrywa główną rolę w kotlinach śródgórskich oraz w obrębie stożków aluwialnych na przedpolu kotlin i obszarów górskich (tab. 1). Może ona współwystępować z akumulacją pozakorytową, co zaobserwowano m.in. w obrębie Białej Łądeckiej (Latocha i Parzóch, 2010).

Tabela 1. Miejsca wzmożonej erozji podczas ekstremalnej powodzi
Places of intensive erosion during an extreme flood

| Miejsca <i>Places</i> | | Efekty morfologiczne <i>Morphological effects</i> |
|--------------------------|--|--|
| Skala regionalna | Przełomowe odcinki rzek | Wzrost rozmycia koryta i równiny zalewowej, erozja boczna i poszerzanie koryta, przecinanie meandrów i prostowanie koryta, rozcinięcie powierzchni terasy zalewowej, rozwój krewas i systemów wielokorytowych, awulsja |
| | Stożki napływowe poniżej krawędzi morfologicznych wyznaczających granice kotlin śródgórskich | |
| | Na i poniżej stożków napływowych | |
| | Odcinki kotlinowe dolin | |
| | W większości środkowych biegów rzek | |
| Skala lokalna | Strefy połączeń rzeki głównej oraz dopływu | Erozja boczna |
| | Zewnętrzne strony zakoli | |
| | Tereny położone na najkrótszej linii tnącej zakole, w tym w sztych meandrów | Powstawanie koryt (skrótów) powodziowych |

Zestawienie własne na podstawie: Teisseyre (1979); Hrádek (1999); Żurawek (1999); Zieliński (2000, 2001); Field (2001); Migoń i inni (2002).

Authors' own compilation based on: Teisseyre (1979); Hrádek (1999); Żurawek (1999); Zieliński (2000, 2001); Field (2001); Migoń *et al.* (2002).

Morfologiczne skutki erozji przy obiektach hydrotechnicznych

Negatywne skutki epizodu powodziowego mogą zostać spotęgowane przez intensywną i często niewłaściwą zabudowę koryt rzecznych oraz ich regulację (tab. 2) (Zieliński, 2000; Łach, 2003; Arnaud-Fassetta, 2005), doprowadzając m.in. do degradacji równiny aluwialnej (Teisseyre, 1985) głównie z powodu intensyfikacji erozji. Mosty niekiedy przyczyniają się do generowania awulsji. Jako przykład można podać rzekę Wilczka w Sudetach Kłodzkich: most zlokaliz-

Tabela 2. Morfologiczne skutki procesów erozyjnych przy obiektach hydrotechnicznych
The morphological effects of erosion near the hydrotechnical constructions

| Obiekty hydrotechniczne <i>Hydrotechnical constructions</i> | Efekty morfologiczne <i>Morphological effects</i> |
|--|--|
| Mosty | Wzmożona erozja boczna i denna przed mostem, działająca szczególnie intensywnie na zewnętrzne brzegi zakoli w bezpośredniej lokalizacji przed mostami. W przypadku zablokowania prześwitu pod mostem przez odsypy żwirowe lub pnie drzew może dojść do tworzenia się koryt powodziowych. Zerwane mosty mogą być przyczyną awulsji. |
| Jazy | Znaczny wzrost erozji dennej poniżej budowli. Erozyjne rozmywanie brzegów w obrębie jazu. Tworzenie się półokrągłych nisz erozyjnych znacznych rozmiarów. Szczególnie intensywna i niszcząca erozja w obrębie jazów zlokalizowanych na zakolach. |
| Wały przeciwpowodziowe | Rozmywanie wałów w miejscach, gdzie przepływ powodziowy jest piętrzony przez mosty oraz nasypy drogowe i kolejowe. |
| Zabudowa koryta | Intensywna erozja działa poniżej stref koryta całkowicie skanalizowanego, tj. z wybetonowanym dnem i brzegami. |

Zestawienie własne na podstawie: Teisseyre (1979); Czerwiński i Żurawek (1999); Żurawek (1999); Zieliński (2000, 2001); Migoń i inni (2002); Łach (2003).

Own compilation based on: Teisseyre (1979); Czerwiński and Żurawek (1999); Żurawek (1999); Zieliński (2000, 2001); Migoń et al. (2002); Łach (2003).

zowany u wierzchołka stożka aluwialnego został zablokowany przez głazy i gruz, co spowodowało wzrost poziomu wody, a w konsekwencji przerzucenie koryta (Czerwiński i Żurawek, 1999; Żurawek, 1999). Inny przykład to zerwanie przez wody powodziowe dużych mostów w Radochowie i Wilkanowie. Mosty te były przyczyną powstania zatorów powodujących awulsję koryta Białej Łądeckiej i Wilczki. Awulsji towarzyszyła lokalna nadbudowa równiny zalewowej grubo- i drobnofrakcyjnym materiałem o miąższości do 1 m (Łach, 2003).

W przypadku zabudowy w postaci jazów stwierdzono, że w części doliny położonej powyżej jazu wzrasta niebezpieczeństwo powodzi w wyniku agradacyjnego podnoszenia dna koryta i zmniejszenia jego przepustowości. Poniżej jazu pojawia się erozja wgłębna, w dalszym biegu rzeki ponowna agradacja, a następnie przyspieszona erozja boczna (Teisseyre, 1985).

Miejsca akumulacji pozakorytowej

W dalszej analizie zagrożeń geomorfologicznych należy wziąć pod uwagę negatywne efekty związane z akumulacją pozakorytową. Strefa pozakorytowa doliny rzecznej uważana jest za receptora, a nie dawcę zawiesiny, ponieważ jest obszarem utraty energii przepływu ulegającej rozproszeniu na skutek tarcia o dno doliny i tarcia wewnętrznego (Teisseyre, 1985). Niestabilność przepływów pozakorytowych sprawia, że w fazie opadania wód dochodzi do dzielenia nurtu i roztokowania (Teisseyre, 1985).

Najbardziej prawdopodobne miejsca akumulacji pozakorytowej zostały przedstawione w tabeli 3 oraz na rycinie 2.

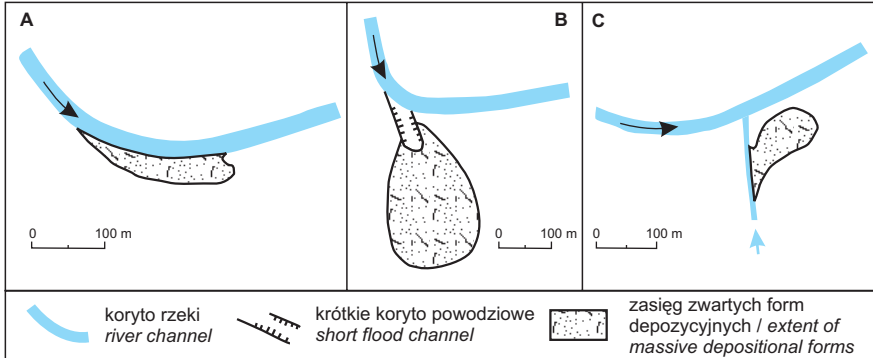
Tabela 3. Miejsca akumulacji pozakorytowej
Places of overbank deposition

