

**KRZYSZTOF BIERNAT**

Instytut Ekologii i Bioetyki, UKSW, Warszawa

**JOANNA PYTLAK**

Instytut Ekologii i Bioetyki, UKSW, Warszawa

## **Proces modelowania spływów wodnych**

**Słowa kluczowe:** ciek wodny, koryto rzeki, bieg rzeki, regulacja  
**Key words:** watercourse, riverbed, course of the river, regulation

Proces regulacji rzeki należy rozpocząć od zbadania morfologii rzeki, dynamiki i jej naturalnego biegu. Należy również określić cel i zadania, jakiemu ma służyć ta ingerencja. Trzeba także dostosować odpowiednią technikę regulacji dla danego typu rzeki.

### **1. Morfologia rzek i ich naturalne kształtowanie**

Rzeką nazywamy naturalny ciek, który zasilany jest wodami opadowymi i roztopowymi z danej zlewni lub dorzecza. Kieruje je do odbiornika, którym może być rzeka, jezioro, morze bądź też ocean. Rzeka płynie korytem pod wpływem siły ciężkości i spadku terenu i jest elementem morfologicznym, umożliwiającym odprowadzenie wód. Typowa zlewnia rzeki obejmuje również dolinę zalewową, nadrzeczną, ewentualnie pagórki, wzgórza i góry. (Bednarczyk, Duszyński 2008: 15)

Doliną rzeki nazywamy obszar po jej obu brzegach, który ukształtował się w trakcie epok geologicznych. Pokryta jest ona materiałem skalnym niesionym przez rzekę. Wspomniane wcześniej koryto rzeki określane jest jako łóżysko średniej wody. Część koryta wypełniona wodą nawet przy najniższych stanach wody to łóżysko małej wody.

Natomiast w okresie wezbrań zostaje zapełniony tak zwany taras zalewowy. Wówczas łożysko, które obejmuje również tereny zalewowe określa się łożyskiem wielkiej wody. Przekrój poprzeczny łożyska może być zwarty lub rozległy. W przypadku rzek płynących przez tereny górskie, gdzie brzegi są strome, a teren zalewowy niewielki, zaciera się granica między łożyskiem średniej wody (korytem właściwym) a łożyskiem wielkiej wody. Kształt koryta właściwego zależy od ilości wody i spadku terenu. Niewielki spadek i towarzyszący temu wzmożony przepływ przyczyniają się do poszerzania się koryta głównego. (Dębski 1978: 22-23)

Analizując elementy hydrologiczne i morfologiczne zlewni i koryta właściwego, cieki można podzielić na: bystrotoki, potoki górskie, potoki, rzeki i rzeki duże. Pierwsze z nich są niewielkimi, górkimi ciekami bądź najwyższymi fragmentami dłuższych cieków, które mają nieregularny spadek podłużny i zmienny przekrój poprzeczny. Zwykle ich koryto umieszczone jest w wyżłobieniach i szczelinach skalnych. W wyniku niesprzyjających warunków do utworzenia regularnego koryta powstają na przykład wodospady. Bystrotoki są rodzajem cieku, który w wyniku nawałnych deszczy zwiększa gwałtownie stany wody, a w momencie ich zaprzestania szybko zmniejsza. Unoszą one duże ilości rumowiska skalnego, które przenoszone są do terenów niżej położonych i tam pozostawiane. (Wołoszyn, Czamara 1994: 14)

Zjawisko to szkodliwie wpływa na tworzenie koryta rzeczne w niższych partiach ze względu na zwiększoną erozję wgłębną. Potoki górskie różnią się jedynie tym, że mają już ustalone i ukształtowane doliny rzeczne, zauważalny jest tutaj nadal duży spadek podłużny i ruch rumowiska. Potoki to cieki charakteryzujące się łagodnym spadkiem i mniejszym ruchem rumowiska. Stany wody są bardziej ustabilizowane ze względu na zwiększoną retencję i parowanie, wynikające z mniejszego spadku terenu. Kolejny rodzaj cieku to rzeki, charakteryzujące się wyrównanym spadkiem dna, ale też większymi przepływami niż potoki. Mniejsze ziarna rumowiska skalnego jak żwir i piasek są zwykle unoszone lub wleczone, większe natomiast przenoszone są w momencie wezbrania wód. Wysokie stany wód obserwowane są jedynie w wyniku długotrwałych deszczów i roztopów śniegu.

Rzeki duże natomiast to największy typ cieków, których wpływają bezpośrednio do morza lub oceanu. Są to cieków mające długość przynajmniej 500 km, o rozbudowanych zlewniach i wysokich przepływach. (Wołoszyn, Czamara 1994: 14)

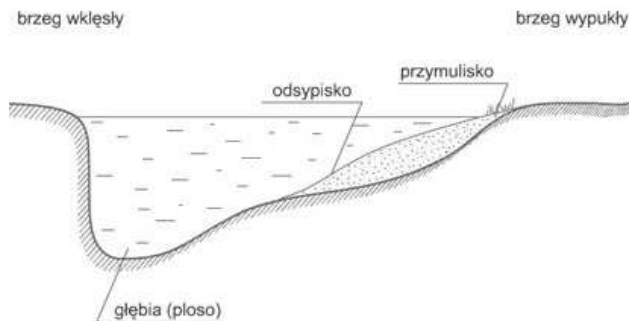
Warto również nadmienić o budowie koryta rzeki równinnej i nizinnej. Koryto rzeki równinnej zwykle obejmuje dolinę zalewową, zdarza się jednak, że meandruje od wysokiego do niskiego brzegu. Charakteryzuje się ono zwykle stabilnością, jednakże w momencie wezbrania występują duże zachwiania w proporcjonalności przepływu. Koryto rzeki nizinnej zbudowane jest zwykle z drobnych piasków, często porośnięte roślinnością, która może utrudniać rzece spływ, przyczyniając się do popiętrzenia wód. (Bednarczyk, Duszyński 2008: 17)

