

*Anna Lenar-Matyas, Michel Lafon, Marta Łapuszek, Christine Poulard*

**MOŻLIWOŚCI ŁAGODZENIA SKUTKÓW REGULACJI  
TECHNICZNEJ RZEK I POTOKÓW GÓRSKICH  
NA TERENACH ZURBANIZOWANYCH**

---

***ALLEVIATING EFFECTS OF THE TECHNICAL TRAINING  
OF MOUNTAINOUS RIVERS AND STREAMS  
IN THE URBAN AREAS***

**Streszczenie**

W celu zapobiegania skutkom powodzi oraz suszy konieczne jest podjęcie skutecznych działań na obszarze zlewni oraz w cieku, mających na celu spowolnienie odpływu wody opadowej w niżej położone tereny. Jednym z wielu narzędzi służących osiągnięciu tego celu jest regulacja rzek i potoków. Prace regulacyjne w ciekach były i są nadal prowadzone. Jednak nie zawsze sposób podejścia do regulacji był zgodny z zachowaniem podstawowych zasad dotyczących utrzymania równowagi ekologicznej koryta. W pracy autorzy prezentują możliwości wprowadzenia pewnych działań w korytach cieków uregulowanych, mających na celu poprawienie warunków do funkcjonowania fauny i flory.

**Słowa kluczowe:** rzeka górską, regulacja rzek, renaturyzacja, ochrona brzegów, projektowanie koryt, łagodzenie skutków powodzi

***Summary***

*In order to protect the areas against the floods and droughts effect, we need to slow down the outflow in the scale of the whole catchment. The streams and rivers training are one of many possibilities of floods and droughts mitigation. However, these activities often were done without any respect on the basic principle on keeping the ecological continuity of river corridor. In the paper, we propose improving the activities in the rivers and streams channels, in order to alleviate effects of the technical training.*

**Key words :** *mountainous river, river training, river restoration, bank protection, channel design, flood mitigation*

## WSTĘP

Najważniejsze zadanie regulacji rzeki, czy potoku, to dostosowanie koryta cieków do wymagań gospodarczych i ekonomicznych na danym terenie. Dlatego też najwięcej zmian i ingerencji w ciekach można zauważyć na terenach zurbanizowanych, rozwijających się od wielu lat. Właśnie tam ze względu na zagrożenie powodziowe, a także ograniczoną ilość miejsca stosuje się ciężką zabudowę, koryta przekształcane przyjmują jednolity kształt na długości, są wyprostowane i zeschematyzowane. Najczęściej przy tych zabiegach pominięte były wszelkie aspekty związane z troską o utrzymanie dobrych warunków do życia biologicznego cieków. Liczył się jedynie efekt osiągnięcia jak najszybszego spływu wielkich wód w czasie. Działania te wywołały wiele negatywnych skutków w korytarzach rzek i potoków. W artykule przedstawiono możliwości wprowadzenia pewnych działań w korytach cieków uregulowanych, mających na celu poprawienie warunków do funkcjonowania fauny i flory.

### **REGULACJA TECHNICZNA RZEK I POTOKÓW NA OBSZARACH GÓRSKICH I JEJ NEGATYWNE SKUTKI**

W początkach ubiegłego stulecia, jak również w późniejszym okresie, celem regulacji było koncentrowanie przepływu w jednym korycie, przy jednoczesnym całkowitym odcięciu meandrów oraz skróceniu koryta poprzez jego wyprostowywanie w planie. Poprzez takie zabiegi próbowano ochronić tereny przyległe przed powodzią. Jednak działania te doprowadziły do całkowitej degradacji często bardzo bogatych, charakterystycznych dla danego regionu, ekosystemów. Cel regulacji też nie został osiągnięty w pełnym stopniu, ponieważ poprzez koncentrację przepływu w nowym, zawężonym korycie, przy zwiększonym spadku dna na długości, nastąpiło przyspieszenie odpływu, stwarzając szczególnie duże zagrożenie dla obszarów zlokalizowanych poniżej wyregulowanego odcinka cieków.

