

Kształtowanie rozwiązań wariantowych w ochronie przed powodzią w kontekście ochrony środowiska*

Mgr inż. Józef Jeleński
JOT – Doradztwo Inwestycyjno-Budowlane

**Materiały Sympozjum Ogólnokrajowego HYDROTECHNIKA XIII'2011,
Ustroń, 17-19 maja 2011, Śląska Rada Naczelna Organizacji Technicznych FSNT w
Katowicach.**

* - referat zawiera obszerne cytaty z referatu: Jeleński J., Gatkowska-Jeleńska D.:
**Wykorzystanie metod geomorfologii fluwialnej do planowania zabezpieczeń
komunikacyjnych budowli liniowych przez powodzią w terenach górzystych.** Materiały
Konferencyjne Polskiego Kongresu Drogowego, Zakopane, 30.03 do 1.04.2011

STRESZCZENIE

Analiza ryzyka powodzi wykazuje, że pro-środowiskowe rozwiązania zagospodarowania dolin rzecznych ukierunkowane na zapewnienie przestrzeni dla rzeki są rozwiązaniami ograniczającymi ryzyko powodzi. Dla zastosowania skutecznych rozwiązań wariantowych potrzebna jest analiza i monitoring koryt w dolinach oparte o metody geomorfologii fluwialnej. Podano przykłady i rezultaty takiej analizy, oraz wskazano źródła metodyki i rozwiązań wariantowych. Zasadą rozwiązań pro-środowiskowych jest odchodzenie od wykonywania budowli hydrotechnicznych na rzecz naturalnego kształtowania koryta siłami przyrody, (szczególnie w terenach górzystych) oraz interwencji inżynierskich nie mających charakteru budowli (np. dostarczanie materiału dla zapewnienia prawidłowości procesów korytowych). Podano literaturę przydatną do realizacji pro-środowiskowych.

1. UCYWILIZOWANA DOLINA RZEKI

Doliny rzeczne w okresie czwartorzędu podlegały wyłącznie siłom przyrody. Uzyskały swój kształt i dynamikę, które uznajemy za naturalne. Ostatnie kilka tysięcy lat, w których człowiek wprowadził do dolin rzecznych właściwe sobie gospodarowanie rolno leśne wywołało w dolinach rzecznych zmiany, którym człowiek nie bardzo umiał się przeciwstawić, więc dalej pozostawiał rzeki siłom natury. Dopiero budowa osad i miast, ujęć wody, kanałów i wodnych zakładów energetycznych wymagała interwencji technicznej dla ochrony wybudowanych struktur i zajętego terenu. Wtedy też w bezpośrednim sąsiedztwie koryt rzecznych pojawiły się budowle, które w wypadku ich zniszczenia przez żywioł musiały być odbudowane, lub zastąpione innymi dla zapewnienia funkcjonowania infrastruktury z nimi związanej. Aż do XIX wieku wkraczanie w doliny rzeczne miało charakter fragmentaryczny, czyli interwencja techniczna w rejonie zagrożenia powodziowego miała charakter obrony określonego elementu zabudowy lądowej przed istniejącą, nie przebudowaną rzeką podlegającą wylewom.

Przełom wieków przyniósł zmianę jakościową: dla ochrony cywilizacji lądowej zaczęto przekształcać elementy przyrody wodnej, budując zbiorniki zaporowe, melioracje oraz regulacje i obwałowania rzek. Takie podejście skierowane bezpośrednio przeciwko

naturalnej rzece spowodowało i dalej powoduje zaburzenia i degradację środowiska wodnego i z wodą związanego, niekoniecznie zresztą osiągając cele, które były zakładane. **Historyczne wylewy naturalnej rzeki nie niosły za sobą szkód, dopiero narzucanie więzów naturze wywołało reakcje, które powodują ryzyko powodziowe¹**. Odruchowym sposobem ograniczania ryzyka powodziowego powinno więc być powrót do natury w dolinie, które w wielu przypadkach i na wielu fragmentach dolin okazuje się być możliwe i skuteczne, pomimo powszechnie panujących wątpliwości w tym względzie [5].

Jeśli dziś chcemy wyobrazić sobie obraz naturalnej rzeki, to w Europie sięgać musimy do zapisów, rycin i map z wieku XVIII-go i wcześniejszych, czyli wykonanych przed okresem industrializacji i związanym z nim gwałtownym procesem zajmowania dolin rzecznych dla celów rolniczych i przemysłowych. Dziś trudno szukać w świadomości społecznej obrazu naturalnej, przedindustrialnej rzeki. Niechże przykładem będzie rzeka Raba, której regulację trwającą prawie bez przerw podjęto w roku 1904, podczas gdy mój ojciec urodził się w roku 1905. Ani on, ani ja nie znaliśmy naturalnej Raby, choć i on i ja wiele czasu spędzaliśmy nad jej brzegami, dla rekreacji czy zawodowo. Nic więc dziwnego, że w poszukiwaniu wzorców naturalnych rzek trzeba się udać na inne kontynenty, a po sposoby ich zbliżenia do natury do innych krajów naszej wspólnej Europy.

2. SKUTKI POWODZI

Obserwując szkody wyrządzone przez powódź można wyróżnić **powodzie o charakterze zatapiającym** – kiedy szkody wynikają z zalania terenu, dobytku i infrastruktury, oraz **powodzie o charakterze niszczącym** – kiedy szkody wynikają z erodującego działania prądu wody [4]. Warto przy tym zauważyć, że rozlewne powodzie występują w terenach nizinnych, w płaskich dnach rozległych dolin o niewielkim spadku koryt rzecznych z materiałem dna piaszczysto – mulistym. Powodzie niszczące natomiast są charakterystyczne dla terenów podgórskich i górskich, w dolinach wąskich i/lub dodatkowo zawężanych zabudową, dla koryt o stosunkowo dużych spadkach, o dnie kamienistym i żwirowym. Taki specyficzny charakter powodzi w terenach górskich i podgórskich wymaga właściwego podejścia do oceny stanu koryt sąsiadujących z zabudową i skłania do poszukiwania innych rozwiązań niż w terenach nizinnych, gdzie występują powodzie zatapiające. W szczególności na terenach nizinnych rozwiązaniem jest zazwyczaj

¹ „ryzyko powodziowe” oznacza kombinację prawdopodobieństwa wystąpienia powodzi i związanych z powodzią potencjalnych negatywnych konsekwencji dla zdrowia ludzkiego, środowiska, dziedzictwa kulturowego oraz działalności gospodarczej (Dyrektywa 2007/60/WE w sprawie ryzyka powodziowego)

ograniczanie powierzchni zalewu, natomiast w **terenach górskich ograniczanie powierzchni zalewu stoi w sprzeczności z ograniczaniem lub unikaniem erodującego działania wody**. Tak więc dla ograniczenia ryzyka powodziowego należy liczyć się z poszukiwaniem miejsca dla rzeki zarówno terenach górskich – dla ograniczenia energii płynącej wody, jak i nizinnych – dla zmniejszenia głębokości zalewu. Takie poszukiwania w celach środowiskowych zalecane są zarówno przez Dyrektywę powodziową jak i wszędzie w literaturze [m.in.:1,2,3,4,5,6,11,15]. Strategia oceny przydatności dolin rzecznych do odtwarzania nadrzecznej przyrody opisana jest przez Rohde i in. w [8], gdzie podano sposób obliczania współczynnika ERSI², przydatnego do określenia potencjalnych możliwości zastosowania rozwiązań pro-środowiskowych. Współczynnik ten okazał się być także przydatny w ocenie możliwości zastosowania rozwiązań wariantowych w zmniejszaniu ryzyka powodziowego.