W każdym z wymienionych naturalnych cieków można wyróżnić źródło cieków, górny, średni i dolny bieg oraz ujście. Istnieją różne rodzaje źródeł cieków: gruntowe, z lodowca oraz z jeziora bądź bagien. W przypadku górnego cieków, jego cechą charakterystyczną jest największy spadek podłużny spośród pozostałych części cieków. Na tym odcinku, ze względu na dużą prędkość przepływu i spadek dna, istnieje najsilniejsza erozja boczna i wgłębna. Średni bieg charakteryzuje się mniejszym spadkiem i mniejszym przepływem. Rumowisko skalne może być gromadzone w korycie cieków bądź też prowadzone na dalsze odcinki. Kiedy ilość rumowiska doprowadzanego z odprowadzaniem nie jest zrównoważona, wówczas koryto na tym odcinku zmienia swój przekrój. Dolny bieg cieków cechuje się małym spadkiem dna i małą prędkością przepływu, co wiąże się z akumulacją rumowiska skalnego i podnoszeniem się dna. Ujście cieków to ostatni odcinek biegu danego cieków, od tego punktu określana jest długość cieków. Ujścia mogą być zwykle w kształcie leja, gdzie jest ono wcięte w łąd bądź delty o rozgałęzionym dolnym biegu cieków. Określona budowa ujścia wiąże się z ilością rumowiska i umiejętnością przyjęcia go przez prądy morskie lub odbiornik. Sprawne odbieranie rumowiska i pływy morskie zwykle służą powstawaniu ujścia w kształcie leja, natomiast w przeciwnym razie powstaje delta. (Wołoszyn, Czamara 1994: 20-21)

Każdy bieg rzeki charakteryzuje się tym, że nie płynie w linii prostej, lecz w tzw. linii rozwiniętej. Rozwinięciem koryta rzeki nazywany

jest stosunek długości koryta do długości doliny, rozwinięciem doliny – stosunek długości doliny do odległości jej punktu początkowego i końcowego, natomiast stosunek długości koryta do długości zlewni określane jest jako rozwinięcie rzeki.

Dalsza część będzie dotyczyła działalności rzeki. Jak już wcześniej wspomniano kręty bieg rzeki jest naturalny i wraz ze wzrostem długości rzeki rosną jej zakola, jest ich więcej. Wynika z tego też, że mniejsze rzeki mają zakola dużo mniejsze. Kąty towarzyszące łukom koryta są różne, można je podzielić na kąty 90-180° oraz powyżej 180°. W pierwszym przypadku ruch rzeki określany jest jako serpentynowanie, natomiast powyżej kąta półpełnego jest to meandrowanie rzeki. Istnieje też pewna zależność w układzie łuków na rzece. Po skręcie w prawo następuje skręt w lewo i jest to cykliczna zmiana, obserwowana w każdej rzece. Również zakręty rzeki powodują, iż można wyróżnić brzeg wklęsły i wypukły. Ta prawidłowość w rzece przyczynia się do powstawania różnych form morfologicznych jak odsypiska, przymuliska czy wyspy, co pokazane jest na rys.1. Warto też wprowadzić pojęcie nurtu rzeki, czyli pasma największej prędkości w korycie rzeki. Nurt rzeki zbliża się za każdym razem bardziej do brzegu wklęsłego, a oddala się od brzegów wypukłych. (Dębski 1978: 23)



Rys. przekrój poprzeczny zakola rzeki

Rys.1 Charakterystyczne elementy koryta rzecznego (Web-01)

Płoso (głębia) jest głębokim odcinkiem biegu rzeki, położonym między dwoma przejściami nurtowymi. Przejście natomiast to część rzeki o mniejszej głębokości, gdzie jest zmiana nurtu od jednego brzegu do drugiego. Odsypisko to określenie odkładanego rumowiska np. piasku czy też żwiru w korycie rzeki. Przymulisko jest rodzajem odsypiska powstającego przy wypukłym brzegu rzeki. (Dębski 1978: 26)

Należy nadmienić tutaj o ruchu spiralnym rzeki i jej prądach. Cząsteczki wody poruszają się w linii śrubowej, ale ze względu na zmiany promienia krzywizny ruch ten odbywa się po spiralach. Poruszające się wzdłuż spirali prądy kierowane są w różne strony: do dołu, do góry, w stronę brzegów lub też do środka rzeki. Można je podzielić na prądy złobiące, które erodują koryto przy brzegu wklęsłym, zwiększając erozję przy bardziej stromych brzegach. Natomiast prądy nanoszące przyczyniają się do powstawania odsypisk na brzegu wypukłym. (Dębski 1978: 31)

Łożyska rzeczne zbudowane są z rozdrobnionych fragmentów skalnych tzw. aluwii, które powstały na skutek procesów wietrzenia oraz erozji. Odlamki skalne trafiają do rzeki i są rozdrabnianie i rozcierane przez wodę. Dostają się one do rzeki w wyniku wezbrań wynikających często z nawalnych deszczy. Rumowisko może być wleczone bądź też oderwane od dna i unoszone. (Dębski 1978: 32-33)

Przy małych prędkościach przepływu rzadko występuje ruch rumowiska wleczonego, dno jest wtedy płaskie. Większy ruch cząstek skalnych powoduje powstawanie na dnie koryta zmarszczek bądź fałd. Przeprowadzone badania wskazują, że wspomniane formy dennie powstają w wyniku niestabilnego ruchu cieczy, który wywołany jest zmienną prędkością rumowiska skalnego, poruszającego się przy dnie. (Bednarczyk, Duszyński 2008: 24)

Warto nadmienić również o tworzeniu się tzw. wędrujących ławic. Zwykle, gdy przekroje i krzywizny rzeki są dopasowane do specyfiki danej rzeki, to rumowisko skalne odkłada się na wypukłych brzegach. Przy niskich stanach wody nurt opływający odsypisko od dolnej strony stopniowo je zabiera, od strony górnej rzeka przynosi nowy materiał skalny. Wezbrania wód powodują, że rzeka wprawia w ruch cząsteczki rumowiska od strony dopływu i transportuje je ponownie wzdłuż

odsypiska. Występujące naturalnie naprzemienne wysokie i niskie stany wody poruszają odsypiskiem, raz w górę, raz w dół, jednak pozostaje ono nadal blisko wypukłego brzegu. Zdarza się jednak, że odsypisko nie jest w stanie utrzymać się w jednym miejscu ze względu na zbyt małą szerokość koryta rzeki bądź krzywizny bądź też zbyt długie proste odcinki rzek przy nadmiernym wyprostowaniu biegu rzeki. Wtedy powstają odsypiska ruchome zwane wędrującymi ławicami. W wyniku skrócenia biegu rzeki w korycie rzeki tworzy się wiele takich ławic, które często wzniesione są ponad wodę. Powoduje to, że przejścia nurtowe pomiędzy ławicami są płytkie, co jest problematyczne dla żeglugi. (Dębski 1978: 36-37)