| Miejsca <i>Places</i> | | Efekty morfologiczne i sedymentologiczne <i>Morphological and sedimentological effects</i> |
|--------------------------|---|---|
| Skala regionalna | W obrębie szerokich dolin płaskodennych u wylotu odcinków przełomowych na stożkach napływowych. Może się to łączyć ze zmianą układu koryta rzeki z meandrowego na roztokowy | Kamieńce gwałtowo-żwirowo-piaszczyste, pokrywy mułowo-łaste, w tym w basenach dekantacyjnych, cienie sedymentacyjne gwałtowo-żwirowe, wały brzegowe na przeszkodach, stożki napływowe z rozmycia nasypów kolejowych |
| | W obrębie kotlin oraz w dolnych odcinkach dużych dolin | |
| | Przed nasypami drogowymi i kolejowymi biegnącymi w poprzek doliny. W obrębie zwartej zabudowy koryta rzecznego i równiny aluwialnej | Żwirowe wały brzegowe |
| | Równina zalewowa w strefie brzegów koryta | |
| Skala lokalna | Na zewnętrznych brzegach, poniżej zakoli o małej krzywiznie | Pokrywa żwirowa wydłużona |
| | Na zewnętrznych brzegach zakoli o dużej krętości | Pokrywa gruboklastyczna wachlarzowata |
| | Połączenie dopływu z rzeką główną | Stożkowa pokrywa akumulowana z materiału transportowanego przez dopływ |

Zestawienie własne na podstawie: Teisseyre (1979, 1985); Zieliński (2000, 2003); Łach (2003), Arnaud-Fassetta (2005).

Own compilation based on: Teisseyre (1979, 1985); Zieliński (2000, 2003); Łach (2003), Arnaud-Fassetta (2005).

Chaotyczna depozycja kamieńca gwałtowno-żwirowo-piaszczystego zachodzi szczególnie w tych strefach równiny zalewowej, które są intensywnie zabudowane, często w bezpośrednim sąsiedztwie koryta rzeki (Łach, 2003). Spowodowane jest to wzrostem tarcia i gwałtownym spadkiem energii kinetycznej fali powodziowej na przeszkodzie. Z powodu intensywnego zabudowania równiny aluwialnej Ścinawki, takiego scenariusza można spodziewać się również tam.



Ryc. 2. Rodzaje form grubookruchowej akumulacji pozakorytowej

Types of coarse-grained overbank sheets

Na podstawie:/Based on: Zieliński (2000, 2003).

Wpływ roślinności na procesy erozji i akumulacji pozakorytowej

Inicjowana przez zatory drzewne akumulacja odsypów śródkorytowych prowadzi do roztokowania przepływu korytowego, co łączy się ze wzmożoną erozją boczną i poszerzaniem strefy koryta. Podobnie rumosz drzewny stanowi barierę dla nurtu, spychając go w kierunku brzegów, doprowadzając np. podczas powodzi w 1997 r. do rozmycia – uważanych do tej pory za stabilne – krawędzi teras zbudowanych z frakcji blokowej w Tatrach (podlegały one cofaniu bocznemu o kilka metrów) (Kotarba, 1998). Ponadto kępy drzew porastających brzegi koryt ułatwiają depozycję żwirowych wałów brzegowych przed i za przeszkodą oraz pośrednio sprzyjają awulsji (Ziętara, 1968b; Żurawek, 1999; Zieliński, 2000; Łach, 2003). Awulsję mogą również powodować pnie i gałęzie blokujące koryto (Izmailow i inni, 2004). Wały brzegowe na przeszkodach z drzew mogą osiągać 1,30 m wysokości (Łach, 2003).

W ogólnym bilansie, roślinność ogranicza skalę działalności erozyjnej rzek, szczególnie na terasach porośniętych zwartym lasem liściastym (Teisseyre, 1985; Zieliński, 2000), ale równocześnie powoduje wzrost stanów powodziowych i zmniejszenie prędkości przepływów pozakorytowych, tym samym przyspiesza-

jąc depozycję w obszarach pozakorytowych (Teisseyre, 1985). Udowodniono, że powierzchnie zadarnione wykazują dużą odporność na erozję (Tricart, 1960; Teisseyre, 1988), a gęste zarośla nadrzeczne hamują spływ wód powodziowych, zwłaszcza jeśli zarosną naturalne koryta przelewowe (Teisseyre, 1977). Jednocześnie w sytuacji, gdy ze strefy pozakorytowej usunie się zarośla, średnia prędkość przepływu powodziowego wzrasta o 25%, o 15% zmniejsza się stan powodziowy, a o 30% spada współczynnik oporu Manninga (w czasie szczytu fali powodziowej) (Burkham, 1975, cytowane za Teisseyre, 1985). Podobnie jest w momencie, gdy trawy ulegają wyłożeniu i pokrywają się cienkimi osadami mułu lub piasku. Wzrastają wtedy przepływy pozakorytowe w fazie przyboru wód (Teisseyre, 1985).

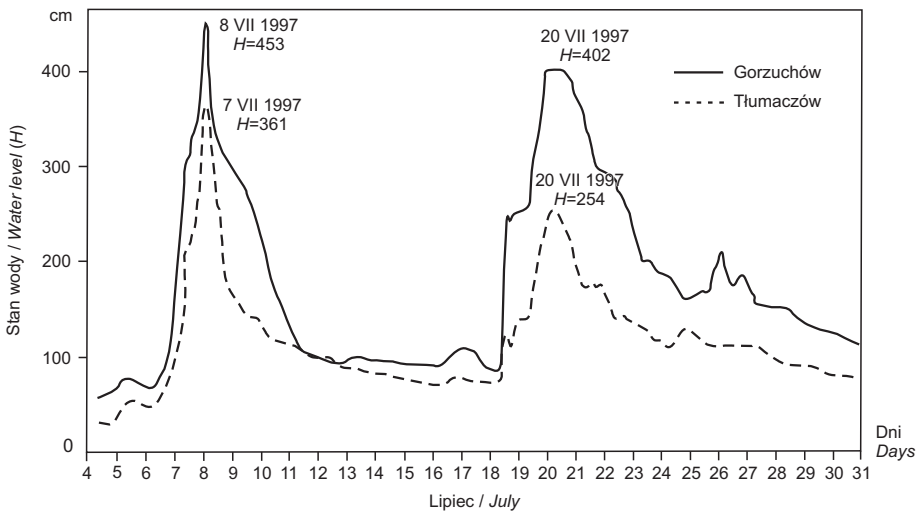
Prognoza geomorfologicznych skutków dużych wezbrań w dolnej części doliny Ścinawki

Mimo że w dolinie Ścinawki powódź z lipca 1997 r. nie miała tak katastrofального przebiegu jak w zlewniach prawostronnych dopływów Nysy Kłodzkiej, zniszczenia były najpoważniejsze w historii. Zanotowano dwie kulminacje fali powodziowej na wodowskazach w Tłumaczowie i Gorzuchowie. Kulminacyjne przepływy odpowiadały maksymalnym przepływom o prawdopodobieństwie przewyższenia wyznaczonym dla wielolecia 1961–1997 wynoszącym 0,2% w Tłumaczowie (raz na 500 lat) i 0,8% w Gorzuchowie (Ewertowski i Pluta, 2008).