3. ŹRÓDŁA KOSZTÓW I STRAT

Dla minimalizowania strat powodziowych możliwe są dwie strategie, stosowane alternatywnie lub równocześnie:

- **usunięcie zabudowy z terenów zalewowych** i pozostawienie całego dna doliny w zasięgu wezbranych wód czynnikom przyrodniczo-rolniczym,
- **właściwe zagospodarowanie terenów zalewowych** w sposób, który jest odporny na zalanie i/lub erozję.

W każdym z tych przypadków warto przeprowadzić analizę kosztów zabezpieczenia przed powodzią w porównaniu do ewentualnych strat powodziowych. Chodzi przy tym o identyfikację podmiotów, które w jakimś zakresie ponoszą ryzyko strat oraz podmiotów które mają pokrywać koszty zabezpieczenia przed stratami.

Istniało przekonanie (nie tylko w Polsce), że możliwe jest takie techniczne zagospodarowanie wód w zlewniach, że straty powodziowe będą minimalizowane mimo zabudowy dolin rzecznych. A więc zmniejszającą się retencję naturalną można zastąpić retencją w postaci sztucznych zbiorników, najczęściej zaporowych, budowanych przez przegradzanie rzek, zasięg wylewów można zredukować poprzez obwałowania lub poprzez przyspieszenie odpływu stosując regulację koryt rzecznych, a zwiększoną erozję koryt rzecznych można opanować umacnianiem ich brzegów i dna. Spowodowało to wadliwe podejście do strat wywołanych powodzią: zamiast unikać strat i miarkować koszty ryzykiem ponoszenia strat, przebudowywano całe systemy rzeczne poprzez budowę licznych

² Ecological Suitability Restoration Index, - współczynnik przydatności do odtwarzania środowiska

zbiorników zaporowych, regulację rzek i potoków górskich oraz budowę wałów przeciwpowodziowych za pieniądze podatników dla nielicznych osób fizycznych i prawnych ponoszących ryzyko powodziowe. Tymczasem rezerwa powodziowa tych zbiorników okazuje się niewystarczająca, regulacje kosztowne zarówno w budowie jak i w utrzymaniu, a wały przeciwpowodziowe bywają zawodne. Straty powodziowe w terenach górzystych pochodzące ze zniszczenia zabudowy infrastrukturalnej i hydrotechnicznej są główną pozycją strat i należą do nich straty pochodzące ze zniszczeń zabudowy powiększone o straty wywołane zawodnym działaniem budowli regulacyjnych i wałów przeciwpowodziowych, a także zbyt małych świateł mostów i przepustów.

Dochodzi do tego trudno do określenia rozmiar strat środowiskowych, ze względu na znikomość i niewymierność aktualnych pożytków pochodzących ze środowiska. Rzeki nie są w stanie utrzymać rybaków i flisaków, zajęcia te zniknęły lub są przedmiotem zajęć amatorskich. W obecnym stanie rzek dalsze straty środowiskowe są niewielkie, gdyż środowisko rzek uregulowanych lub spiętrzonych jest bezwartościowe. Można nawet zauważyć, że w pewnym sensie straty w hydrotechnicznej zabudowie rzek są rekompensowane odtworzeniem potencjału środowiska wodnego i z wodą związanego. Analiza „Poradnika ochrony siedlisk i gatunków Natura 2000” [7] i „Praktycznego podręcznika przyjaznego naturze kształtowania rzek i potoków” [6] wskazuje, że poprawa stanu środowiska wynika często bezpośrednio wskutek usunięcia hydrotechnicznej infrastruktury przeciwpowodziowej.

4. RACJONALNE PODEJŚCIE DO USUWANIA I UNIKANIA SZKÓD POWODZIOWYCH

Obecne podejście do usuwania szkód powodziowych polega na odtwarzaniu zniszczonych budowli, często bez głębszej analizy, czy taka odbudowa jest potrzebna i wystarczająca. Każdy problem techniczny kierowany jest do specjalistów, których inżynierskie przygotowanie i doświadczenie pozwala zaproponować techniczne rozwiązanie, o określonym koszcie. Takie „łatanie” nie daje szansy na głębszą analizę i szczegółową odpowiedź: gdzie jest przyczyna szkody i gdzie leży najbardziej ekonomiczne rozwiązanie problemu. Bardzo rzadko zamiast usuwania szkody stosuje się rozwiązania polegające na ich unikaniu. Przecież zamiast odbudowywać dom zalewany co kilka lat lepiej dać odpowiednie odszkodowanie właścicielowi, żeby mógł wybudować się gdzieindziej. Może w oglądzie „od strony rzeki” łatwiejsze będzie określenie czy to rzeka jest przyczyną kolizji – czy budowla stojąca jej na przeszkodzie [2,4]. Czy rzeczywiście konieczne jest odtworzenie budowli

regulacyjnych – a może właśnie ich zniszczenie było objawem powrotu rzeki do natury, bo być może niepotrzebnie została w nich uwięziona?

Niestety, **wariantowe rozwiązania najczęściej nie są brane pod uwagę, ze względu na brak umiejętności oceny zagrożenia ze strony naturalnego lub ewoluującego w kierunku naturalnego ciek na sąsiadującą zabudowę.** Przyjęcie do wiadomości powyższego nie zmienia faktu, że większość tras drogowo-kolejowych została już wytyczona, większość rzek i ich dopływów jest lub była kiedyś uregulowana, a terasy zalewowe są zabudowywane przez inwestorów prywatnych, komunalnych i państwowych. Nierealne jest oczekiwanie powrotu do natury, traktowanej jako nieskrępowane działanie żywiołów. **Ale możliwe i celowe jest podejście do analizy tematu poprzez prześledzenie sposobu jak ciek naturalny lub uregulowany będzie zachowywał się wobec zadanych mu więzów zabudowy hydrotechnicznej czy infrastrukturalnej.**

Reasumując, **wariantowe rozwiązania ochrony przed powodzią** prezentowane w niniejszej publikacji, to **działania utrzymaniowe, których potrzeba wynika z analizy opartej o metody geomorfologii fluwialnej, dla których możliwe jest znalezienie odpowiedniego miejsca** dla nieznacznie skrepowanego lub nieskrepowanego przebiegu rzeki.

5. OCENA RYZYKA SZKÓD POWODZIOWYCH:

Ryzyko powodziowe traktowane jako kombinacja prawdopodobieństwa wystąpienia powodzi i prawdopodobieństwa wystąpienia szkód w zabudowie doliny pozwala na sformułowanie warunków granicznych dla planowania utrzymania strefy korytowej i dla stref zalewowych w dolinie. **W strefie zalewowej prędkości wezbranej wody powinny być jak najmniejsze**, aby umożliwiać sedymentację pozakorytową i w każdym razie nie powinny przekraczać prędkości rozmywającej dla odpowiedniego pokrycia terenowego [1,11,15]. **W strefie korytowej powinny odpowiadać prędkościom zapewniającym dynamiczną równowagę koryta**, a więc niewielkie zmiany wymiarów koryta i umiarkowany ruch rumowiska. W przypadku nierównowagi powinno się podejmować działania, których koszty mogłyby być porównywane z ryzykiem wystąpienia strat. **Tak sformułowane kryteria utrzymania koryt w dolinie są identyczne z kryteriami środowiskowymi** i zezwalają na rozwój środowisk wodnych i z wodą związanych.