Ponadto przyspieszone w czasie spływu wielkich wód zwiększyły przebieg erozji dna tych cieków. Analizy zmienności przebiegu położenia dna koryt górskich dopływów górnej Wisły z okresu ostatniego 100-lecia wykazały, że w wyniku tak prowadzonych prac regulacyjnych w korytach cieków wystąpiły silne procesy erozyjne, dna koryt uległy w tym okresie obniżeniu o ponad 3,0 metra [Łapuszek, Ratomski 2006].

W czasach postępującej, silnej urbanizacji terenu, coraz trudniejsze staje się utrzymanie cieków w dobrym stanie ekologicznym. Tereny zurbanizowane wymagają ochrony przed wodą wezbraniową dlatego cieki w tych obszarach bardzo często są ubezpieczone zarówno w dnie, jak też w zakresie przepływu wielkich wód. Są to więc koryta, w których praktycznie życie biologiczne nie istnieje.

Obecnie stawiane są nowe wymagania dotyczące regulacji rzek, gdzie nadrzędnym celem nadal jest umożliwienie bezpiecznego dla otoczenia przeprowadzenia wód wezbraniowych. Jednak pozostałe cele regulacji rzek, równie istotne z punktu widzenia Ramowej Dyrektywy Wodnej, można zdefiniować następująco:

- Utworzenie w jak najszerszej strefie nowego korytarza sprzyjającego rozwojowi pożądanym ekosystemów wodnych i przywodnych.
- Uzyskanie wymaganych warunków korzystania z wody.
- Umożliwienie swobodnego spływu wód tam gdzie to jest potrzebne z zachowaniem bezpieczeństwa i warunków przyjaznych dla środowiska.
- Stworzenie wymaganych warunków do życia i rozwoju ryb i ich wędrówki.
- Stworzenie warunków przyjaznych do rekreacji i sportów wodnych.
- Zagospodarowanie starorzeczy (np. kanały ulgi na czas powodzi).

Osiągnięcie celów dotyczących poprawy warunków ekologicznych w ciekach o całkowicie zmienionym przekroju poprzecznym wymaga przeobrażenia. Jest to możliwe, ale zwykle związane z koniecznością zaakceptowania poniesienia znacznie wyższych kosztów realizacji tak przygotowanego projektu.

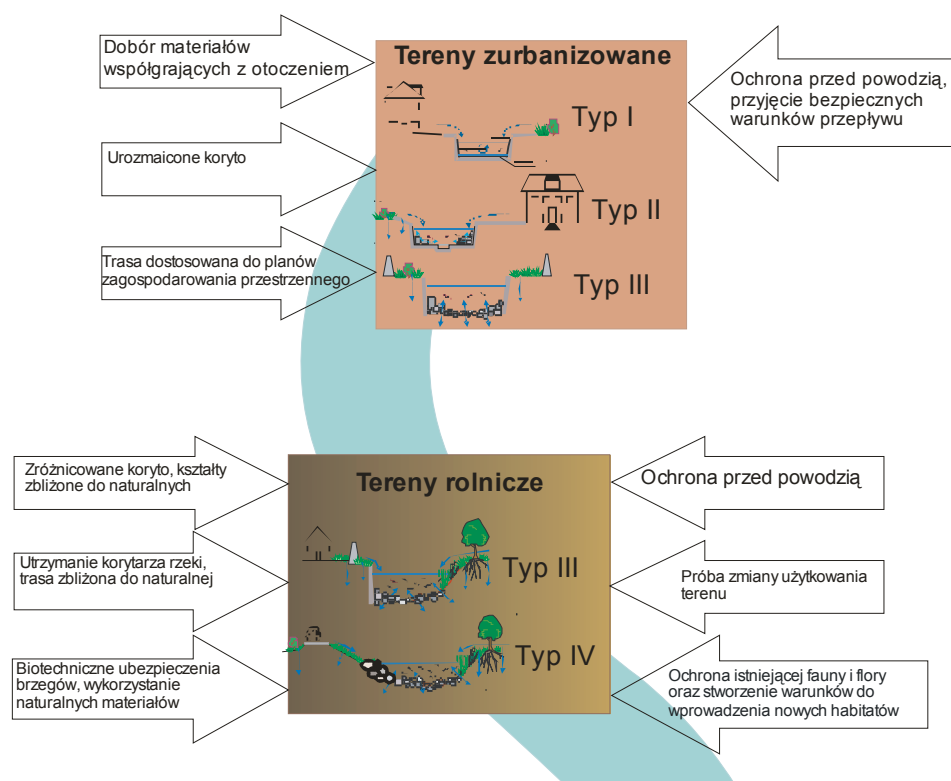
Autorzy proponują wprowadzenie klasyfikacji silnie zmienionych koryt w wyniku istniejącej zabudowy lub regulacji, w zależności od stopnia uszczelnienia koryta i brzegów cieku [Poulard et al 2009], sposobu zagospodarowania terenu przyległego do cieku, jak również w zależności od warunków potrzebnych do rozwoju fauny i flory. Na schemacie poniżej zaproponowano również najważniejsze zadania w regulacji cieku, zależne od terenu, przez który przepływa ciek.