Choć dolna część doliny Ścinawki znalazła się w tzw. cieniu opadowym, decydujący wpływ na wysokie stany wody w Ścinawce (ryc. 3) miały opady w rejonie Kotliny Broumovskiej i czeskich Gór Stołowych (czes. Broumowska vrchovina). Wysokość opadów z okresu 5–9 lipca 1997 r. przekroczyła na tym obszarze wieloletnie normy wyznaczone dla lipca aż o 300% (*Dorzecze Odry...*, 1999). W wyniku takich warunków meteorologicznych powodzią objęte zostały m.in. wsie Ścinawka Górna, Średnia i Dolna oraz Tłumaczów, w których zarejestrowano następujące szkody (*Straty...*, 1997): zalanych 396 budynków, uszkodzonych 26 km dróg gminnych, erozyjnie zniszczonych lub wymytych około 25 km brzegów rzek i potoków, zniszczone rowy i przepusty o długości 25 km. Ponadto w Ścinawce Górnej powierzchnia wyerodowanego brzegu wyniosła 1200 m² oraz zaobserwowano jeden przypadek, w którym rzeka zmieniła koryto.

Kolejne powodzie wystąpiły w roku 1998, sierpniu 2001, na przełomie września i października 2002, w styczniu 2003 oraz dwie w 2006 r. (29–31 marca i 7–8 sierpnia), straty podczas tych wydarzeń były jednak proporcjonalnie mniejsze niż w 1997 r.

Jak wynika z powyższego opisu, okolice doliny Ścinawki są narażone na częste i groźne w skutkach powodzie. Składa się na to kilka czynników zarówno naturalnych, jak i spowodowanych przez człowieka: przemienność rzeźby (odcinki



Ryc. 3. Hydrogramy fal powodziowych na Ścinawce podczas ekstremalnej powodzi w lipcu 1997 r.
Hydrographs of flood water level along the Ścinawka during the extreme flood of July 1997
Źródło/Source: *Dorzecze Odry...*(1999).



Ryc. 4. Analizowany obszar dna doliny Ścinawki. Odcinki przedstawione w większej skali oznaczono kwadratami. Opracowanie własne.
A – Dno doliny Ścinawki w odcinku przełomowym
B – Połączenie Ścinawki z Włodzicą
C – Intensywnie zabudowana część dna doliny Ścinawki
D – Dolny odcinek Ścinawki z zagrodzonym przez jaz korytem i żwirownią w obrębie równiny zalewowej

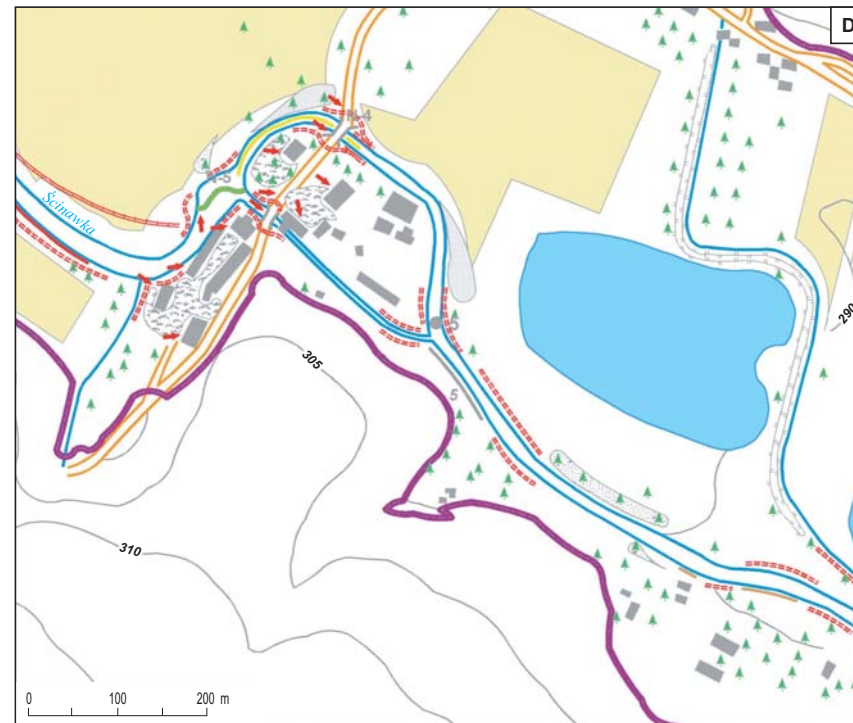
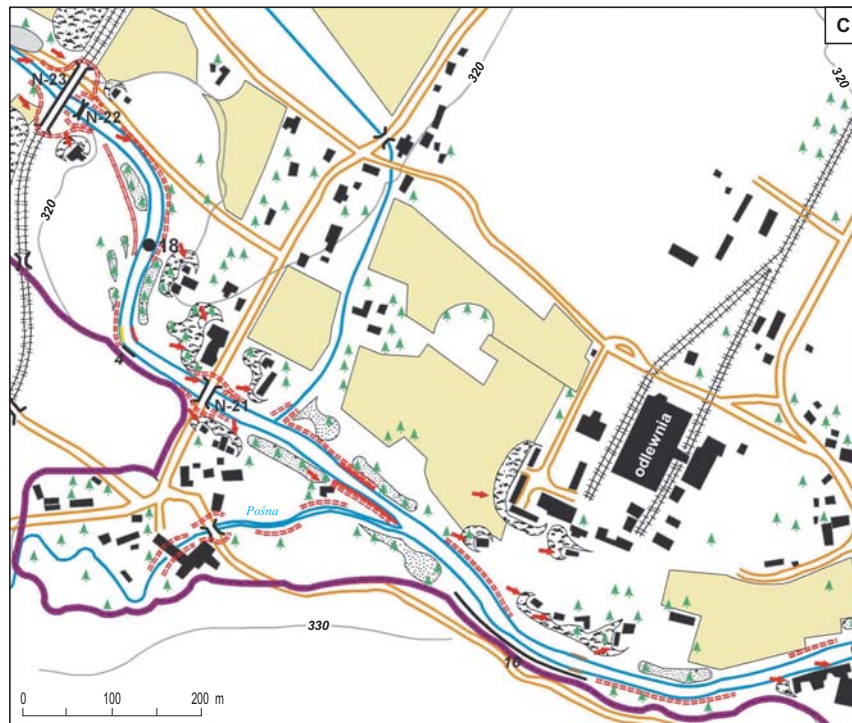
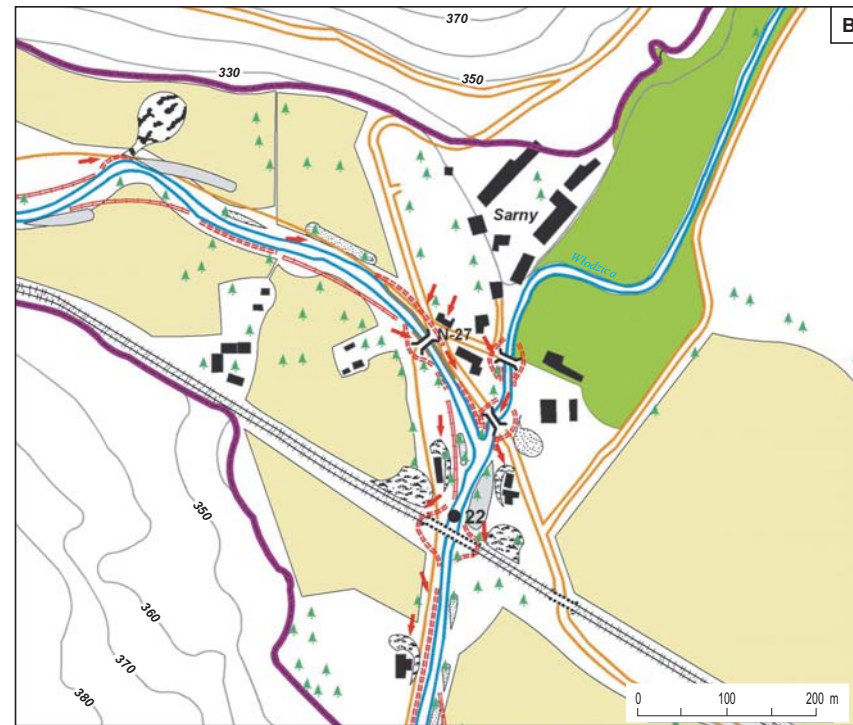
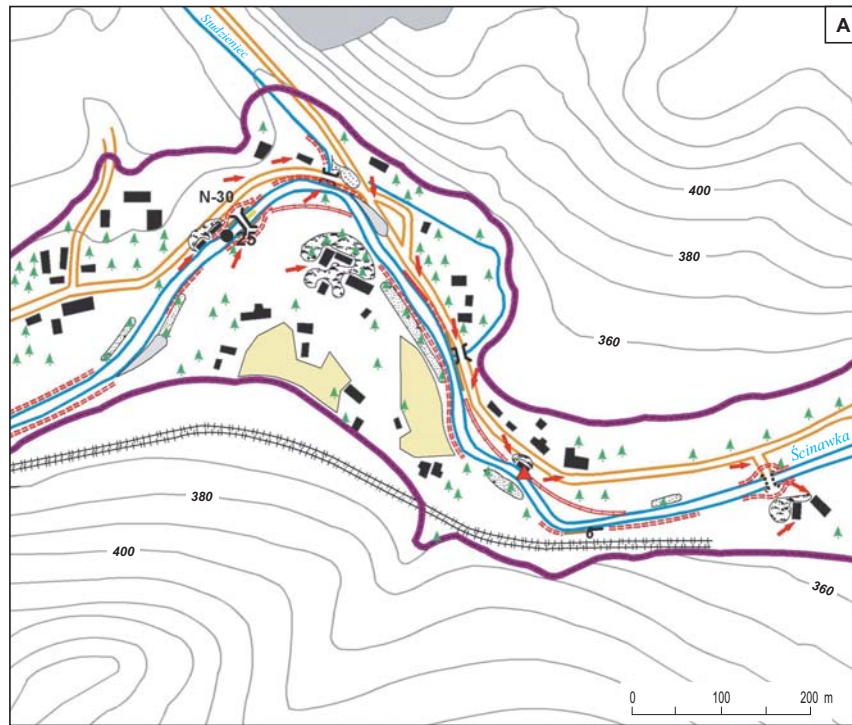
The analysed part of the Ścinawka Valley floor. Squares indicate areas presented on larger scale maps. Author's own elaboration.