Warto również wyjaśnić, co prowadzi do tego, że brzeg wklęsły jest bardziej erodowany od wypukłego. Wynika to bowiem z siły odśrodkowej, która prowadzi wodę w stronę brzegu wklęsłego, która go podmywa. Rumowisko, jak już wcześniej wspomniano odkładane jest natomiast na brzegu wypukłym. Skutkiem sił, działających w wyniku krzywoliniowego biegu rzeki są duże zmiany głębokości. Prawo dotyczące formowania głębokości określił L. Fargue. Wynika z niego, że na łukach powstają największe spadki dna, czyli największe głębokości. Gdy krzywizny zanikają, czyli na prostych odcinkach, głębokości dna wyrównują się, a spadki dochodzą do tzw. spadku hydraulicznego. Wraz ze wzrostem erozji brzegu nasila się działanie siły odśrodkowej, która rośnie również w momencie wezbrań. W wyniku długotrwałej erozji bocznej powstają coraz większe krzywizny, zakola, następnie serpentyny, które prowadzą do meandrowania rzeki. Wody rozrywają meandry, powstają starorzecza wypełnione wodami, natomiast rzeka w ten sposób kształtuje swoje nowe koryto. Wnioskiem tych rozważań może być fakt, iż przyroda zawsze dąży do stanu równowagi. Należy również wspomnieć o pewnej zasadzie, która jest podstawą regulacji rzek na niską i średnią wodę oraz na wody wezbraniowe (powodziowe). Przy małych przepływach rzeka ma tendencję do meandrowania, natomiast podczas wezbrań woda płynie prosto, często niszcząc zakola. (Dębski 1978: 23)

### 1.1. Stosunki wodne w cieku

Rzeki często zasilane są wodą z tzw. mikrosieci hydrograficznej, która istnieje głównie w czasie większych opadów deszczu lub topnienia śniegu. Sieć ta powstaje w momencie, kiedy woda z opadów nie mogła już pozostać na powierzchni roślin bądź też nie wsiąkła w grunt i spływa po powierzchni terenu. Mówiąc bardziej ogólnie, powstaje ona wtedy, gdy ilość opadów, czy też topniejącego śniegu jest dominująca w stosunku do możliwości wsiąkania wody w grunt. Rzeki zasilane z wspomnianej mikrosieci hydrograficznej powodują wzrost stanów wody, co wiąże się z wystąpieniem stanów powodziowych. Ten typ zasilania rzeki określany jest jako zasilanie powierzchniowe lub alimentacja powierzchniowa. W przypadku, gdy woda wsiąknie w grunt do miejsc niżej położonych, a następnie po pewnym czasie, w wyniku podwyższenia wód gruntowych wypłynie na powierzchnię, również może zasilić rzeki i potoki. Zasilanie to nazywamy zasilaniem gruntowym lub alimentacją gruntową. Stany wody zmieniają się w ciągu roku, zależne są od typów zasilania cieku i od tego jaki rodzaj dominuje. Nauką zajmującą się alimentacją rzek i potoków i jej zmianami na przestrzeni czasu zajmuje się hydrologia, a dokładniej mówiąc potamologia. Dla regulacji rzek niezwykle istotny jest rodzaj i przebieg zasilania danego cieku. Najważniejsze są tutaj stany wód i przepływy na danym odcinku rzeki oraz wzajemne stosunki przepływu największego, średniego i najmniejszego, a także stanu wody najwyższego, średniego i najniższego. (Wołoszyn, Czamara 1994: 21)

Do obserwacji stanów wody wykorzystywane są wodowskazy łutowe lub limnigrafy-urządzenia automatyczne, same zapisujące stan wody. Poziomem odniesienia jest poziom zerowy podziałki na wodowskazie, tzw. zero wodowskazu. Zero wodowskazu obiera się zwykle poniżej dna koryta rzeki i określa się jego rzędną, czyli wysokość nad poziomem morza. Miejsce, w którym prowadzone są obserwacje stanów wody, nazywa się posterunkiem wodowskazowym. Instytucją odpowiedzialną za zbieranie, gromadzenie i udostępnianie informacji o stanach wody jest Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Odpowiednią obserwację stanów wody uzupełniają informacje uży-

skane ze specjalnych wodowskazów, umieszczanych pomiędzy głównymi, które są dopełnieniem dla utrzymania lub regulacji rzeki. Nie podlegają one IMGW, tylko innym administratorom bądź użytkownikom. Analogiczne znaczenie mają znaki, umieszczane na mostach bądź bulwarach, z powodzi, które w sposób szczególny należało upamiętnić. (Wołoszyn, Czamara 1994: 22)

Dla danego okresu obserwacji (rok, miesiąc, półrocze, okres żeglugi) można wyróżnić stany I stopnia: niski, średni i wysoki. Ze stanów I stopnia można wyodrębnić stany II stopnia: NW (stan najniższy), SNW (stan średni niski, średni arytmetyczny z najniższych), SSW (stan średni), SWW (stan średni wysoki, średni arytmetyczny z najwyższych) i WW (stan najwyższy). Oprócz wymienionych wyżej stanów są również stany ekstremalne jak stan absolutnie najniższy i stan absolutnie najwyższy, które wyznaczają przedział zmienności dla wszystkich stanów. Stan średni niski i średni wysoki można określić za pomocą pewnych wskazówek, bez konieczności obserwacji. Pierwszy utrzymuje się na granicy porostu skarpy i lustra wody, drugi natomiast wypełnia koryto do terenu, bez występowania wody z brzegów.