### **KORYTA POTOKÓW GÓRSKICH W ZABUDOWIE ŻŁOBEM I MOŻLIWOŚCI ICH ZMIAN**

W warunkach silnego ograniczenia urbanistycznego, uregulowane koryto cieku najczęściej charakteryzuje się najprostszą geometrią, a także całkowicie nieprzepuszczalnym dnem i brzegami (**Typ 1** – wg klasyfikacji Lafont) (rys. 1). Koryto takie zaprojektowane jest jedynie ze względu na bezpieczne przeprowadzenie przepływów wielkich wód, na ekologię brakuje już niestety miejsca.

Funkcja korytarza cieku, praktycznie też została utracona, gdyż teren przylegający do cieku jest silnie uszczelniony, retencja dolinowa jest minimalna. Koryta tego typu, nazywane żłobami, stosuje się na potokach górskich o dużym spadku, przepływające przez tereny gęsto zabudowane. Podstawowy cel takiej zabudowy to ochrona przed powodzią. W korytach typu 1 mogą żyć składniki tzw. biofilmu bentosowego. Są to bakterie, algi, grzyby, mchy oraz bezkręgowce pełzające po płaskich powierzchniach, rzadko ryby, ze względu na utrudnioną

ich migrację. Taki układ może mieć znaczną zdolność do samooczyszczania, chociaż obieg substancji pokarmowych i kolonizacja są w zasadzie ograniczone do płaskich powierzchni. Z elementów przyjaznych środowisku można tu wprowadzić jedynie roślinność maskującą (możliwość wegetacji opartej na fotosyntezie) i elementy urozmaicające przekrój poprzeczny np. głazy (rys. 1).

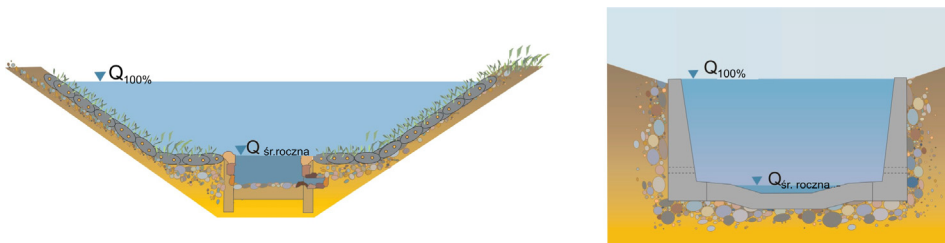


**Rysunek 1.** Typy koryt uregulowanych na terenach o zróżnicowanym stopniu zurbanizowania

**Figure 1.** The patterns of the channels regulated located in the different kind of urban area

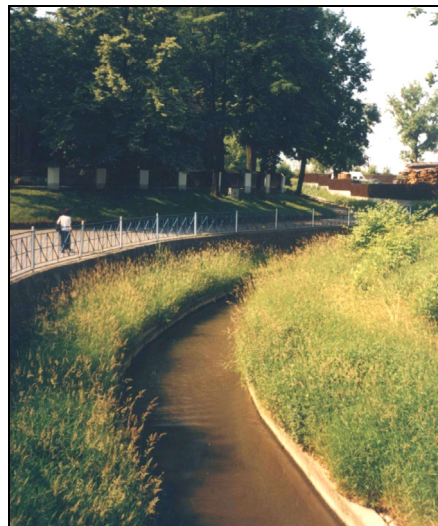
Poprzez rozwinięcie i urozmaicenie koryta typu I, powstaje **typ II**. Poprzez zastosowanie w betonowym korycie (typ I) kamieni oraz żwiru uzyskuje się poprawę warunków życia organizmów, ponieważ zwiększa się powierzchnia kontaktu pomiędzy wodą, w której znajduje się zawiesina pokarmowa a organi-