A – The Ścinawka Valley floor within a narrow section of the valley

B – A tributary of the Włodzica meets the Ścinawka

C – Densely built-up part of the Ścinawka Valley floor

D – The lower part of the Ścinawka with existing obstructions of the river channel (a weir) and a gravel quarry within the alluvial plane



Prognoza geomorfologicznych skutków wezbrań
 Prognosis of geomorphic changes

- pokrywy żwirowe wydłużone / elongated gravel sheets
- pokrywy z materiału transportowanego przez dopływ / sheets deposited by tributaries
- pokrywy gruboklastyczne wachlarzowate / coarse-grained fan-shaped sheets
- kamieńce / overbank sheets
- żwirowe wały brzegowe / gravel levees
- koryta (skrót) powodziowe / flood channels (cuts)
- miejsca potencjalnej erozji bocznej / places of potential lateral erosion

Stan obecny
 Present conditions

- ciek / rivers
- odsypy korytowe / channel bars
- miejsca współczesnej erozji bocznej / places of present lateral erosion
- starorzecza / oxbow lakes
- paleokoryta / abandoned channels
- zbiorniki wodne / water reservoirs
- wychodnie skalne / rock outcrops
- granica równiny zalewowej / flood plain boundary
- wały przeciwpowodziowe / embankments
- jazy / weirs
- zabudowa brzegów / harden river banks
- gabiony / gabions
- wodowskazy / water-gauges
- mosty / bridges
- mosty zniszczone / damaged bridges
- drogi / roads
- linie kolejowe / railways
- zabudowania / buildings
- lasy / forests
- grunty rolne / fields
- kamieniołomy / stone-pits
- drzewa / trees
- poziomice / contour lines

- mosty i jazy / bridges and weirs
- 5 kilometry biegu rzeki / river mileage
- 6 wysokość zbocza w m nad poziomem rzeki / height of the river bank above a water level (m)
- obiekty bezpośrednio narażone na zniszczenie / objects directly exposed on damage

przełomowe i basenowe), lokalne umocnienia brzegów rzeki oraz intensywnie zabudowana równina aluwialna i bogata infrastruktura transportowa w postaci 20 mostów drogowych (4 spośród nich w stanie technicznym ocenianym jako „zły”, a 14 o zbyt małej przepustowości dla „wody stuletniej”) oraz 3 mostów kolejowych (Broś i inni, 2004). Z linią kolejową związane są nasypy, często o znacznej wysokości (4–5 m), przebiegające w poprzek dna doliny. W analizowanym odcinku znajdują się cztery nasypy kolejowe, które drastycznie ograniczają przepustowość równiny zalewowej (np. w okolicach wsi Gołogłowy równina została zwężona z 600 do 90 m).

Biorąc pod uwagę przewidywane zmiany klimatyczne i związane z tym fluktuacje intensywności opadów i odpływu jednostkowego, na prezentowanych mapach granice równiny zalewowej poszerzono do zasięgu dna doliny (ryc. 4, A, B, C, D). Takie podejście zakłada, że dotychczasowe największe stany i przepływy z lipca 1997 r. nie są maksymalną wartością, i że w przyszłości może nastąpić katastrofa powodziowa o jeszcze większej magnitudzie.

Wydzielone odcinki A, B, C i D (ryc. 4) zostały wybrane ze względu zarówno na warunki naturalne, jak i na sposób zabudowy równiny aluwialnej oraz koryta przez elementy hydrotechniczne. Uwzględniając ową charakterystykę zakwalifikowano je do klasy o najwyższym ryzyku zniszczeń, ze względu na stopień zainwestowania w infrastrukturę społeczno-gospodarczą oraz możliwości wystąpienia przedstawionych wcześniej zagrożeń geomorfologicznych. Trzeba podkreślić, że takich odcinków jest więcej, poniższe zaprezentowano jako przykładowe.