Istnieją również tzw. stany umowne, które służą do realizowania zadań technicznych przy gospodarowaniu wodami w cieku: stan wody brzegowej, korytotwórczy, najwyższy stan żeglugowy, normalny stan regulacji, stan alarmowy, ostrzegawczy oraz najwyższy stan roboczy. Stan wody brzegowej określa stan, podczas którego woda wypełnia główne koryto do krawędzi brzegów, a po jego przekroczeniu woda opuszcza koryto. Stan korytotwórczy dotyczy najbardziej odpowiedniego poziomu przepływu, dzięki któremu zachodzi proces formowania koryta cieku. Najwyższy stan żeglugowy to ostateczny stan, przy którym rzeka może służyć celom żeglugowym, gdzie jest on określany dla każdego odcinka osobno ze względu na przepływ, rodzaj statków oraz wysokości mostów. Normalny stan regulacji określany jest dla potrzeb wznoszenia budowli regulacyjnych i jest to stan ostateczny dla tego celu. Stan alarmowy wyznacza odpowiednia jednostka administracyjna wodna, jego ogłoszenie wiąże się z koniecznością prowadzenia skrupulatnych obserwacji poziomu wody w cieku i często wzmoczonej ochrony przeciwpowodziowej. Stan ostrzegawczy na-



tomiast występuje przed stanem alarmowym, a jego ogłoszenie może wskazywać, że nastąpi również stan kolejny. Najwyższy stan roboczy to stan, do którego możliwe są prace regulacyjne na cieku, a które zostają wstrzymane po jego przekroczeniu, do momentu przejścia fali. (Wołoszyn, Czamara 1994: 23)

Codziennie obserwacje z danej ilości lat są zbierane i powstają statystyki, wykorzystywane do tworzenia krzywej częstości i krzywej sumy czasów trwania stanów wody. Wymienione krzywe służą natomiast do określenia stanu najdłużej trwającego oraz stanu n-dniowego (o określonym czasie trwania, ze stanami wyższymi lub niższymi). Ze stanów n-dniowych istotny jest 182,5 dniowy czyli mediana, ponieważ odpowiada określeniu wody normalnej, czyli średniego stanu z danego roku.

Nieodłącznym elementem projektu regulacji rzeki są dane, które można odczytać z wykresu częstości i trwania stanów wody. Należy otrzymane informacje o stanach wody porównać do stanów z innych okresów, dokonać analizy i określić konieczność redukcji do pożądanej wielkości. Specjaliści wskazują, że nie ma idealnej metody redukcji, ale najbardziej pewną jest redukcowanie stanów według pomiarów natężenia przepływu, pod warunkiem prowadzenia systematycznych pomiarów. (Wołoszyn, Czamara 1994: 25-26)

Charakteryzując stosunki wodne w cieku należy również nadmienić o kształtowaniu się przepływów. Zwykle zmiany stanów wody i natężenia przepływów są takie same: wspólnie rosną lub maleją. Trzeba jednak zaznaczyć, że dzieje się tak jedynie w przypadku, gdy łóżysko rzeki jest niezmiennie. Gdy koryto poddawane jest zarastaniu, zmianie kształtu czy też przebudowie, wówczas prawidłowość ta zostaje zachwiana. Jednak trzymając się zasady zgodności stanów wody i przepływu, do ustalenia stosunków wodnych w cieku należy wykorzystać informacje o stanach wody i związanej z nimi krzywej natężenia przepływu. Ze wspomnianej krzywej można odczytać odpowiadające stanom II stopnia przepływu: NQ – przepływ najniższy i niska woda, SNQ – przepływ średni niski, średnia niska woda, SSQ – przepływ średni, średnia woda, SWQ – przepływ średni wielki, średnia wielka woda oraz WQ – przepływ wielki, wielka woda. Można również wyróż-

nić przepływ absolutnie najmniejszy – NNQ i absolutnie największy – WWQ. Do określania zmiany natężenia przepływów wykorzystywana jest często statystyka matematyczna i rachunek prawdopodobieństwa. (Wołoszyn, Czamara 1994: 25-26)

Przebieg stanów wody i przepływów uzależniony jest od okresów zasilania cieków (z opadów płynnych, stałych lub z lodowców), a także od pokrycia glebowego, roślinności i nachylenia stoków na danym terenie. Wynika z tego, że stany wody i natężenie przepływów w ciągu roku są uwarunkowane głównie wielkością i natężeniem opadów oraz warunkami spływu wody do koryta rzecznego z okolicznych terenów.

Można wyróżnić trzy rodzaje rzek ze względu na sezony hydrologiczne: pojedyncze, złożone i zmienne. Typ pojedynczy charakteryzuje się dwoma sezonami hydrologicznymi: obfitym i ubogim sezonem odpływu. W ciągu roku można zaobserwować jedno maksimum i jedno minimum, a wezbranie raz w roku, zwykle w tym samym czasie. Typ złożony składa się z dwóch lub trzech sezonów intensywnego zasilania i z tylu samych maksimum i minimum. Natomiast typ zmienny występuje w rzekach, płynących przez tereny różnorodnych warunków klimatycznych. Polskie rzeki ze względu na posiadanie minimum dwóch okresów zasilania należą do typu złożonego lub zmiennego. Najczęściej występuje zasilanie z roztopów śnieżnych, ale też z intensywnych deszczów wiosennych, letnich i jesiennych. Zasilanie deszczowe często przyczynia się do zmienności przepływów. Warto też zaznaczyć, że wszystkie duże rzeki płyną z południa na północ, co jest przeszkodą dla spływu wód roztopowych, w tym kry lodowej, której spływ ma swój początek zwykle w górnym i środkowym biegu. W Polsce jest też kilka istotnych dla regulacji okresów hydrologicznych: rok hydrologiczny od 1.11 do 31.10, okres wegetacyjny od 15.04 do 31.10 oraz okres żeglugi od 15.03 do 15.12. (Wołoszyn, Czamara 1994: 28-29)

Powyższe informacje wskazują, że Polska jest obszarem zmiennym i często nieprzewidywalnym pod względem hydrologicznym. Intensywne opady deszczów wiosennych, letnich, jak i jesiennych skutkują wyższym stanem wód i wzrostem natężenia przepływu wód, co jak już wspomniano jest ze sobą powiązane. Być może jest to pe-

wien sygnał, iż należy w określony sposób kontrolować stan i przepływ wód. Ale czy jesteśmy w stanie kontrolować przyrodę?