zmami (głównie bezkręgowce) [Allan 1998]. W przypadku, gdy konieczne jest wykonanie nowego żłobu, należałoby stosować ich konstrukcje z materiałów, które umożliwią migrację organizmów, zarówno na długości cieku, jak też w układzie poprzecznym koryta. Ponadto, w nowych konstrukcjach żłobów należy zadbać o wydzielenie koryta małej wody. Daje to możliwość skoncetrowania przepływu podczas występowania nízówek i zapewnia utrzymanie minimalnych napelnień. Konieczne jest jednak przeprowadzenie obliczeń przepustowości koryta dla wymaganych przeplywów powodziowych, poniewaz tak wyprofilowane koryto w jego układzie poprzecznym wiąże się ze zwiększeniem oporów ruchu.



**Rysunek 2.** Przekroje poprzeczne żłobu: a. żłób z elementów ażurowych, z wydzielonym korytem małej wody; b. typowy żłób

**Figure 2.** The culverts shapes: a. culvert made of openwork elements with the low flow channel, b. the typical culvert shape



**Rysunek 3.** Przykład zrewitalizowanego odcinka żłobu na potoku Wątok w Tarnowie

**Figure 3.** The example of revitalized culvert on the Wątok Stream in Tarnów

### **KORYTA RZEK GÓRSKICH OBUSTRONNIE UBEZPIECZONE**

Na obszarach zurbanizowanych, gdzie przepływa większy ciek, w celu ochrony przeciwpowodziowej terenów przybrzeżnych, często stosuje się tzw. zabudowę bulwarową. Jest ona trwała, ze szczelnie zabudowanymi brzegami (najczęściej obustronnie), a jej zaletą jest nieuszczelnione dno cieku, przez które utrzymany jest kontakt z wodami gruntowymi. Ten typ zabudowy, nazywany (za Lafont) **typem III**, jest rozwiązaniem kosztownym. Należy sądzić, że stosowany jest tylko w uzasadnionych przypadkach i trudno wymagać łagodzenia regulacji na terenie, gdzie priorytetem jest ochrona przed powodzią.

Kolejny typ przekroju, **typ IV** pojawia się w warunkach, gdzie nie jest konieczna betonowa obudowa brzegu, jest wystarczająco dużo przestrzeni dla rozwinięcia skarpy brzegu i zastosowania ubezpieczenia przepuszczalnego lub ażurowego. Zastosowanie takiego rozwiązania stwarza większe możliwości dla rozwoju organizmów (bezkęrgowce, ryby) [Lenar-Matyas, Wolak 2009]. Lafon dodatkowo dla koryt tego typu wprowadził trzy podtypy:

**IV-A** – koryto całkowicie naturalne, brzegi nieubezpieczone,

**IV-B** – brzegi koryta częściowo ubezpieczone za pomocą materiałów naturalnych, zastosowane ubezpieczenie nie jest szczelne i umożliwia kontakt z wodami gruntowymi,

**IV-C** – brzegi koryta częściowo ubezpieczone elementami biotechnicznymi.

### **SYSTEMY REGULACJI NA TERENACH ZURBANIZOWANYCH, PROPOZYCJE ROZWIĄZAŃ PROEKOLOGICZNYCH**

Z racji istniejącej zabudowy lub planów zabudowy sięgającej niejednokrotnie linii brzegowej cieku (Rys. 4a, b) możliwość wyboru systemu regulacji na terenach zurbanizowanych jest mocno ograniczona i sprowadza się do przyjęcia zabudowy bulwarowej lub zabudowy żłobem. Są to budowle ciężkie i ważne jest, aby dołożyć wszelkich starań dla ograniczenia ich niekorzystnej ingerencji w koryto cieku.