Dla dokonania oceny ryzyka szkód powodziowych i jego ograniczania poprzez właściwe utrzymanie wód konieczne jest wykrywanie miejsc, w których występuje nierównowaga. Do tego celu konieczne jest prowadzenie monitoringu stanu koryt w dolinach. Dokonać tego można na podstawie odpowiedniej normy opisującej stan referencyjny, lub

według innych metod, wykazujących istnienie lub brak równowagi koryt naturalnych i regulowanych. Warunki referencyjne według normy PN-EN 14614:2008³ przytoczono w następującej tabeli:

| PN-EN 14614:2008 4.6 Warunki referencyjne | Opis warunku referencyjnego: |
|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4.6.2 charakter dna i brzegu | Brak jakichkolwiek sztucznych struktur w strumieniu i na brzegu, które w widoczny sposób zakłócają naturalne procesy hydromorfologiczne i/lub niezmienny brzeg przez wszelkie tego typu struktury poza stanowiskiem; dno i brzegi są utworzone z naturalnych materiałów. |
| 4.6.3 zarys i profil rzeki | Zarys i profil rzeki nie są w widoczny sposób zmodyfikowane w wyniku działalności ludzkiej |
| 4.6.4 możliwość rozlewania się i swoboda zmiany biegu | Brak jakichkolwiek zmian strukturalnych, które w widoczny sposób utrudniają przepływ wody między korytem i tarasem zalewowym lub w widoczny sposób zapobiegają przemieszczaniu się koryta rzecznoego w poprzek tarasu zalewowego |
| 4.6.5 swobodny przepływ | Brak jakichkolwiek przekształceń strukturalnych w strumieniu, które w widoczny sposób wpływają na naturalny ruch rumowiska, wody i organizmów |
| 4.6.6 roślinność w strefie nadbrzeżnej | Obecność przyległej naturalnej roślinności, odpowiedniej dla typu i geograficznego położenia rzeki |

Brak osiągnięcia warunków referencyjnych wskazuje na stan zagrożenia dla naturalnego koryta. Dalsza analiza powinna być zatem ukierunkowana na poszukiwanie stref nierównowagi, a po ich identyfikacji na zastosowaniu technik pozwalających przywrócić stan równowagi. W aspekcie europejskim, brak osiągnięcia stanu dobrego wód (lub dobrego potencjału wód), a więc stanu zbliżonego do referencyjnego, grozi karami za niedotrzymanie warunków traktatu akcesyjnego.

6. POSZUKIWANIE STREF NIERÓWNOWAGI

Opisem stanu koryt rzecznych w dolinie zajmuje się nauka zwana geomorfologią fluwialną, która na całym świecie jest stosowana także do praktycznych zastosowań i rozwiązań w zagadnieniach inżynierskich [10]. W szczególności jest w stanie odpowiedzieć na pytanie, czy rzeka znajduje się w stanie zrównoważonym, a więc czy jej koryto w dolinie podlegać będzie tylko niewielkim zmianom przebiegu i profilu dla zmiennego natężenia przepływu i dostawy rumowiska wleczonego. Jest także w stanie opisać przypadki niestabilnych koryt, kierunki ich ewolucji oraz przewidywany zakres potrzebnych ingerencji inżynierskich w ich przebieg. Posługiwanie się metodami geomorfologii fluwialnej to

³ PN-EN 14614:2008 Jakość wody. Wytyczne do oceny hydromorfologicznych cech rzek.

narzędzie inżynierskie pozwalające sparametryzować punkt widzenia „od strony rzeki” na obstrukcje w jej przepływie i na możliwości ułatwienia przebiegu wezbrania poprzez odpowiednie ukształtowanie przestrzeni w korycie i w sąsiedztwie jej koryta. **Takie podejście nie wymaga od projektanta automatycznej decyzji o konieczności zabudowy czy przebudowy koryta rzeki – przeciwnie, najczęściej oznacza poszukiwanie oszczędnej ingerencji w koryto lub niewielkiego zabezpieczenia na terasach zalewowych elementów infrastruktury wymagających ochrony, bez systematycznej zabudowy cieków.** W dalszej części rozdziału podane zostaną przydatne w praktyce inżynierskiej metody, stosowane z powodzeniem w Polsce.

Klasyfikacja cieków na podstawie jednostkowej mocy strumienia [1]. Stosunkowo łatwym do ustalenia parametrem określającym tempo wydatkowania energii cieków na jednostkowej powierzchni dna przy określonym przepływie jest jednostkowa moc strumienia (unit stream power), obliczana następującym wzorem:

$$\omega = (\gamma_w g Q S)/w \quad [\text{W m}^{-2}], \text{ czyli}$$

$$\omega = (9810 Q S)/w \quad [\text{W m}^{-2}]$$

gdzie:

ω – jednostkowa moc strumienia w Watach na metr kwadratowy,

γ_w – gęstość wody w kg m^{-3} ,

g – przyspieszenie ziemskie w m s^{-2} ,

Q – przepływ wody w $\text{m}^3 \text{sek}^{-1}$,

S – spadek cieków w liczbach bezwzględnych,

w – szerokość cieków w m przy napełnieniu przepływem Q .

Przy wzrastającym napełnieniu przekroju zwiększającym się przepływem Q jednostkowa moc strumienia ω wzrasta. Funkcja ta dobrze opisuje sytuację, kiedy od momentu zatopienia brzegów cieków dalszy wzrost przepływu powoduje stosunkowo niewielki przyrost jednostkowej mocy strumienia w strefie korytowej o małym wpływie na kształtowanie koryta. Biorąc powyższe pod uwagę można łatwo przyjąć, obliczyć i pomierzyć parametry mogące służyć ocenie koryt naturalnych i uregulowanych - na przykład w przekrojach kontrolnych umiejscowionych na koronach bystrzy⁴. W poniższej tabeli zestawiono przedziały jednostkowej mocy strumienia przepływu pełnokorytowego,

⁴ Podejście polegające na konieczności identyfikowania koron naturalnych bystrzy i monitorowania ich stanu zostało zaproponowane w [1] i okazało się być bardzo przydatne, gdyż stan bystrzy jest podstawowym czynnikiem kontrolowania retencji korytowej, która objawia się występowaniem głębokich plos (zakoli) pomiędzy bystrzami.

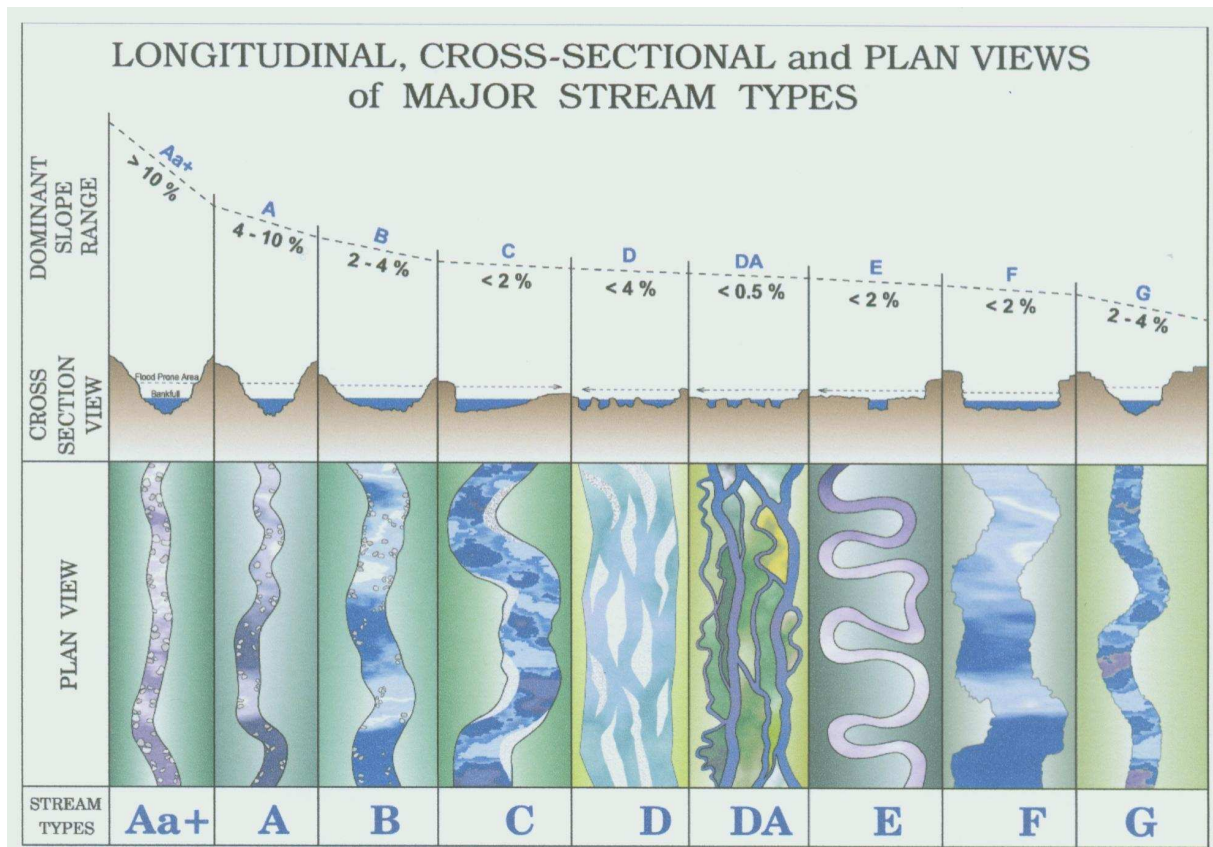
charakterystyczne dla różnych rodzajów cieków przepisana z „Zasad dobrej praktyki w utrzymaniu rzek i potoków górskich” [1]:

| Jednostkowa moc strumienia przy przepływie pełnokorytowym: | Charakter cieku: |
|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\leq 10 \text{ W m}^{-2}$ | Ciek piaszczysty o małej mocy strumienia |
| $10 \div 35 \text{ W m}^{-2}$ | Ciek żwirodenny, niskoenergetyczny, stabilny. Wykazuje tendencję do formowania koryta o małym zróżnicowaniu morfologii oraz siedlisk organizmów |
| $35 \div 100 \text{ W m}^{-2}$ | Ciek żwirodenny o dużej energii strumienia, zachowujący równowagę w przypadku ograniczonej dostawy rumowiska i adekwatnym uziarnieniu bystrzy i plos |
| $100 \div 300 \text{ W m}^{-2}$ | Ciek żwirodenny lub kamienisty o bardzo dużej energii strumienia i korycie stabilnym tylko w przypadku niezaburzonej dostawy rumowiska z brzegów lub dopływów |
| $\geq 300 \text{ W m}^{-2}$ | Ciek kamienisty, przy zewnętrznych ograniczeniach koryta i doliny niestabilny i wykazujący tendencję do transformacji w koryto skalne |

Typologia koryt Rosgena opisana w [4,9,10,] dzieli koryta na 7 głównych kategorii w zależności od następujących parametrów ich przekroji:

- stopnia wcięcia koryta (iloraz szerokości zalewu do szerokości lustra wody brzegowej⁵);
- spadku koryta (orientacyjnie na rycinie, wartości szczegółowe w cytowanej literaturze);
- ilorazu szerokości lustra wody brzegowej do głębokości maksymalnej koryta;
- krętości koryta.

⁵ Tam, gdzie nie jest znana szerokość zalewu powodziowego stosuje się szerokość koryta mierzona w przekroju ponad lustrem wody brzegowej na wysokości d_{\max} (d_{\max} – maksymalna głębokość wody brzegowej). Dla koryt we wciętych dolinach linię brzegową można określić w terenie jako linię porostu traw.



Ogólny klasyfikacyjny podział rzek ukazujący charakterystyczny profil, przekrój i widok głównych typów rzek, kopia fragmentu oryginalnej ryciny z [9]

Dokonanie klasyfikacji według kryteriów Rosgena pozwala przewidzieć sposób przekształcania się koryta i pomaga w oszacowaniu przepływu korytotwórczego. Ponadto, oprócz kategorii C i E, które Rosgen uznaje za koryta stabilne, klasyfikacja zawiera inne rodzaje koryt niż meandrujące lub proste żwirowe, w tym skaliste, piaszczyste i gliniaste, oraz koryta roztokowe i anastomozujące.

Po określeniu parametrów przekroju koryta rzeki, łatwych do pomierzenia w terenie i do odczytania z mapy lub zdjęcia lotniczego, można wstępnie określić dominujące procesy występujące w korycie rzeki oraz kierunek przekształcania się koryta. W szczególności dla celów inżynierskich typologia Rosgena pozwala określić stabilność brzegów i dna rzeki, oraz zaliczyć koryta do stabilnych i zrównoważonych (A i B dla potoków górskich, C i E dla rzek meandrujących, D dla rzek o roztokowym korycie z szeroką terasą zlewową). Typy koryt F i G są typami niestabilnymi, przejściowymi, wykazującymi dużą dynamikę zmian. Koryta typu A i B są charakterystyczne dla potoków i rzek górskich oraz dla dopływów rzek podgórskich, płynących w wąskich dolinach po dużych spadkach i erodujących podłoże. Mimo to mogą cechować się ustabilizowanym przebiegiem, jeśli przekrój doliny nie jest zawężany budowlami linowymi i mostami o zbyt małej rozpiętości.

Najbardziej stabilne w profilu i planie są typy koryt C i E, charakterystyczne w terenach podgórskich dla rzek krętych i meandrujących⁶ o dnie żwirowym.

7. NATURALNE KORYTA W RÓWNOWADZE DYNAMICZNEJ

Równowaga koryt naturalnych opisywana była różnymi równaniami, zazwyczaj formułowanymi osobno dla rzek o dnie piaszczystym i osobno dla rzek żwirowych [10]. **Równania Thorne'a-Hey'a równowagi naturalnych koryt żwirowych** [4,10] zakłada, że rzeki żwirowe posiadają dziewięć stopni swobody, jako że potrafią dostosować poprzez erozję i depozycję swe średnie szerokości zwierciadła wody brzegowej (**W**), głębokości (**d**), maksymalne głębokości (**d_{max}**), wysokości (**Δ**) i długości fali (**λ**) form korytowych, prędkości (**V**), spadki (**S**), krętości koryta (**p**) i długości łuku meandra (odległość pomiędzy koronami bystrzy) (**z**). Dla odcinków rzek, które nie ulegają systematycznym zmianom przez okres kilku lat, wielkości te mogą być uważane za zmienne zależne. Ponadto rumowisko dostarczane z dorzecza jest przenoszone wtedy w rozpatrywanym odcinku, bez przeważającej erozji czy depozycji.

Zmienne niezależne odpowiedzialne za kształtowanie wymiarów rzeki to:

- przepływ (**Q**); w naturalnych i zrównoważonych korytach przepływ brzegowy określić się da jako woda o prawdopodobieństwie wystąpienia $p=50$ do 80% , z wartością modalną 67% (przepływ półtoraroczny).
- ilość wlezonego rumowiska przy przepływie brzegowym (**Q_s**);
- rozmiar (uziarnienie) wlezonego rumowiska w powierzchniowej warstwie (**D**);
- materiał brzegu rzeki;
- zarośla i zadrzewienia brzegów;
- spadek doliny (**S_v**).