Odcinek 4A obejmuje Tłumaczów w obszarze przełomowym doliny Ścinawki, gdzie w przypadku katastrofalnej powodzi wystąpi efekt piętrzenia. Istotną przeszkodą jest tutaj most drogowy o ograniczonych możliwościach przepływu dla wód wezbraniowych ($70\text{--}75\text{ m}^3\text{s}^{-1}$ wobec $Q_{0,5\%} = 196\text{ m}^3\text{s}^{-1}$) (Machajski i inni, 2003). Został on zbudowany w miejsce zniszczonego podczas powodzi w 1997 r. Spodziewane zmiany erozyjne w obrębie mostu mogą być spotęgowane przez samą geometrię koryta, która może generować powstanie skrótów powodziowych.

W obrębie odcinka 4B, znajdującego się w Ścinawce Górnej, rzeka Ścinawka przyjmuje wody największego ze swoich dopływów – Włodzicy. Bezpośrednio w strefie połączenia obu cieków zlokalizowano trzy mosty, co będzie miało swoje negatywne konsekwencje w postaci rozcięć erozyjnych, szczególnie dla biegnącej równolegle do koryta drogi gminnej. Należy spodziewać się również piętrzenia wód wezbraniowych przy nasypie kolejowym o wysokości 4 m, biegnącym w poprzek dna doliny (zwężenie z 700–800 m do 60–70 m). Efekt piętrzenia wpłynie na intensywną akumulację materiału rzecznoego przed nasypem, ale również na wzmożoną erozję poniżej, co może bezpośrednio oddziaływać na stabilność przyczółków mostu.

Na rycinie 4C przedstawiono część Ścinawki Średniej, w której znajduje się infrastruktura przemysłowa w postaci odlewni żeliwa oraz liczne zabudowania bezpośrednio przy korycie rzeki. Tu również 4-metrowy nasyp kolejowy poprowadzono w poprzek dna doliny i mimo wystarczającej powierzchni przekroju pod mostem, pozwalającej na przejście fali wezbraniowej o przepływie $280\text{--}300\text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ($Q_{0,5\%} = 224\text{ m}^3\text{s}^{-1}$) (Machajski i inni, 2003), należy wciąż pod uwagę efekt bezpośredniego rozmycia nasypu i w ten sposób naruszenia konstrukcji mostu.

Odcinek 4D obejmuje wieś Piszkowice, gdzie zlokalizowano jaz stały i zaporę kamienną (wysokość 2,5 m) przejmującą cały przepływ Ścinawki na potrzeby małej elektrowni wodnej. Koryto skręca pod kątem 90° bezpośrednio przed jazem, co może generować zarówno erozję brzegów, jak i akumulację kamieńca w obrębie istniejącej zabudowy. Światło w przekroju mostu (N-4) pozwala na przepływ o natężeniu zaledwie $100\text{--}120\text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (przy $Q_{1\%} = 233\text{ m}^3\text{s}^{-1}$).

Dyskusja

Prognozowanie skutków geomorfologicznych w przypadku katastrofalnej powodzi jest, jak mogłoby się wydawać, praktycznie niemożliwe, biorąc chociażby pod uwagę mnogość sytuacji losowych podczas takiego zdarzenia. Inaczej wygląda sytuacja w przypadku modelowania hydrologicznego (Machajski i inni, 2003; Szydlowski, 2007), jednak takie podejście nie bierze pod uwagę faktu, że największe zniszczenia infrastruktury hydrotechnicznej oraz zabudowy gospodarczej równiny zalewowej powodowane są przez erozję boczną (Żurawek, 1999). Zniszczenia udokumentowane po przejściu fali powodziowej, a dotyczące form erozyjnych i akumulacyjnych, nie mają swoich późniejszych implikacji w prognozie ryzyka powodziowego. Dopiero dyrektywa powodziowa Parlamentu Europejskiego z 2007 r. sugeruje konieczność zawarcia tego typu informacji w treści map zagrożenia i ryzyka powodziowego (Konieczny i Walczykiewicz, 2006; *Dyrektywa...*, 2007; Pytkowska, 2007; Drożdżal i inni, 2009). W dokumencie tym zdefiniowano pojęcie „powódź” jako czasowe pokrycie wodą terenu, który normalnie nie jest pokryty wodą. Z tym zbyt ogólnym podejściem definicyjnym polemizowali już K. Smith i R. Ward (1998) argumentując, że nie określa ono ani skali zjawiska, ani pełnego spektrum wydarzeń pojawiających się podczas powodzi. Jednocześnie w dyrektywie wprowadzono określenie „ryzyko powodziowe”, czyli kombinację prawdopodobieństwa wystąpienia powodzi i związanych z powodzią potencjalnych negatywnych konsekwencji dla zdrowia ludzkiego, środowiska, dziedzictwa kulturowego oraz działalności gospodarczej (*Dyrektywa...*, 2007; Pytkowska, 2007). W kontekście mapy ryzyka w naukach przyrodniczych powszechnie używane jest pojęcie „zagrożenia”. Ryzyko identyfikowane jest natomiast zgodnie z następującym wyrażeniem (Konieczny i Walczykiewicz, 2006):

Ryzyko (R) = Zagrożenie (Z) · Podatność na straty (P)

Zatem zagrożenie (ang. *hazard*) – to pojawienie się wezbrania z danym prawdopodobieństwem, ryzyko zaś (ang. *risk*) – to potencjalne szkody związane z podanym zdarzeniem, wyrażone w jednostkach monetarnych (Büchle i inni, 2006). W tym rozumieniu możemy mieć do czynienia z obszarem bardzo zagrożonym przez procesy erozji i akumulacji, ale o małym ryzyku poniesienia strat materialnych ze względu na niski stopień zainwestowania na obszarze równiny zalewowej. Skłania to jednocześnie do podjęcia prac związanych z inwentaryzacją majątku trwałego zlokalizowanego w obrębie równiny zalewowej, aby możliwa była pełna i wartościowa ocena ryzyka powodziowego. Podejście to wymaga również rozpoznania procesów, w tym geomorfologicznych, które jak uczy doświadczenie lat ubiegłych mogą generować znaczne straty materialne, a nawet ofiary w ludziach (Alcántara-Ayala, 2002).