Dla dużych cieków, w przypadku których konieczne jest zapewnienie odpowiedniej przepustowości przekroju regulacyjnego, możliwe jest tylko zastosowanie zabudowy bulwarowej. Istota systemu polega na obustronnej obudowie koryta murami oporowymi o odpowiedniej wysokości, co zabezpiecza całkowicie przed wystąpieniem wód z koryta i erodowaniem jego brzegów. Bulwary wyznaczają jedynie trasę wielkiej wody. Nie można zaproponować lżejszej konstrukcji murów bulwarowych, wykonuje się je jako elementy betonowe lub żelbetowe. Można podnieść ich estetykę za pomocą okładziny dobranej do okolicznej zabudowy lub za pomocą roślinności posadzonej po zewnętrznej stronie muru i zwisających pnączy. Inna propozycja to koncentracja przepływów niskich w korycie małej wody, które można wydzielić pomiędzy bulwarami.



**Rysunek 4.** a. potok na terenie zabudowanym, b. rzeka na terenie zabudowanym, c. rzeka w terenach podmiejskich, d. potok w terenach podmiejskich

**Figure 4.** a. The stream located in the urban area, b. The river located in the urban area, c. The river located in the sub-urban area, d. The stream located in the sub-urban area

Na ciekach o mniejszych przepływach, dużych spadkach dna i dużych prędkościach przepływu stosowana jest zabudowa systemem żłobu. Polega ona na obudowie całego przekroju poprzecznego (dno i skarpy) materiałem odpornym na działanie dużych prędkości.

W przypadku stosowania tego systemu, należy odchodzić od konstrukcji ciężkiej (mury oporowe i płyta denną), zastępując ją przekrojami trapezowymi o lekko zróżnicowanych nachyleniach skarp, wykonanych z ażurowych prefabrykatów (np. elementy Kosteckiego – rys. 5). Tworzą one elastyczne, dostosowujące się do podłoża, ubezpieczenie przyjazne dla środowiska. Szybki porost niskiej roślinności maskuje sztuczność ubezpieczenia i umożliwia życie owadom, a nawet małym ssakom.

Urozmaicenie żłobu osiągnąć można wprowadzając zmiany w profilu podłużnym konstrukcji.

Na terenach zabudowanych można znaleźć również miejsca (parki, szerokie, zielone tereny zalewowe), gdzie istnieje możliwość wykonania pełniejszej regulacji naturalnej (rys. 5c, d). Na takim obszarze można pozwolić

sobie na zaprojektowanie nieprostoliniowego biegu ciek. Przy szerokim pasie terenu nie jest konieczne przyjmowanie stałej szerokości trasy regulacyjnej. Nagłe rozszerzenia tworzące zastoiska z roślinnością wodną czy zwężenia z bystrzem przechodzącym w przegłębienie mogą w znacznym stopniu zróżnicować warunki przepływu, urozmaicić linię brzegową i stworzyć odpowiednie warunki do rozwoju fauny i flory. Konieczna jest natomiast pełna stabilizacja koryta w miejscach takich, jak przejścia pod mostem, niewielkie odległości od wałów itp.



a.



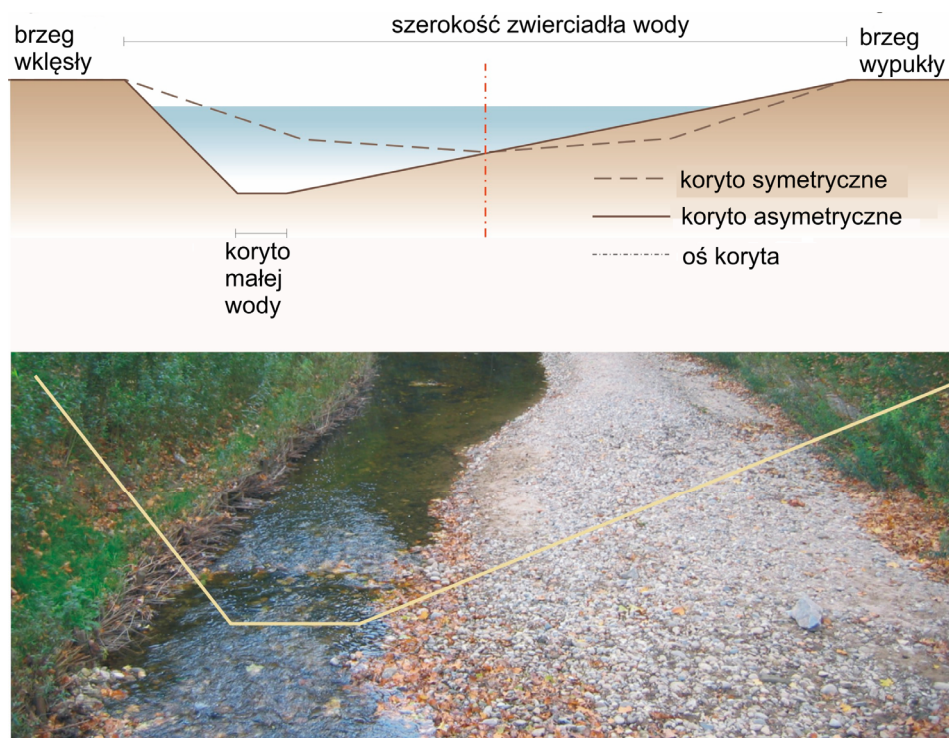
b.