Zmiana któregokolwiek z powyższych zewnętrznych czynników będzie skutkowałą zmianą geometrii koryta rzeki, która w końcu ukształtuje się w równowadze z tym zmienionym czynnikiem. Jeśli zmienne niezależne pozostaną po zasadniczej zmianie ponownie ustalone, to nowy kształt koryta rzeki będzie zdefiniowany przez ten nowy zestaw zmiennych niezależnych. W warunkach równowagi dynamicznej funkcje zmiennych niezależnych są zazwyczaj stałe. Wyjątkiem są funkcje opisujące przepływ i ilość wlezonego rumowiska, które są znacząco i stochastycznie zmienne w czasie. Istnieje powszechne przekonanie poparte wielką ilością przykładów i dowodów, że przepływ pełnokorytowy

⁶ Współczynnik krętości – stosunek długości koryta do długości doliny (lub stosunek spadku doliny do spadku koryta), $p \leq 1,1$ – koryta proste, $p = 1,1$ do $1,5$ – koryta kręte, $p \geq 1,5$ – koryta meandrujące.

(brzegowy) jest w znacznej mierze odpowiedzialny za transport rumowiska wlezonego, a więc za uformowanie koryta. W równaniach równowagi mierzy się szerokość koryta jako szerokość lustra wody brzegowej (W), a średnią głębokość koryta (d) jako iloraz powierzchni przekroju koryta (A) przez szerokość lustra wody (W).

Spośród wielu zależności opisujących parametry stabilnych koryt żwirowych tylko równania Thorne'a-Hey'a pozwalają na uwzględnienie różnych wielkości transportu rumowiska. Jakkolwiek wielkość ta ma znikomą wpływ na geometrię koryta, to jednak z zależności pomiędzy wielkością transportu rumowiska a uziarnieniem dna koryta można wyciągnąć wiele istotnych wniosków. Na przykład wynika z nich wyraźnie, że zmniejszanie dostawy rumowiska ma związek z opancerzeniem dna koryta cieków. W równaniach tych średnia głębokość, maksymalna głębokość i średnia szerokość mierzone są w czterech charakterystycznych przekrojach (bystrze – plosy – bystrze – plosy) na całej długości meandra.

Równania dotyczą określenia szerokości lustra wody brzegowej W (średniej, na bystrzu i w plosie), spadku koryta S , krętości cieków $p = Sv/S$, długości łuku meandra z , głębokości średniej w przekroju d (średnio, na bystrzu i w plosie), głębokości maksymalnej w przekroju d_{max} (średnio, na bystrzu i w plosie) dla zadanych zmiennych zależnych: Q (przepływ), Q_s (ilość rumowiska wlezonego), $D_{50\%}$ i $D_{84\%}$ (mediana i 84 percentyl rozkładu średnic żwiru⁷) i stopnia obrośnięcia brzegów krzewami i drzewami. Obszerne omówienie równań równowagi znajduje się w przywołanej literaturze [4,10].

Określenie parametrów przekroju i kształtu koryta naturalnego w równowadze pozwala na konfrontację obliczonych wartości z wielkościami pomierzonymi w terenie i przeprowadzenie odpowiedniego wnioskowania. Może się okazać, że rozpatrywane koryto jest w równowadze, a istniejąca terasa zalewowa jest wystarczająco szeroka dla przeniesienia wód powodziowych i wtedy nie jest konieczna żadna ingerencja inżynierska. Może też okazać się, że niektóre odcinki koryta takiej ingerencji wymagają, na przykład zmniejszenia maksymalnej lub średniej głębokości na bystrzach. W przypadku wykazania braku równowagi koryta meandrującego konieczne zmiany mogą też dotyczyć terasy zalewowej, na przykład w postaci jej „otworzenia” dla odpowiedniego pomieszczenia wód wezbraniowych (rozsunięcie obwałowania, obniżenie terenów rolnych, rekreacyjnych i leśnych w pobliżu koryta itp.).

⁷ Próbka zbierana ilościowa, grid by number sample ISO 9195:1992(E), dotycząca warstwy opancerzenia dna

8. NIEKTÓRE STRATEGIE ZARZĄDZANIA NIERÓWNOWAGĄ KORYT W DOLINIE

8.1. KORYTA WCIĘTE

W praktyce większość analizowanych przez autora koryt uregulowanych i ich dopływów w terenach podgórskich i górskich należy do kategorii wciętej (typ A, B, F i G według typologii Rosgena, lub typ C o nieproporcjonalnie zwiększonej pojemności koryta). Korytom takim brakuje terasy zalewowej, lub jest ona zbyt wąska. Zalecenia dla utrzymania koryt wciętych, bez szansy odtworzenia terasy zalewowej podaje Rosgen [9]. W obliczeniach równowagi rumowiska takich koryt konieczne jest sprawdzenie prędkości nie rozmywających dna koryta dla przepływów o małym prawdopodobieństwie wystąpienia, powiedzmy 1%. Nie powinno się także dopuszczać wewnątrz koryt typu A i B budowania przyczółków i podpór mostowych w zasięgu przepływu wód stuletnich.

Koryto Potoku Trzebuńka (lewobrzeżny dopływ Raby powyżej Myślenic) jest wcięte, o dnie częściowo skalistym i kamienistym. W związku z koniecznością częściowego obniżenia zapory przeciwrumowiskowej podjęto analizę, która wykazała, że koryto jest wcięte znacznie bardziej poniżej zapory niż w przekrojach powyżej zapory. Parametry do zaliczenia koryta do określonego typu według Rosgena zawarto w poniższej tabeli.

| Przekrój: | Wskaźnik wcięcia F/W | Stosunek W/d | Współczynnik krętości p | Spadek S | Typ koryta | Uziarnienie rumowiska dennego | |
|----------------|-----------------------------|---------------------|--------------------------------|-----------------|------------|-------------------------------|-----------------------|
| | | | | | | D₅₀ | D₈₄ |
| Powyżej zapory | 1,70 | 17,82 | 1,05 | 0,00644 | B | 54 mm | 100 mm |
| Poniżej zapory | 1,04 | 5,89 | 1,05 | 0,00578 | A | 90 mm | 190 mm |



Przekrój powyżej zapory na potoku Trzebuńka w Stróży – dno kamienisto-żwirowe



Przekrój poniżej zapory na potoku Trzebuńka w Stróży – dno kamieniste, częściowo skalne

Planowane prace budowlane wewnątrz koryta (bystrza sztuczne o spadku 4%) muszą się ograniczyć do budowli z głazów osadzanych w betonie (grouted rock) ze względu na brak możliwości rozproszenia energii wody stuletniej przez luźne głazy o rozsądnych wymiarach geometrycznych, a także wobec braku możliwości zwiększenia krętości cieku w wąskiej dolinie. Zalecono ponadto uzupełnianie gruboziarnistego rumowiska poprzez dostarczanie do koryta tego potoku rumoszu skalnego z pobliskiego kamieniołomu, dla zachowania właściwych procesów korytowych, ograniczenia tempa erozji dennej i zatrzymania w potoku żwirów pochodzących z erozji osadów obniżanej zapory.

Potok Kobyłok, prawobrzeżny dopływ Raby w Myślenicach jest na przyujściowym odcinku 250m uregulowany w postaci żłobu o dnie betonowym i skarpach z betonowych elementów prefabrykowanych w formie łańcucha Galla (<http://www.jot-raba.az.pl/pdf/kobylok.pdf>). Powodem takiej regulacji było wcięcie się koryta Raby poniżej jazu elektrowni w Myślenicach o około 4m, a tym samym znaczne obniżenie poziomu ujścia potoku. Żłób prowadzić może wodę większą od wody tysiącletniej (typ koryta według Rosgena – A), a prędkości wewnątrz koryta nie pozwalają na utrzymanie się tam żwirów i głazów o rozsądnych wymiarach. Ewentualne dobudowanie terasy zalewowej dla zachowania aluwialnego charakteru potoku polegać by musiało na poszerzeniu koryta około dwukrotnie i wydłużeniu go o dodatkowe 150m (do łącznej długości 400m). Tak kosztowne zamierzenie nie było uzasadnione spodziewanymi korzyściami z udroźnienia tego potoku dla ryb, płazów i gadów. Zdecydowano się na dobudowanie kamiennych stopni przywracających częściowo aluwialny charakter potoku na fragmentach, na których dno betonowe uległo zniszczeniu,

oraz pochylni dla gadów i płazów. Prace sfinansowano z budżetu Gminy i ze środków prywatnych Stowarzyszenia „Ab Ovo”.