Podstawowe pytanie jest następujące: czy bogaty materiał pochodzący z obserwacji terenowych może być wskaźnikiem przyszłych zmian morfologii równiny zalewowej, wchodząc jednocześnie w zakres treści przedstawianej na mapach zagrożenia i ryzyka powodziowego? Okazuje się, że obserwacje zmian morfologicznych w dnach dolin rzecznych oraz powierzchniach stokowych miały ograniczony wpływ na treść map ryzyka powodziowego (por. van Aphen i Passchier, 2007, dla Polski s. 114–115), choć szacunki przepływów oparte na kryteriach geomorfologicznych są o jeden rząd wartości wyższe niż te obliczone metodami paleohydrologicznymi i przy użyciu formuły Manninga, co udowodnili m.in. C. Fernández-Lavado i inni (2007). Ich przyszłe wykorzystanie również nie jest obligatoryjne, jednak przedstawione dane mogłyby posłużyć jako interpretacja przepisów zawartych w Dyrektywie Powodziowej (*Dyrektywa...*, 2007; Pytkowska, 2007) oraz Prawie Wodnym, a dotyczących uwzględnienia cech geomorfologicznych zlewni, wskazania obszarów, gdzie może wystąpić erozja brzegowa, odkładanie się rumowiska (Konieczny i Walczykiewicz, 2006; Pytkowska, 2007), terenów zagrożonych osuwiskami skarp lub zboczy, depresyjnych i bezodpływowych (*Prawo Wodne...*, 2001). Część uwzględniająca cechy geomorfologiczne powinna zawierać informacje o cechach morfologicznych zarówno doliny (odcinki przełomowe i basenowe), równiny zalewowej, jak i zboczy. Występujące w obrębie dna formy paleokoryt czy starorzeczy mogą mieć duży wpływ na ukierunkowanie się przepływów powodziowych. Kolejną istotną informacją, która może determinować ostateczną treść mapy zagrożeń geomorfologicznych jest teza wysunięta przez T. Zielińskiego (2001), że Nysa Kłodzka jest rzeką typu przejściowego (między meandrującą a roztokową). Jak ważne ma to implikacje w ocenie ryzyka powodziowego można się było przekonać na przykładzie zniszczonej i nieistniejącej już wsi Pilce na przedpolu Sudetów, gdzie w 1997 r. rozwinęły się trzy wielkie koryta powodziowe Nysy Kłodzkiej o łącznej długości 4,5 km (Migoń i inni, 2002). Sytuacja ta może być przykładem

zagadnień związanych z metamorfozą rzek i równin aluwialnych pod wpływem zmian klimatycznych i antropogenicznych (Teisseyre, 1985). Ewolucja równin aluwialnych, czyli ich powstawanie i zanik, związana jest ze zmianą systemu rzecznoego (Teisseyre, 1985), co z kolei wpływa na kształtowanie się wezbrania (propagację fali wezbraniowej) oraz warunków erozji i akumulacji.

Wnioski

Mapa zagrożeń geomorfologicznych jest cennym uzupełnieniem map zagrożenia powodziowego, a jej wykonanie jest szczególnie zasadne dla rzek górskich. Konstrukcja jej powinna się opierać na skompilowaniu różnych warstw z informacjami typu: topografia dna doliny, stan zagospodarowania równiny aluwialnej oraz koryta rzeki, prognoza zmian rzeźby towarzyszącej fluwialnym zdarzeniom ekstremalnym oraz wskazanie obiektów bezpośrednio narażonych na zniszczenie.

Ponadto przedstawiony przegląd literatury oraz dotychczasowych badań dokumentujących zniszczenia powodziowe, choć niepełny, pozwala na wysunięcie następujących uogólnień dotyczących konstrukcji mapy zagrożenia i ryzyka powodziowego:

- obecne zmiany częstości oraz magnitudy powodzi są funkcją procesów naturalnych i nakładającej się na nią antropopresji z różnorodnymi tego konsekwencjami;
- działania prowadzące do uściślenia zawartości map zagrożenia i ryzyka powodziowego powinny być interdyscyplinarne, zmierzając do przedstawienia pełnego spektrum zjawisk związanych z wezbraniem o skutkach katastrofalnych dla ludzi;
- zagrożenia geomorfologiczne związane z erozją i akumulacją pozakorytową powinny być integralną częścią każdej mapy zagrożenia powodziowego, a przez to wpływać na treść mapy ryzyka powodziowego;
- obszary górskie, jako szczególnie narażone, powinny być analizowane pod kątem zagrożeń geomorfologicznych na mapach o jak największej skali (1:5 000 lub większej);
- zaprezentowana graficzna interpretacja procesów erozji i akumulacji pozakorytovej wskazuje, że możliwe jest wypracowanie metody analizy procesów geomorfologicznych związanych z ekstremalnymi wezbraniem,

*

Autor serdecznie dziękuje Profesorowi Piotrowi Migoniowi za wiele cennych uwag dotyczących pierwotnej wersji artykułu, dr. Janowi Klementowskiemu za udostępnienie materiałów źródłowych, mgr Danucie Bąk oraz anonimowym recenzentom za uwagi i sugestie, które wzbogaciły ostateczną wersję tekstu.

Piśmiennictwo

- Alcántara-Ayala I., 2002, *Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries*, *Geomorphology*, 47, 2–4, s. 107–124.
- Arnaud-Fassetta G., Cossart E., Fort M., 2005, *Hydro-geomorphic hazards and impact of man-made structures during the catastrophic flood of June 2000 in the Upper Guil catchment (Queyras, Southern French Alps)*, *Geomorphology*, 66, 1–4, s. 41–67.
- Atlas Śląska Dolnego i Opolskiego*, 1997, red. W. Pawlak, Uniwersytet Wrocławski, PAN, Wrocław.
- Broś J., Broś K., Putowski M., Wróblewski T., 2004, *Koncepcja zwiększenia stopnia zabezpieczenia przed powodzią dolin rzecznych, Dolina Ścinawki*, Wrocławska Agencja Rozwoju Regionalnego, Wrocław.
- Budych L., Majewicz R., 1999, *Strategia ochrony przeciwpowodziowej Doliny Bobru w ujęciu historycznym*, *Rocznik Jeleniogórski*, 31, s. 45–54.
- Büchle B., Kreibich H., Kron A., Thieken A., Ihringer J., Oberle P., Merz B., Nestmann F., 2006, *Flood-risk mapping: contributions towards an enhanced assessment of extreme events and associated risks*, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6, 4, s. 485–503.
- Czerwiński J., 1991, *Powódzie w rejonie Karkonoszy od XV w. do czasów współczesnych*, *Acta Universitatis Wratislaviensis*, 1237, Prace Instytutu Geograficznego, Seria A, T. VI, s. 85–104.
- Czerwiński J., Żurawek R., 1999, *The geomorphological effects of heavy rainfalls and flooding in the Polish Sudetes in July 1997*, *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 33, s. 27–43.
- de Moel H., van Alphen J., Aerts J., 2009, *Flood maps in Europe – methods, availability and use*, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9, 2, s. 289–301.
- Dorzecze Odry. Monografia powodzi – lipiec 1997*, 1999, red. A. Dubicki, H. Słota, J. Zieliński, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa.
- Drożdżał E., Grabowski M., Kondziołka K., Olbracht J., Piórecki M., Radoń R., Ryłko A., 2009, *Mapy ryzyka powodziowego – projekt pilotażowy w zlewni Sinicy*, *Gospodarka Wodna*, 1, s. 19–29.
- Dyrektywa 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim*, Parlament Europejski, Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej, L 288/27, Strasburg, s. 8.
- Ewertowski R., Pluta M., 2008, *Analiza wpływu projektowanych zbiorników retencyjnych na Ścinawce na transformację fali powodziowej*, *Gospodarka Wodna*, 3, s. 105–109.
- Fernández-Lavado C., Furdada G., Markués M.A., 2007, *Geomorphological method in the elaboration of flood hazard maps for flash-floods in the municipality of Jucuarán (El Salvador)*, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 7, 4, s. 455–465.
- Field J., 2001, *Channel avulsion on alluvial fans in southern Arizona*, *Geomorphology*, 37, 1–2, s. 93–104.
- Gutry-Korycka M., Magnuszewski A., Suchożebrski J., Jaworski W., Marcinkowski M., Szydłowski M., 2006, *Numerical estimation of floods zones in the Vistula River valley, Warsaw, Poland*, [w:] *Climate Variability and Change-Hydrological Impacts. Proceedings of the Fifth FRIEND World Conference held at Havana, Cuba, November 2006*, IASH Publications, 308, Wallingford, s. 191–195.