## 1.2. Cele i zadania regulacji rzek

W dzisiejszych czasach przyroda jest niezwykle cenionym dobrem, im człowiek bardziej o nią dba, tym staje się bardziej świadomy swojej przyszłości. Z tego też powodu w społeczeństwie istnieje coraz większe przeświadczenie o konieczności zachowania naturalnego stanu środowiska. Istnieje nierozzerwalny związek pomiędzy przyrodą a człowiekiem. Za przykład może tu posłużyć fakt, iż ludzie od dawna osiedlają się w dolinach rzek, wiążąc swoją przyszłość z dobrami, oferowanymi przez te żyzne tereny. Rzeka z jej korytem i otaczającą doliną to symbol autonomii przyrody, która często przyczynia się do ograniczenia wolności człowieka. Warto o tym pamiętać, podejmując decyzje związane z ingerencją człowieka w przyrodę. Należy wówczas przeanalizować wszystkie możliwe rozwiązania, będące z najmniejszą szkodą dla przyrody, gdzie nie zawsze będzie to brak ingerencji.

Warto zastanowić się jaki jest cel i zadania regulacji rzek oraz jakie konsekwencje niesie to działanie za sobą dla dynamiki rzeki i jej doliny.

Regulacja rzek określa zaplanowane zabiegi hydrotechniczne, służące dostosowaniu łóżyska rzeki do konkretnego celu. Zwykle regulowanie koryta rzecznoego polega na przystosowaniu go do przepuszczania ustalonych przepływów i dokonaniu zabiegów, zapobiegających erozji bocznej i wgłębnej koryta. Określenie konkretnej wielkości przepływu w rzece wiąże się z ochroną przeciwpowodziową. (Wołoszyn, Czamara 1994: 11)

Na wysokości Torunia w roku 1994 przepływ maksymalny w Wiśle wynosił  $Q_{max}=6900 \text{ m}^3$ , natomiast  $Q_{min}=234 \text{ m}^3/\text{s}$ , co wskazuje na różnicę około 30-krotną. Takie różnice przepływu są częstą przyczyną nagłych wezbrań, co wiąże się z wystąpieniem wody z koryta rzeki. Wisła na wysokości Torunia jest rzeką uregulowaną w wyniku przemieszczenia piasku, co nadało płynności rzece oraz budowie ostróg, kierujących główny nurt do środka, co pozwalało na pogłębienie koryta do celów żeglugowych. Naturalne rzeki często charakteryzują się

różną głębokością koryta, co uniemożliwia żeglugę, dlatego też stosuje się różne zabiegi regulacyjne, aby dostosować rzekę do transportu śródlądowego. (Giziński, nr 11/2003: 470)

Newralgicznym celem regulacji jest zapobieganie negatywnej działalności rzek, czyli szkód wywoływanych przez zalewy powodziowe, erozję boczną oraz niszczenie użytków rolnych. Gwałtowne wezbrania są przyczyną wystąpienia rzeki z koryta, co powoduje, że zalewa ona okoliczne tereny, często ze szkodą dla ludzi i ich dobytku. Stabilizuje się więc wielkość przepływu w rzece między innymi poprzez odprowadzanie nadmiaru wody do zbiorników retencyjnych, magazynujących wodę w czasie wezbrania i systematyczne odprowadzających ją wówczas, gdy minie zagrożenie powodziowe. Tego typu zbiorniki zwykle budowane są w górnym biegu rzeki, natomiast tzw. zalewowe w dolnym ze względu na występujący tam płaski teren. Również do celów regulacji należy przeciwdziałanie erozji bocznej, podczas której podmywane są brzegi koryta, a odłamki skalne i piasek płyną ku dolnemu odcinkowi, utrudniając tym samym dalsze przemieszczanie się wody. Zablokowanie swobodnego przepływu wody wiąże się z powstawaniem gwałtownych wezbrań wód na niektórych odcinkach rzeki. Także istotnym celem regulacji jest zapobieganie dewastacji użytków rolnych w czasie wezbrań. Wody powodziowe powodują szkody zwykle na gruntach ornych, które są narażone zabagnienie lub procesy gnilne. Natomiast na łąkach zalewy są najbardziej niebezpieczne podczas sianokosów, ponieważ skoszona trawa może zostać zabrana przez wodę, ewentualnie ze względu na dużą wilgotność może zgnić. Łąki, które nie są ścięte są zagrożone zabrudzeniem i zamuleniem. Pozytywny aspekt zalewów może wystąpić poza okresem wegetacyjnym, kiedy woda nawilża glebę i ją użyźnia. (Wołoszyn, Czamara 1994: 11)

Do zadań regulacji cieków oprócz wspomnianych należy także dostosowanie do konkretnego poziomu wody gruntowej w gruntach przylegających poprzez podniesienie lub obniżenie wody w łożysku rzeki. Sterowanie stanem wody w rzece wiąże się z ochroną przeciwsuszą, ponieważ zbyt niski stan wody powoduje niski stan wód gruntowych, co sprzyja powstawaniu suszy. Również mała ilość wody nie sprzyja rozwojowi ichtiofauny, powoduje problemy z przemiesz-

czaniem się ryb. Kolejnym zadaniem regulacji rzek jest funkcja odbiornika w systemie odwadniającym cieku lub nawadniająca poprzez prowadzenie wody do miejsc tego potrzebujących. To zadanie wiąże się to jednak ze spiętrzeniem wody na danym poziomie, które czasem niesie za sobą negatywne skutki dla przyrody, o czym będzie mowa w dalszym rozdziale. Rzekę reguluje się również w celu wykorzystania energii wodnej, tworząc elektrownie wodne na cieku. Energia wodna należy do odnawialnych źródeł energii, dzięki której może być niwelowane wykorzystanie nieodnawialnych źródeł, których ilość jest ograniczona, a działanie niektórych z nich może powodować negatywne skutki dla środowiska.