Potok Kobylok w Myślenicach: naprawa wyboju w betonowym dnie i równocześnie trasa powrotu do naturalnej części potoku dla ryb, gadów i płazów + częściowe przywrócenie aluwialnego charakteru dna potoku

Powyższe przykłady wskazują na możliwości zastosowania pro-środowiskowych rozwiązań wariantowych w przypadku naturalnych lub uregulowanych koryt wciętych w ramach ich utrzymania, które polega na dobudowie elementów wspomagających procesy życiowe w cieku. Tam jednak, gdzie istnieje szansa na choćby częściowe odtworzenie terasy zalewowej, oraz wszędzie tam gdzie daje się wydłużyć trasę koryta w dolinie poprzez zwiększenie jego krętości jest to z korzyścią dla zmniejszenia ryzyka powstania strat powodziowych polegających na zagrożeniu zniszczenia budowli hydrotechnicznych. Fragmenty koryta o mniejszym spadku i z choćby niewielką terasą zalewową stają się automatycznie fragmentami o zwiększonej różnorodności siedlisk.

Nie można zapomnieć o tym, że wcięte koryta są w jakimś sensie skutkiem działalności człowieka. Według [11,13] koryta karpaccich dopływów Wisły wcięły się w dno także z powodu eksploatacji żwiru i kamieni z koryt rzecznych, wskutek regulacji rzek oraz w

następstwie zwiększonej lesistości i zmniejszonej powierzchni ornej na południu Polski.

Strategicznym celem ograniczenia szkód powodziowych staje się więc zakaz jakiegokolwiek eksploatacji rumowiska z koryt rzecznych (z wyjątkiem pozyskiwania piasku o średnicy ziarna do 2mm z rzek żeglownych). Zamiast „odźwirowywania potoków” oraz „usuwania odsypów” konieczna jest raczej kontrolowana dostawa żwirów i gładów do koryt rzek górskich w ilościach wynikających z monitorowania tempa obniżania się dna koryt uregulowanych i naturalnych.

8.2. MEANDRUJĄCE KORYTA Z SZEROKIMI TERASAMI ZALEWOWYMI

Przeprowadzone przez autora analizy z zastosowaniem równań równowagi Thorne’a Hey’a dotyczące możliwości odtworzenia koryt krętych lub prostych z terasami zalewowymi tylko w jednym przypadku wykazały równowagę aluwialnego koryta i dostateczną szerokość terasy zalewowej – był to potok Krzywiczanka, prawobrzeżny dopływ Raby, bardzo cenny przyrodniczo [3]. Pozostałe analizy dokonane na podstawie symulacji według równań Thorne’a Hey’a wykazywały zazwyczaj pewien stopień nierównowagi, polegający najczęściej na zbyt dużych przepływach brzegowych⁸ oraz zbyt dużych głębokościach średnich i maksymalnych w przekrojach koryt zlokalizowanych na koronach naturalnych bystrzy [3,4]. Wcinanie się koryt jest procesem łańcuchowym: głębsze przekroje charakteryzują się zwiększonym przepływem brzegowym, a więc większą jednostkową mocą strumienia, co pogłębia nierównowagę pomiędzy energią rzeki a naprężeniami granicznymi rumowiska dna. Zatrzymanie tego procesu jest możliwe po docięciu koryta do podłoża skalnego, co czyni koryto bezwartościowym środowiskowo, lub poprzez stosowanie budowli poprzecznych, także nieobojętnych dla środowiska. Dla koryta Raby w Rabie Wyżnej określono nadmierne wcięcie koryta przeciętnie o 0,6m do podłoża skalnego, oraz brak terasy zalewowej o właściwej szerokości na terenie wsi (miejscami 10 do 15m zamiast 27 do 45m). Ta sama Raba, tym razem uregulowana na odcinku od ujścia Krzczonówki do Myślenic wykazywała w roku 2005 zbyt dużą odległość pomiędzy naturalnymi bystrzami w niektórych miejscach, oraz niewielkie przekroczenie średniej głębokości koryta na koronach niektórych bystrz. W Myślenicach pomiędzy rokiem 2007 a 2011 naturalne bystrza w uregulowanym odcinku wykazywały trend erodujący – bez zmiany szerokości koryta. Maksymalne głębokości na bystrzach były zbyt duże w roku 2007 w porównaniu do wyliczonych z równań równowagi

⁸ Przepływ brzegowy jest parametrem charakteryzującym dany przekrój i nie musi być podobny do przepływu brzegowego przekroju w innych przekrojach tego samego cieku. Szczególnie w korytach uregulowanych przepływy brzegowe są zróżnicowane tym bardziej, im bardziej koryto uregulowane przekształca się w naturalne.

(2,40 do 3,20 zamiast 2,29m), a w roku 2010 i 2011 wykazały trend wzrastający (3,37 do 3,89 zamiast 2,29m). Jednocześnie wzrosły także nadmiernie średnie głębokości na bystrzach, od 1,65 – 1,93m w roku 2007 do 2,17 - 2,64m w roku 2011 (zamiast 1,70m). We wszystkich tych przypadkach zalecano wypełnianie koryt właściwie uziarnionym rumowiskiem w postaci wypełniania wyboi na naturalnych bystrzach, co niestety nie zostało wykonane.

W [1] i [6] zaproponowane są zabiegi utrzymaniowe polegające na uzupełnianiu koron naturalnych bystrzy właściwie uziarnionym materiałem do odpowiednio obliczonej rzędnej. Jest to zabieg nie mający charakteru robót budowlanych wymagających pozwolenia na budowę, natomiast nosi charakter odtwarzania właściwego położenia dna koryta. Wykonany w postaci pochylni o spadku nie przekraczającym 4% i na rzędnej odpowiadającej przepływowi brzegowemu o prawdopodobieństwie wystąpienia około 50% utrzymuje się w uregulowanym korycie Raby w Myślenicach od 2005 roku. Wszelkie parametry umożliwiające monitorowanie położenia koron naturalnych bystrzy, ich właściwego uziarnienia oraz głębokości w krętych korytach żwirowych można otrzymać rozwiązując równania równowagi Thorne'a – Hey'a.



Klinowanie pospółką korony bystrza naturalnego, w którym wypełniono wybój rumoszem skalnym o uziarnieniu 200/400mm – przygotowanie do wałowania walcem drogowym.

8.3. KORYTA ROZTOKOWE I MEANDRUJĄCE BEZ TERASY ZALEWOWEJ

Zazwyczaj uważa się, że koryta roztokowe (rozplecione, typ D według Rosgena) są charakterystyczne dla nadmiaru rumowiska w korycie żwirowej rzeki. Jednak okazuje się, że mogą one być także formą przejściową koryt wciętych w dawną terasę zalewową (typ F) ewoluujących w kierunku koryt krętych jednonurtowych (typ C) w nowej, położonej niżej terasie zalewowej. Czyli mogą być wyrazem malejącej dostawy rumowiska w systemie rzeczonym, na przykład spowodowanej wyprostowaniem i umocnieniem koryta regulacyjnego.