- Hrádek M., 1999, *Geomorphological aspects of the flood on July 1997 in the Morava and Oder basins in Moravia, Czech Republic*, *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 33, s. 45–66.
- IPCC 2007, *Zmiana klimatu 2007: Raport Syntetyczny*, Wkład Grup roboczych I, II i III do Czwartego Raportu Oceniającego Międzyrządowego Zespołu ds. Zmian Klimatu, 2009, red. R.K. Pachauri, A.Reisinger, Wydawnictwo Instytutu Ochrony Środowiska, Warszawa; <http://www.ipcc.ch> (2009 r.).
- Izmailów B., Kamykowska M., Krzemień K., 2004, *Geomorfologiczna rola katastrofalnych wezbrań w transformacji górskiego systemu korytowego na przykładzie Wiszni (Beskid Niski)*, [w:] B. Izmailów (red.), *Przyroda–Człowiek–Bóg*, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ, Kraków, s. 69–81.
- Jahn A., Łańcucka-Środoniowa M., Sadowska A., 1984, *Stanowisko utworów pliocenских w Kotlinie Kłodzkiej*, *Geologia Sudetica*, 18, 2, s. 7–43.
- Kasprzak M., 2008, *Strefy erozji i akumulacji podczas fluwialnych zdarzeń ekstremalnych w Sudetach, przykład Wilczej Poręby w Karpaczu*, *Landform Analysis*, 8, s. 36–40.
- Kaszowski L., Kotarba A., 1970, *Wpływ katastrofalnych wezbrań na przebieg procesów fluwialnych*, *Prace Geograficzne, IG PAN*, 80, s. 5–87.
- Klimaszewski M., 1935, *Morfologiczne skutki powodzi w Małopolsce Zachodniej w lipcu 1934*, *Czasopismo Geograficzne*, 13, 2, s. 283–291.
- Konieczny R., Walczykiewicz T., 2006, *Projekt dyrektywy Unii Europejskiej w zakresie redukcji zagrożenia powodziowego*, [w:] M. Maciejewski i M. Ostojski (red.), *Zagrożenia środowiska naturalnymi zjawiskami ekstremalnymi*, IMGW, Warszawa, s.170–177.
- Kotarba A., 1998, *Morfogenetyczna rola opadów deszczowych w modelowaniu rzeźby Tatr podczas letniej powodzi w roku 1997*, *Z badań fizjograficznych w Tatrach – III*, *Dokumentacja Geograficzna*, 12, s. 9–23.
- Krąpiec M., Badura J., Przybylski B., 2004, *Zapis holocenских wezbrań w osadach przedgórskiego odcinka doliny Nysy Kłodzkiej w świetle analiz sedymentologicznych i dendrochronologicznych*, *Prace Komisji Paleogeografii Czwartorzędu PAU*, 2, s. 83–92.
- Krzyszkowski D., Przybylski B., Badura J., 1998, *Late Cainozoic evolution of the Nysa Kłodzka river system between Kłodzko and Kamieniec Żąbkowicki, Sudetes Mts., southwestern Poland*, *Geologia Sudetica*, 31, 2, s. 133–155.
- Latocha A., Parzóch K., 2010, *Efekty geomorfologiczne powodzi w dolinie Białej Łądeckiej w czerwcu 2009 r.*, *Przyroda Sudetów*, 13, (w druku).
- Łach J., 2003, *Zmiany w morfologii den dolinnych Nysy Kłodzkiej i Białej Łądeckiej powstałe w wyniku powodzi w lipcu 1997 r.*, Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego, Uniwersytet Wrocławski, Wrocław, maszynopis.
- Machajski J., Tiukała A., Chrańchol B., Kozdra A., 2003, *Ocena aktualnego stanu zabudowy i zagrożenia powodziowego dolin rzecznych w Kotlinie Kłodzkiej. Część IV A.5., Rzeka Ścinawka*, Wrocławska Agencja Rozwoju Regionalnego, Wrocław.
- Migoń P., Hrádek M., Parzóch K., 2002, *Extreme geomorphic events in the Sudetes Mountains. Their long-term impact and possible controlling factors*, *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 36, s. 29–49.
- Mikulski Z., 1997, *Powódź jako odwieczna klęska żywiołowa*, *Gospodarka Wodna*, 11, s. 364–370.
- Neuhold C., Stenzel P., Nachtnebel H.P., 2009, *Incorporating river morphological changes to flood risk assessment: uncertainties, methodology and application*, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9, 3, s. 789–799.