Warto również nadmienić o sposobach wspomagających regulację. Jednym z nich jest wspomniana już budowa zbiorników retencyjnych, które mają za zadanie spowalniać odpływ ze zlewni oraz magazynować wodę. Podobne znaczenie dla cieku, jednak nie ingerujące w środowisko ma zalesianie zlewni. Powoduje ono lepsze wsiąkanie wody w glebę i lepsze zasilanie wód gruntowych, z których pobierana jest woda przez cieki powierzchniowe. (Wołoszyn, Czamara 1994: 12)

### 1.3. Techniki regulacji cieków wodnych

Mówiąc o regulacji cieków wodnych należy wyjaśnić dwie definicje: trasa rzeki i trasa regulacyjna. Pierwsza określa pas wody znajdującej się między naturalnymi brzegami rzeki, natomiast druga trasa wskazuje na obszar pomiędzy brzegami rzeki uregulowanej. (Dębski 1978: 131)

Istnieje również kilka zasad Fargue'a dotyczących projektowania regulacji rzek, z czego pierwsza zasada – przesunięcia mówi o tym, że największa głębokość w łóżysku rzeki jest poniżej największej krzywizny nurtu rzeki, a najmniejsza poniżej najmniejszej krzywizny. Z niej wynika też zasada głębokości, która wskazuje na to, że głębokość na łuku rośnie wraz z krzywizną. Kolejna zasada dotyczy długości łuków sugeruje, że aby stworzyć w rzece ustalone i w miarę stałe głębokości, to wielkości łuków muszą być dostosowane do szerokości koryta trasy regulacyjnej. Reguła ta zwraca uwagę na fakt, iż łóżysko rzeki uregulowanej powinno być dopasowane do jej naturalnego

przebiegu, również wielkości łuków powinny odzwierciedlać ich faktyczny stan. Na rzece mocno meandrującej powinno się zastosować długie łuki o krótkich promieniach, natomiast na długich prostych odcinkach dużych rzek nizinnych duże promienie. Niezwykle istotna jest też zasada ciągłości, która wskazuje, że aby nurt rzeki i układ koryta były odpowiednie, promienie łuku powinny zmieniać się nieustająco i naprzemiennie. Głębokość zmienia się w sposób regularny, jeśli tak samo rośnie krzywizna, natomiast wszystkie gwałtowne zmiany wiążą się z nagłą zmianą głębokości. Ważna, z punktu widzenia projektowania trasy regulacyjnej, jest też zasada spadku, w myśl której na ostrych łukach spadki powinny być większe niż na łukach łagodnych, a na prostych odcinkach spadek prawie zerowy. Niezbędne w projekcie jest również założenie mniejszej szerokości koryta na łukach niż na prostych odcinkach. Wiąże się to z tym, że na łukach wzrasta spadek i zwiększa się przepływ wody. Należy również pamiętać o tym, żeby zachować równowagę pomiędzy ruchem rumowiska skalnego, a erozją dna rzeki. Rumowisko skalne nie powinno być odkładane, ponieważ zmniejsza ono przepustowość koryta, jak również sprzyja erozji. Podsumowując kilka wspomnianych zasad, to przy projekcie regulacyjnym należy uwzględnić naturalny stan koryta rzecznego, czyli dostosować szerokość i głębokość do krzywizn oraz spadku podłużnego, a także pamiętać o zmieniających się regularnie łukach w korycie. (Bednarczyk, Duszyński 2008: 129-133)

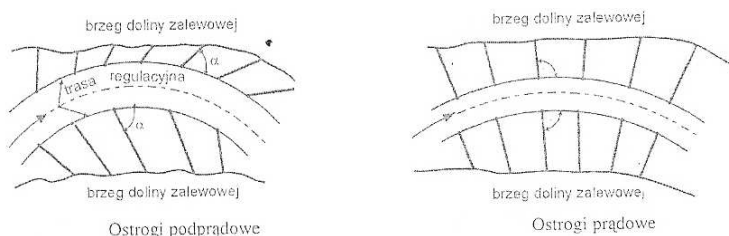
Regulacja rzek często obejmuje znaczne długości koryta, szczególnie gdy jej celem jest nadanie możliwości żeglugowych. Wtedy zdarza się, że cały bieg rzeki zostaje zmodyfikowany, gdyż wymagają tego różne normy dotyczące taboru transportowego. Regulacja rzeki dla celów żeglugowych powinna być dopasowana do klasy drogi wodnej, co przedstawia tabela 1.

Klasa wodna odnosi się do maksymalnych wymiarów taboru takiego jak statek czy też barka. Wskazuje też na uzyskanie odpowiedniej szerokości i głębokości dla konkretnej wielkości taboru. Mniejsza, odcinkowa regulacja stosowana jest przy ujęciach wód, budowłach wodnych i mostowych.

Lp.	Parametr eksploatacyjny	Wymiary (m) dla klasy						
		Ia	Ib	II	III	IV	Va	Vb
1.	Szerokość szlaku żeglugo- wego na poziomie statku przy pełnym zanurzeniu	15	20	30	40	40	50	50
2.	Głębokość tranzytowa (najmniejsza głębokość, jaką posiada szlak żeglowny)	1,20	1,60	1,80	1,80	2,80	2,80	2,90
3.	Promień łuku w osi szlaku żeglownego	100	200	300	500	650	650	800

**Tabela 1.** Minimalne wymiary szlaku żeglownego (Bednarczyk, Duszyński 2008: 162).

Dawniej stosowana była technika regulacji, która charakteryzowała się całkowitym zabudowaniem koryta rzeki, co niewątpliwie wiązało się z negatywnymi skutkami dla przyrody oraz dla dynamiki rzeki ze względu na wyprostowanie koryta. Obecnie najczęściej wykorzystywane są dwa sposoby regulacji: system tam poprzecznych lub podłużnych. System tam poprzecznych dotyczy wybudowania budowli, które są umieszczone poprzecznie do kierunku płynącej w korycie wody. Nazwa zwyczajowa tego sposobu regulacji to ostrogi, a stosuje się go zwykle w miejscach, gdzie dolina zalewowa rzeki jest wąska, a wody podczas niszówek silnie meandrują. Wśród tego typu regulacji można wyróżnić ostrogi podprądowe i prądowe, które zostały przedstawione na rysunku 2.