Raba w Lubniu w lipcu 2010 – koryto o cechach koryta roztokowego (fot. Łukasz Ślusarczyk)

Cechą charakterystyczną koryt roztokowych jest zjawisko nagłego i przerwania głównego nurtu do innej odnogi, co czyni te koryta nieprzewidywalnymi w aspekcie erozji bocznej. W stosunku do wymiarów charakteryzujących koryta meandrujące można zauważyć, że odległość pomiędzy węzłami roztok jest około dwukrotnie większa od odległości pomiędzy koronami bystrzy koryt jednoprzestrzennych w podobnych warunkach. Pod względem środowiskowym koryta roztokowe są bardzo wartościowe [12], posiadają wielką różnorodność siedlisk, duże zróżnicowanie podłoża i pierwszorzędną wartość dla celów tarliskowych ryb łososiowatych. Ze względu na dużą szerokość koryta jesienno-wiosenne wezbrania nie wywołują dużych wahań jednostkowej mocy strumienia, które mogłyby zniszczyć tarliska żwirowe. Obecność wielu płytkich odnóg koryta służy też dobrze wychowaniu narybku wszystkich gatunków ryb.

Analiza przypadku Raby na odcinku od Lubnia do Krzczonowa⁹ wykazała na podstawie rozwiązania równań równowagi Thorne'a - Hey'a, że w zależności od ilości wlezonego rumowiska kręte koryto w równowadze z osadami żwirowo kamienistymi powinno mieć spadek nie większy niż 0,0018 do 0,0030. Większy spadek mógłby być przewidywany dla grubszego uziarnienia osadów i większych dostaw rumowiska. Zrównoważone koryto meandrujące dla tego odcinka rzeki Raby (o spadku doliny $S_v = 0,00504$) musiałoby mieć długość od 3410 do 5570m, a więc współczynnik krętości powinien wynosić nie mniej niż 1,7 do 2,8 (obecnie 1,24). Szerokość koryta równowagi zawarta jest pomiędzy 27 a 42m (obecnie 73 do 147m), ale o średniej głębokości zaledwie 1,60m wobec obecnej od 2,35 do 2,47m. Natomiast oszacowana szerokość pasa terenu potrzebnego jako nowa terasa zalewowa położona na właściwej wysokości powinna wynosić nie mniej niż około 300m, czyli około dwukrotnie więcej niż obecne koryto w najszerszym miejscu i około siedmiokrotnie więcej od docelowej szerokości koryta meandrującego.

Powstanie takiego wydłużonego i krętego koryta w najbliższej przyszłości bez interwencji technicznej jest mało prawdopodobne. W dłuższej perspektywie jest to możliwe do zrealizowania bez znaczącej interwencji technicznej, jeśli pozwoli się działać procesom korytowym i przyrodniczym w sposób jak najmniej skrepowany. **Najistotniejsze dla uzyskania równowagi jest zabezpieczenie dla rzeki jak największej szerokości pasa swobodnej migracji koryta, jak największa dostawa rumowiska do koryta, oraz właściwe (grube) uziarnienie osadów w rejonach bystrzy.**

Analiza map historycznych wskazuje, że górna Raba na początku XX wieku była rzeką o rozplecionym korycie, uważanym wtedy, a także czasami obecnie, za koryto niebezpieczne. Rozpleciony charakter koryta Raby był wtedy wynikiem wycinki lasów i rolniczego zagospodarowania stoków w zlewni, co wiązało się ze zwiększoną dostawą rumowiska do rzeki i zagrażało nagłym przerzucaniem koryta w inne miejsce doliny. Uznano, że regulacja koryta, polegająca na jego wyprostowaniu i umocnieniu brzegów, rozwiąże problem nadmiaru rumowiska w korycie i rzeczywiście, aktualnie występują jego braki, a w konsekwencji koryto staje się wcięte i bardziej pojemne. To z kolei powoduje, że przepływy brzegowe stają się większe od przepływów pozostających w równowadze z uziarnieniem osadów dennych. Rzeką podczas wezbrań wypełniających koryto lub większych eroduje dno, a wtedy sztuczne umocnienia brzegowe oraz korzeni drzew na terasie zalewowej ulegają zawieszeniu ponad nurtem i nie są w stanie osłonić brzegów przed erozją.

⁹ Projekt „Tarliska Górnej Raby”, finansowany z Funduszu Szwajcarskiego, realizowany przez Stowarzyszenie Ab Ovo, wykonawca: Ove Arup & Partners Ltd., Polska

W wyniku analizy zalecono wyznaczenie **korytarza swobodnej migracji koryta Raby**, który ma być realizowany planistycznie, z umocnieniem granic korytarza przyległych do koryta odpowiednimi pasami z gruntu skalistego, które mają mieć działanie przeciwerozyjne. Na granicach korytarza z dala od koryta rzeki planowane są nasadzenia drzew wchodzących w skład grądów, które powinny górować ponad terasą zajęta głównie przez łągi i zarośla wierzbowe i działać przeciwerozyjnie po kilkudziesięciu latach od czasu zasadzenia.

Koncepcja korytarza swobodnej migracji po raz pierwszy w Polsce została zrealizowana przez WWF w przygranicznych meandrach Odry [5]. Jest także obecnie realizowana przez RZGW Kraków w ramach projektu Infrastruktura i Środowisko: „Przywrócenie drożności korytarza ekologicznego doliny rzeki Biała Tarnowska”. Sam pomysł prezentowany w [1] polega na zastąpieniu budowli regulacyjnych koryta rzeki przez ewentualne umocnienie skrajów terasy zalewowej, lub innej wyznaczonej linii, która odgranicza przestrzeń rzeki od przestrzeni cywilizacyjnej. Zaletą tej koncepcji jest to, że rzeka sama się kształtuje oraz ewentualnie dopasowuje do niewielu więzów, co znacznie ogranicza ilość robót, które należałoby wykonać, gdyby trzeba było „wybudować” nowe, zrehabilitowane koryto. W przypadku Raby na odcinku od Lubnia do Krzczonowa naprawienie wciętego koryta wiązałoby się z dowiezieniem około 160 tys m³ żwiru i rumoszu skalnego – lub z wykopaniem żwirów i gruntów spoistych w ilości około 320 tys m³ dla ustanowienia terasy zalewowej o odpowiednim położeniu. W przypadku realizacji koncepcji korytarza swobodnej migracji proces redystrybucji rumowiska wleczonego rozciągnąłby się na wiele lat, kompensując braki rumowiska w odcinkach koryta Raby poniżej, a prace zabezpieczające planowane na teraz nie przekraczają dowiezienia około 10 tysięcy m³ rumoszu skalnego. Dla wykonania prac budowlanych należałoby wywłaszczyć w krótkim okresie czasu wielu właścicieli działek nadbrzeżnych – natomiast w powolnym procesie zajmowania terenu przez rzekę proces odszkodowawczy rozciągnięty jest na lata i dotyczyłby tylko gruntów rzeczywiście zajętych przez wody płynące.

9. WNIOSKI

9.1. We wszystkich analizach dokonywanych przy udziale autora referatu związanych z określaniem przyczyn szkód powodziowych lub przewidywaniem scenariuszy powodziowych okazało się w praktyce, że koryta podgórskich rzek i ich górskich dopływów są wcięte, co ogranicza częstość wylewania wody z koryt, ale znacznie zwiększa jednostkową moc strumienia w przekrojach. Ta zwiększona moc strumienia

jest odpowiedzialna za nadmierną erozję i zniszczenia w zabudowie. Brak zrozumienia tej zależności utrudnia zabezpieczenie właściwej przestrzeni dla rzek, co jest niekorzystne zarówno z punktu widzenia ryzyka powodziowego jak i dla ochrony środowiska.