**Rysunek 5.** a. Koryto ubezpieczone elementami Kosteckiego, b. Przykład zabudowy żłobem z elementów Kosteckiego na potoku Trzemeśnianka

**Figure 5.** a. The channel protected by the Kostecki elements, b. The example of culvert made of Kostecki elements on the Trzemeśnianka Stream.

W przekrojach poprzecznych również możliwa jest różnorodność. Kręty bieg ciek. wymusza przyjęcie zmiennych przekrojów poprzecznych. Na krótkich odcinkach prostych przekroje te mogą być symetryczne względem osi trasy, na łukach natomiast skarpy powinny mieć zmienne nachylenia, a naturalne przegłębienia powinny pojawiać się zgodnie z naturalnymi tendencjami występującymi w takim korycie. Przekroje powinny w jak największym stopniu przypominać przekroje naturalne. Przy większych ciekach możliwe jest przyjęcie koryta wielodzielnego z wydzielonym korytkiem małej wody, z niższymi terasami mieszczącymi przepływ miarodajny i terenami zalewowymi [Lenar-Matyas, Łapuszek 2003].





**Rysunek 6.** Schemat i przykład asymetrycznego koryta na łuku  
**Figure 6.** Scheme and example of asymmetrical cross-section

W samym korycie można dodatkowo wprowadzić elementy w postaci głazów czy niewielkich budowli regulacyjnych (deflektory). Zwiększają one szorstkość dna, a odpowiednio ustawione wymuszają bieg nurtu, napowietrzają strugę i przyczyniają się do samooczyszczenia cieku.

Utrzymanie i ubezpieczenie tak różnorodnie kształtowanego koryta wymaga również odpowiedniego wykonania i doboru naturalnych materiałów, wśród których dominujące znaczenie mają faszyna, drewno i kamień. Jeżeli jest konieczne zastosowanie ciężkich, betonowych ubezpieczeń, to po wykonaniu powinny być one umiejętnie zamaskowane i ukryte. Dobre efekty, zarówno ze względu na trwałość jak i na wrażenia estetyczne, można uzyskać, stosując kamień naturalny w dużych blokach. Duża masa pozwala na skuteczną ochronę przed erozją najbardziej narażonych brzegów. Mogą one równocześnie wchodzić w skład zabudowy terenów nadbrzeżnych.

Umocnienia i budowle regulacyjne, w których elementy techniczne uzupełniane są roślinnością (umocnienia biotechniczne), dzięki możliwości

rozwoju roślin mogą, obok poprawy stabilności dna i brzegów rzeki, wpłynąć korzystnie na potencjał ekologiczny cieków i podnieść jego walory krajobrazowe. Najczęściej stosowane biologiczne elementy biotechnicznych zabezpieczeń to faszyna, żywe paliki, szybko ukorzeniająca się roślinność, darnina. Techniczne uzupełnienie to kamień i szeroko stosowane geosyntetyki.

Szerokie tereny zalewowe na obszarach zurbanizowanych powinny być wykorzystywane do celów rekreacyjnych. Zagospodarowanie ich powinno być jak najbardziej funkcjonalne i użyteczne dla ludzi. Wiąże się to z zaplanowaniem w takich miejscach np. ścieżek rowerowych, placów zabaw, miejsc piknikowych i innych elementów atrakcyjnych dla mieszkańców.