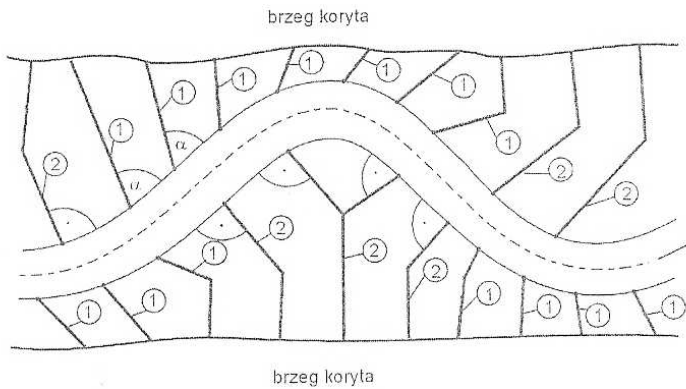


**Rys. 2.** Regulacja za pomocą tam poprzecznych – ostrogi podprądowe i prądowe (Bednarczyk, Duszyński 2008: 159)

Pierwszy rodzaj ostróg charakteryzuje się ostrym kątem pomiędzy ostrogą a trasą regulacyjną i wynosi 70-80°. Ostrogi prądowe różnią się tym, że są umieszczone pod kątem prostym do trasy. (Bednarczyk, Duszyński 2008: 158)

Zdarza się również, że są stosowane tzw. ostrogi zaprądowe, gdzie kąt pomiędzy ostrogą a trasą regulacyjną jest większy od 90°. W praktyce najczęściej wykorzystuje się typ podprądowy, chociaż jest droższy ze względu na większą długość, to jest bardziej skuteczny. Działanie ostróg polega na tym, że odgradzając przestrzeń wodną pomiędzy brzegiem a trasą regulacyjną zatrzymują przepływ podczas niskich stanów wody oraz zmniejszają prędkość przy wysokich stanach. Powoduje to, że wolny obszar między ostrogami zamula się i powoli staje się łądem. (Dębski 1978: 215)

Czasem stosuje się mieszany typ ostróg, co umożliwia ich skrócenie i zmniejszenie kosztów regulacji. Na brzegu wklęsłym buduje się wtedy zwykle ostrogi podprądowe, a na wypukłym prądowe, co pokazuje rysunek 3.



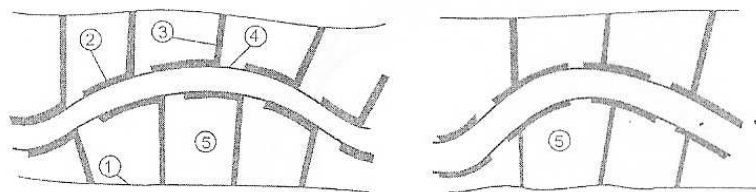
**Rys.3.** Usytuowanie ostróg podprądowych (1) i prądowych (2) na łukach trasy regulacyjnej rzeki (Bednarczyk, Duszyński 2008: 159)

Odstęp między ostrogami są prawie takie jak szerokość trasy regulacyjnej, z tym że na brzegu wklęsłym są one trochę mniejsze niż na brzegu wypukłym. Wynika to z konieczności dostosowania długo-



ści ostróg do ich rozstawienia. Miejsce zakotwiczenia ostrogi brzegu nazywamy wrzynką, natomiast od strony trasy regulacyjnej głowicą. Pomiędzy nimi jest niewielki spadek i przy wezbraniu, a co temu towarzyszy zwiększonej prędkości przepływu, istnieje niebezpieczeństwo zmniejszonej stateczności ostrogi. Aby temu przeciwdziałać umacnia się dno koryta rzeki.

Podłużny typ regulacji stosuje się zwykle w rzekach, gdzie dolina zalewowa charakteryzuje się znaczną szerokością i konieczna jest wyrazista regulacja koryta. Tamy równoległe tworzą nowe koryto rzeki, a tereny poza tamami będą służyły do zalądowienia. Ostrogi te, podobnie jak w przypadku tam poprzecznych, są wzniesione ponad poziom wody, a podczas wezbrań zalewane. Warto wspomnieć, że są one także umocnione za pomocą tam poprzecznych tzw. poprzeczek, co przedstawia rysunek 4.



**Rys.4.** Regulacja za pomocą tam podłużnych: 1- stary brzeg, 2- tama podłużna, 3-tama poprzeczna, 4-otwór, 5- elementy starego koryta służące do zalądowienia (Bednarczyk, Duszyński 2008: 161)

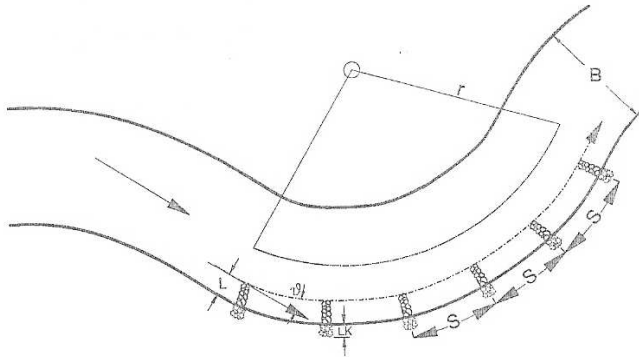
Poniżej lub powyżej poprzeczek stosuje się przerwy, umożliwiające transport rumowiska z koryta rzeki na tereny poza tamami. Transport ten odbywa się w ten sposób, że woda podczas wezbrań płynie z koryta przez przerwy w tamach tak, że prąd denny przedostaje się wraz z rumowiskiem na tereny odcięte, a prąd powierzchniowy zabiera z powrotem oczyszczoną wodę do koryta. Podczas wezbrań woda wpływa pomiędzy otwory i ponownie unosi rumowisko, co spowalnia znacznie proces sedymentacji. Wynika z tego, że regulacja za pomocą tam poprzecznych jest bardziej skuteczna od tam podłużnych. Jednak na rzekach górskich, gdzie przeważa rumowisko gruboziarniste, ciężkie,

tamy podłużne są skuteczniejsze niż na rzekach nizinnych. Sposobem regulacji bardziej przyjaznym środowisku są tamy podłużne, w przypadku, gdy porosną one roślinnością i staną się miejscem gniazdowania ptactwa i żerowania ryb. (Bednarczyk, Duszyński 2008: 159-162)

Kolejny typ regulacji przy rzekach nizinnych to tak zwane ostrogi zatopione, inaczej nazywane podwodnymi. Korony tych ostróg wznoszą się jedynie do poziomu zwierciadła wody niskiej. Budowane są one z komponentów faszynowych i z kamienia, podobnie jak wcześniej wspomniane ostrogi. Ich konstrukcja może być zbliżona do zwykłych ostróg, które rozpoczynają się we wrzynce, ale zwykle są one raczej ich przedłużeniem, które dochodzi do niskiej wody. Ostrogi podwodne przyczyniają się do zwężenia koryta rzeki oraz do uzyskania większych głębokości. Ich z pozoru negatywna cecha, a mianowicie wywoływanie erozji w dnie, może być wykorzystywana do rozmywania odsypisk na przeciwnym brzegu wypukłym. (Dębski 1978: 276-277)

Można również wyróżnić kilka budowli hydrotechnicznych, które zabezpieczają brzeg przed erozją, a które mają za zadanie jednocześnie utrzymać w jak największym stopniu naturalny krajobraz.