- 9.2.** Mimo niedoboru rumowiska w korytach potoków i rzek górskich stale obserwuje się eksploatację żwirów i kamieni z koryt, która dodatkowo narusza bilans wleczonego rumowiska w dynamicznych procesach korytowych i w ten sposób przyczynia się do zwiększania ryzyka powodziowego.
- 9.3.** Zabudowa cywilizacyjna zawęża szerokość teras zalewowych rzek, a obiekty mostowe i przepusty lokalnie zawężają koryta. W tym sensie należy rozpatrywać infrastrukturę jako uszkodzenie doliny i ciek. Jeśli uzna się, że dla kontrolowania interakcji pomiędzy budowlą a przyrodą naprawie podlegać powinna rzeka, to powinno się to odbywać na zasadach i według równań opisujących stan równowagi elementów przyrody, w tym przypadku według metod geomorfologii fluwialnej, a nie według metod i przepisów właściwych budownictwu.
- 9.4.** Zastosowanie metod geomorfologii fluwialnej daje możliwość monitorowania, programowania, planowania i realizacji nie opartych o konieczność projektowania i wykonania lub remontu budowli hydrotechnicznych. Jeśli w wyniku analizy geomorfologicznej konieczność wykonania budowli stanie się ewidentna, może ona być wtedy lepiej dostosowana do charakterystycznych warunków lokalnych (typ koryta, odległość między koronami bystrzy itp.), parametryzowanych wielkościami łatwymi do określenia według tych metod.
- 9.5.** Mechanizm niszczenia zabudowy w terenach górzystych polega na erozji dennej uregulowanego lub ograniczonego przestrzennie cieku w strefie powstających naturalnych bystrzy, braku dostaw rumowiska o właściwym uziarnieniu, a w konsekwencji, w następstwie zwiększenia jednostkowej mocy strumienia, do erozji bocznej będącej bezpośrednim powodem niszczenia zabudowy. Odpowiednio wczesne monitorowanie przekształcania się przekroi brzegowych na bystrzach umożliwi zastosowanie wczesnych inżynierskich zabiegów utrzymaniowych, nie mających charakteru robót budowlanych, które mogą być znacznie tańsze od remontu budowli umocnień brzegowych czy zabezpieczenia infrastruktury.
- 9.6.** Zastosowanie monitoringu opartego o metody geomorfologiczne pozwoli uniknąć błędów oceny wizualnej stanu wód i powinno być podstawą planowania zabezpieczenia przed klęskami żywiołowymi.

9.7. Przepisy dotyczące ustalania przepływów miarodajnych w korytach powinny być dostosowane do obserwacji dotyczących stabilności naturalnych koryt. W konsekwencji, powinno się stosować do wymiarowania lub monitorowania koryt żwirodennych przepływy miarodajne nie przekraczające zakresu $Q_{80\%}$ do $Q_{50\%}$, dodatkowo w dostosowaniu do uziarnienia rumowiska dennego mierzonoego według ISO 9195:1992(E) (próbka zbierana ilościowa). Przekroje kontrolne powinny być lokalizowane na koronach naturalnych bystrzy. W korytach typu A i B według Rosgena przepływ miarodajny powinien wynosić $Q_{1\%}$, chyba że możliwe jest „dobudowanie” terasy zalewowej ograniczającej wielkość przepływu pełnokorytowego. Ewentualne budowle zabezpieczające przed powodzią wewnątrz tych koryt powinny być zgodne z „Wytycznymi do realizacji obiektów małej retencji w górach” [14].

LITERATURA

1. Bojarski A., Jeleński J., Jelonek M., Litewka T., Wyżga B., Zalewski J.: **Zasady dobrej praktyki w utrzymaniu rzek i potoków górskich**. MŚ Departament Zasobów Wodnych, Warszawa 2005
http://www.krakow.rzgw.gov.pl/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=71&Itemid=293&lang=pl
2. Jeleński J.: **Droga i jej odwodnienie jako trwałe uszkodzenie doliny i łożyska ciek**. Zeszyty Naukowo-Techniczne SITK RP, Oddział w Krakowie, seria: Materiały Konferencyjne nr 62/2004 (Zeszyt 112) (115-135) <http://www.jot-raba.az.pl/pdf/sitk.pdf> , http://www.jot-raba.az.pl/pdf/sitk_ilustracje.pdf
3. Jeleński J., Gatkowska-Jeleńska D.: **Zastosowanie równań równowagi cieków żwirodennych dla zachowania naturalnego otoczenia dróg**. Zeszyty Naukowo-Techniczne SITK RP w Krakowie, seria: Materiały Konferencyjne nr 85/2008 (zeszyt 141) (57-84). <http://www.jot-raba.az.pl/pdf/koryta.pdf>
4. Jeleński J., Gatkowska-Jeleńska D.: **Wykorzystanie metod geomorfologii fluwialnej do planowania zabezpieczeń komunikacyjnych budowli liniowych przez powodzią w terenach górzystych**. Materiały Konferencyjne Polskiego Kongresu Drogowego, Zakopane, 30.03 do 1.04.2011 (133-153) http://www.jot-raba.az.pl/pdf/wykorzystanie_metod.pdf

5. Nieznański P., Wyżga B., Obrdlik P.: **Oder Border Meanders: A Concept of the Erodible River Corridor and its Implementation.** 4th ECRR Conference on River Restoration, Italy, Venice, 16-21 June 2008
6. **Przyjazne naturze kształtowanie rzek i potoków – praktyczny podręcznik.** Polska Zielona Sieć, Wrocław – Kraków 2006 <http://www.zielonasiec.pl/Przyjazne-naturze-ksztaltowanie>
7. **Poradnik utrzymania i ochrony siedlisk oraz gatunków Natura 2000.** Ministerstwo Środowiska 2004-2005, <http://natura2000.gdos.gov.pl/natura2000/pl/poradnik.php#2>
8. Rohde S., Hostmann M., Peter A., Ewald K.C.: **Room for rivers: an integrative search strategy for floodplain restoration.** Landscape and Planning 78, 2006 (50-70) Elsevier Science Direct, <http://www.elsevier.com/locate/landurbplan>
9. Rosgen D. L.: **A Geomorphological Approach to Restoration of Incised Rivers.** Proceedings of the Conference on Management of Landscapes Disturbed by Channel Incision. S.S.Y. Wang, E.J. Langendoen and F.D. Shields, Jr (eds) 1997
10. Thorne C. R., Hey R. D., Newson M. D.: **Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management.** Wiley, Chichester 1997
11. Wyżga B.: **Regulacja koryt karpackich dopływów Wisły – ocena działań inżynierskich w świetle wiedzy geomorfologicznej i sedymentologicznej.** Czasopismo Geograficzne, **72(1)**: (23-52). 2001
12. Wyżga B., Amirowicz A., Radecki-Pawlik A., Zawiejska J.: **Hydromorphological Conditions, Potential Fish Habitats and The Fish Community in a Mountain River Subjected to Variable Human Impacts, the Czarny Dunajec, Polish Carpatians.** River Research and Applications (2009), (<http://www.interscience.wiley.com>) DOI: 10.1002/rra1237
13. Wyżga B., Hajdukiewicz H., Radecki-Pawlik A., Zawiejska J.: **Eksploracja osadów z koryt rzek górskich – skutki środowiskowe i procedury oceny.** Gospodarka Wodna **6/2010** (243-249). 2010
14. **Wytyczne do realizacji obiektów małej retencji w górach.** Centrum Koordynacji Projektów Środowiskowych 2010. <http://www.ckps.pl/projekty,pgl,lp/retencja,na,terenach,gorskich/wytyczne,do,realizacji,objektow,malej,retencji,w,gorach.html#ak21410>
15. Żelazo J., Popek Z.: **Podstawy renaturyzacji rzek.** Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2002. <http://www.wydawnictwosggw.pl/index.php?s=karta&id=90>