Bardzo ważnym elementem terenów zalewowych jest roślinność. Dlatego też jej rozmieszczenie i dobór musi być odpowiednio zaprojektowany i uwzględniony w obliczeniach hydraulicznych.

## **PODSUMOWANIE**

Koryta cieków na terenach silnie zurbanizowanych ze względów gospodarczych i ekonomicznych wymagają stabilizacji zarówno pionowej, jak i poziomej. Z racji istniejących ograniczeń, możliwość wyboru systemu regulacji jest bardzo utrudniona i sprowadza się do przyjęcia zabudowy bulwarowej lub zabudowy żłobem. Wiąże się to z przyjęciem jednolitego kształtu przekroju poprzecznego, wyprostowaniem i w efekcie skróceniem biegu cieków. Dotychczas przy tych zabiegach pominięte były wszelkie aspekty związane z troską o utrzymanie dobrych warunków do życia biologicznego cieków. W naszej pracy zwracamy uwagę na możliwości urozmaicenia koryta rzeki czy potoku pomimo zastosowania ciężkiej zabudowy. Często nie można zmienić samej konstrukcji, można natomiast zaproponować jej ożywienie i urozmaicenie. Jednym z rozwiązań może być koryto małej wody koncentrujące niskie przepływy. W przypadku projektu nowego żłobu można odejść od masywnej konstrukcji (mury oporowe i płyta denną), zastępując ją lekką, wykonaną z ażurowych prefabrykatów. Tworzą one elastyczne, dostosowujące się do podłoża, zabezpieczenie przyjazne dla środowiska. Nawet na terenach zabudowanych znajdują się czasem szerokie tereny zalewowe, które można wykorzystać jako tereny rekreacyjne. Są to doskonałe miejsca, gdzie można odejść od sztywnej regulacji technicznej i wykorzystać w jak najszerszym stopniu zabezpieczenia biotechniczne i istniejącą roślinność.

Przykłady te pokazują, że regulacja na terenach zurbanizowanych może być wyzwaniem dla projektantów, którzy nie powinni unikać konsultacji z architektami krajobrazu, biologami i innymi specjalistami.

**BIBLIOGRAFIA**

- Allan J. David *Ekologia wód płynących*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1998.
- Lenar-Matyas A., Wolak A. *Budowle regulacyjne – ich wpływ na makrofaunę wodną*. Materiały konferencyjne, Ogólnopolska Konferencja Naukowa Inżynieria Ekologiczna, PAN Gdańsk 2009.
- Lenar-Matyas A. Łapuszek M. *Bliskie naturze kształtowanie koryta rzeki górskiej*. Zeszyty Naukowe nr 9/2003, seria 4 „Hydrologia zlewni górskich”, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej – Szczyrk 24–26 listopad 2003.
- Łapuszek M., Ratomski J. *Metodyka określania i charakterystyka przebiegu erozji dennej rzek górskich dorzecza górnej Wisły*. Monografia 332, Politechnika Krakowska, Kraków 2006.
- Poulard Ch., Lafon M., Lenar-Matyas, A., Łapuszek, M. *Towards flood mitigation designs respectful of river ecosystem functions; problematic and conceptual approach*. – w druku, Elsevier Editorial System for Ecological Engineering.
- Poulard Ch., Lafont M., Lenar-Matyas A., Ratomski J., Witkowska H., Breil P. *Defining River-scapes Types as Supports for Discussion between Flood, Management and Ecological Requirements*, Water Policy 2009, Water as a Vulnerable and Exhaustible Resource. Proceedings of the Joint Conference of APLU and ICA, 23–26 June 2009, Prague.

Anna Lenar Matyas

Marta Łapuszek

Instytut Inżynierii i Gospodarki Wodnej Politechniki Krakowskiej

ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, tel. 012 628 28 89

alenaar@iigw.pl

mlapuszek@iigw.pl

Christine Poulard

Cemagref, UR HHLY, 3 bis quai Chauvea – CP 220, F-69336 Lyon, France

christine.poulard@cemagref.fr

Michel Lafon

Cemagref, 3 bis quai Chauvea – CP 220, F-69336 Lyon, France

michel.lafon@cemagref.fr

Recenzent: Prof. dr hab. Jerzy Gruszczyński