- Prawo Wodne*, 2001, Ochrona przed powodzią i suszą. Ustawa z dnia 18 lipca 2001. Kancelaria Sejmu RP, <http://www.prawowodne.pl/>
- Punzet J., 1998–1999, *Występowanie katastrofalnych wezbrań w karpackiej części dorzecza Wisły*, Folia Geographica, Series Geographica-Physica, 29–30, s. 81–111.
- Pytkowska M., 2007, *Dyrektywa 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z 23 października 2007 r. ws. Oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim*, Gospodarka Wodna, 3, Woda, 13, s. I–IV.
- Rotnicki K., Starkel L., 1999, *Ewolucja den dolin*, [w:] L. Starkel (red.), *Geografia Polski. Środowisko przyrodnicze*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, s. 151–159.
- Smith K., Ward R., 1998, *Floods – Physical Processes and Human Impacts*, John Wiley and Sons, Chichester.
- Staffler H., Pollinger R., Zischg A., Mani P., 2008, *Spatial variability and potential impacts of climate change on flood and debris flow hazard zone mapping and implications for risk management*, Natural Hazards and Earth System Sciences, 8, 3, s. 539–558.
- Starkel L., 1986, *Rola zjawisk ekstremalnych i procesów sekularnych w ewolucji rzeźby*, Czasopismo Geograficzne, 57, 2, s. 203–213.
- , 2008, *Procesy stokowe i fluwialne przekształcające rzeźbę – czy model z lat 70. jest nadal aktualny?*, Landform Analysis, 9, s. 16–20.
- Straty powstałe w wyniku powodzi w dniach 7–8.07.1997 r. w Gminie Radków*, 1997, Raport zbiorczy Urzędu Miasta i Gminy, Radków.
- Szydłowski M., 2007, *Modelowanie fal powodziowych na terenach zabudowanych*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk.
- Teisseyre A. K., 1977, *Współczesne procesy rzeczne w dorzeczu górnego Bobru i Strzegomki (Sudety Środkowe)*, Geologia Sudetica, 12, 2, s. 93–109.
- , 1979, *Przebieg zjawisk erozji i sedymentacji w środowisku małych rzek górskich*, [w:] A. Jahn, S. Kowaliński (red.), *Powódź w 1977 roku i jej skutki na Dolnym Śląsku. Sesja Naukowa 3 marca 1978 r.*, PAN, Komisja Nauk o Ziemi, Wrocław, s. 59–68.
- , 1985, *Mady dolin sudeckich. Część I: Ogólna charakterystyka środowiskowa (na przykładzie zlewni górnego Bobru)*, Geologia Sudetica, 20, 1, s. 113–195.
- , 1988, *Mady dolin sudeckich. Część II: Wybrane zagadnienia metodologiczne*, Geologia Sudetica, 23, 1, s. 65–94.
- Tricart J., 1960, *Metoda badania teras*, [w:] A. Dylikowa, J. Dylik (red.), *Zagadnienia geomorfologiczne*, PWN, Warszawa, s. 89–121.
- van Alphen J., Passchier R., 2007, *Atlas of Flood Maps, examples from 19 European Countries, USA and Japan*, Europejska Komisja Środowiska, http://ec.europa.eu/environment/water/flood_risk/flood_atlas/index.htm (listopad 2007 r.)
- Wojciechowska I., 1966, *Budowa geologiczna metamorfiku dorzecza Ścinawki Kłodzkiej*, Geologia Sudetica, 2, s. 261–293.
- Wojewoda J., 2007, *Anomalie kształtu górnego odcinka doliny Ścinawki, Sudety*, Czasopismo Geograficzne, 78, 1–2, s. 83–104.
- Wyźga B., 1993, *Funkcjonowanie systemu rzecznej środkowej i dolnej Raby w ostatnich 200 latach*, Dokumentacja Geograficzna, 6.
- Zieliński T., 2000, *Sedymentologiczne skutki powodzi 1997 i 1998 roku w dorzeczu górnej Nysy Kłodzkiej*, [w:] S. Ostaficzuk (red.), *Dynamiczna ocena i prognoza geologicznych zagrożeń wywołanych powodzią na przykładzie Nysy Kłodzkiej, górnej Soły i górnego Sanu-Solinki*, Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią, PAN, Kraków, s. 105–136.

- , 2001, *Erozyjne efekty katastrofalnych wezbrań w dorzeczu górnej Nysy Kłodzkiej podczas powodzi 1997 i 1998 r.*, Przegląd Geologiczny, 49, s. 1096–1100.
- , 2003, *Catastrophic flood effects in alpine/foothill fluvial system (a case study from the Sudetes Mts, SW Poland)*, Geomorphology, 54, 3–4, s. 293–306.
- Zierhoffer A., 1935, *Kilka przykładów działania wód powodziowych w dorzeczu Stryja i Oporu*, Czasopismo Geograficzne, 13, s. 292–297.
- Ziętara T., 1968, *Powodziowe procesy erozji, transportu i sedymentacji w Beskidach Zachodnich*, Rocznik Naukowo-Dydaktyczny WSP w Krakowie, Prace Geograficzne, IV, 30.
- Żurawek R., 1999, *Zmiany erozyjne w dolinach rzek Sudetów Kłodzkich wywołane powodzią w lipcu 1997 r. oraz w lipcu 1998 r.*, Problemy Zagospodarowania Ziemi Górskich, 45, s. 43–61.

[Wpłynęło: styczeń; poprawiono: maj 2010 r.]

ŁUKASZ PAWLIK

MAP OF GEOMORPHOLOGICAL THREATS ARISING OUT OF FLOODS
ALONG A MOUNTAIN RIVER
(AS EXEMPLIFIED BY THE LOWER ŚCINAWKA, MIDDLE SUDETY MTS., POLAND)

Catastrophic flooding is regarded as one of the most dangerous natural hazards in mountainous environments modified by human activity - as was made clear by the floods of 1997 and 1998 in Poland's Kłodzko Valley below the Sudety Mts. It is for this reason that areas along streams and intramontane rivers require continuous monitoring and multi-date mapping, with a view to the hazard posed by floods, especially flash floods, being evaluated properly. Field data, along with demarcations of flood zones, are the main information included on the flood-hazard maps constructed by the hydrological services.

Thus an important factor mostly absent from flood-risk analysis relates to geomorphological hazards, whose inclusion on the flood-risk maps for alluvial plains would doubtless add value to the content, and be in compliance with the Flood Directive of the European Parliament and the Council (2007/60/EC), which provides for each Member State's development of flood risk management plans. A map of geomorphological hazards has been proposed in line with anticipated effects of catastrophic flooding, i.e. bank erosion, aggradation, flood cuts, gravel sheets, levees etc., and their spatial distribution across a given alluvial plain.

Relevant analysis was carried out using the example of the lower part of the Ścinawka Valley between Tłumaczów village and the confluence with the Nysa Kłodzka, this whole area lying directly below the Middle Sudety Mts. As historical data make clear, the Ścinawka is indeed prone to catastrophic flooding.

For the purposes of detailed study, smaller areas were identified at four different locations with different characteristics, i.e. within a river narrow, where a tributary meets a main river, in an area densely built-up and where the river channel is obstructed by a weir. Such places were considered at major risk of damage being done to private and industrial property and/or hydrotechnical installations. In such areas, any flooding

involving water levels higher than the bankfull stage would inflict serious damage upon infrastructure and buildings on the valley floor, thereby generating substantial financial losses for local communities and the administration. With a view to potential geomorphological changes during an extreme flood being assessed, analyses took in:

- places of intensive erosion,
- the morphological effects of erosion on hydrotechnical constructions,
- places of overbank accumulation,
- the influence of vegetation on erosion and overbank accumulation processes.

The previous observations from many researchers were analysed, and it was determined that their field documentation of past extreme floods might serve as the application data upon which to base a geomorphological hazard map itself later becoming an integral part of a flood hazard map (thereby influencing the content of a flood-risk map).

The maps presented in Figs. 4A, B, C and D depict spatial prognoses for areas in which intense erosion and/or overbank accumulation can cause the worst damage. The magnitude of such an event has been assessed as greater than one for a flood with a 100-year recurrence interval (R.I. flood). Moreover, the flood zone was widened to include the morphological borders of the valley floor, in view of assessments of future climate change that may cause even more destructive remodelling of the analysed area along the river.

A map preparation procedure should thus make reference to what are potentially the most damaging geomorphological hazards (these representing an integral part of each flood-hazard map), as well as to potential changes in flood magnitude and frequency due to natural or anthropogenic factors (e.g. climate change). Beyond that, the work on each stage of map projection should be interdisciplinary, and thus lead to better specification of the contexts underpinning flood hazard and risk maps. Geomorphological hazards in mountainous areas should be presented on large-scale maps (1:5000 or larger). Finally, the given proposal for the cartographic visualization of erosion and overbank deposition areas might be viewed as the proper means of analysis where geomorphological processes are linked to extreme floods.