Pierwsze z nich to ostrogi, czyli groble kamienne, które wychodzą z brzegu i wcinają się w płynącą rzekę, a przedstawia je rysunek 5.

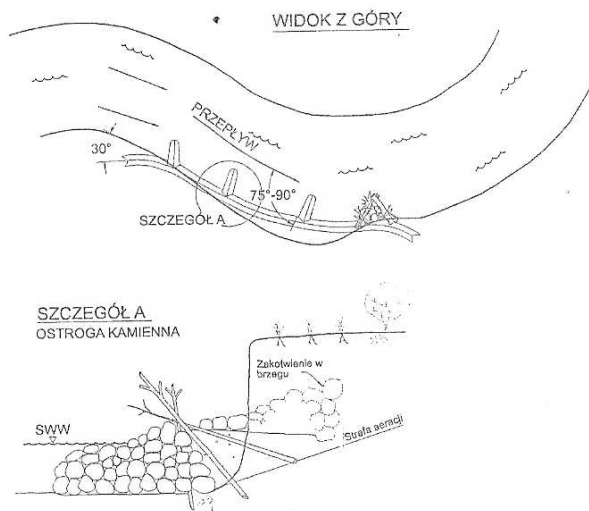


Rys. 5. Ostrogi chroniące brzeg wklęsły (Bednarczyk, Duszyński 2008: 195)

Kierują one nurt rzeki bardziej do środka koryta, co zapobiega erozji brzegu wklęsłego. Budowane są ostrogi z kamienia lub ziemno-faszy-

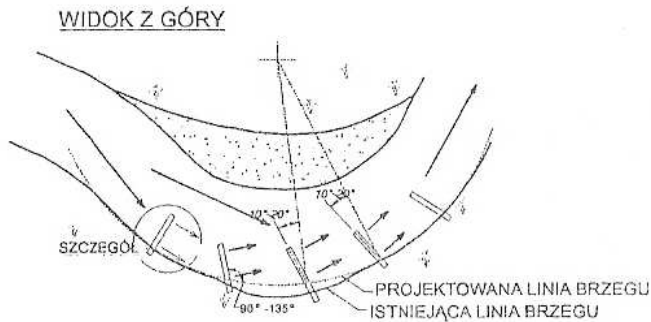
nowe. Pierwsze składają się z rumowiska skalnego, kamienia łamanego lub polnego z domieszką gliny, natomiast drugie składają się z na przemian układanej warstwy grunty i faszyny. Zwykle ostrogi budowane są w szerokich ciekach o małej głębokości. Pomiedzy ostrogami osadza się rumowisko, które może być schronieniem dla fauny rzecznej.

Kolejne to opaski brzegowe z ostrogami, chroniące niskie brzegi przed podmywaniem. Opaska brzegowa to konstrukcja zbliżona do tam podłużnych, jednak jest ona przymocowana do naturalnego brzegu i ma za zadanie chronić go przed erozją. Tamy podłużne natomiast tworzą nowy brzeg i na początku otoczone są z obu stron wodą. Stosowanie opasek brzegowych w połączeniu z ostrogami jest zalecane w tych samych miejscach, co można zastosować same opaski. Należy jednak zaznaczyć, że niezbędna jest tutaj duża szerokość koryta ze względu na towarzyszące opaskom ostrogi, które wcinane są w poprzek biegu rzeki. Wykonywane są one zwykle z narzutu kamiennego, odległość pomiędzy wcinami wynosi od 25-30 m dla małych rzek oraz odległość równa szerokości cieku bądź dwa razy większa dla szerokich rzek. Istotny jest kąt, pod jakim buduje się wcinę opaski i wynosi on około  $30^\circ$ . Opaski brzegowe z ostrogami zostały pokazane na rysunku 6.

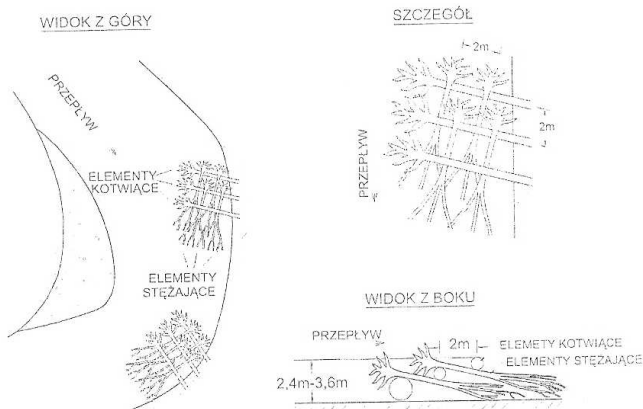


Rys.6. Opaska brzegowa z ostrogami (Bednarczyk, Duszyński 2008: 197)

Następną techniką regulacji rzek, które mają być przyjazne środowisku są progi piętrzące na zakolach, przedstawione na rysunku 7. W miejscach, gdzie podłoże jest kamieniste, są one zbudowane z narzutu kamiennego i umiejscowione przy wklęsłym brzegu. Charakteryzują się długością ok. 1/3 do 1/2 szerokości koryta i są budowlami zanurzonymi. Natomiast, gdy podłoże jest pozbawione skalistych elementów, a bogate w substancję organiczną, wówczas zalecane jest wykorzystanie pni drzew wraz z korzeniami, co pokazuje rysunek 8. Jak w poprzednich przypadkach progi te buduje się w celu niwelacji erozji brzegowej poprzez oddalenie nurtu rzeki od brzegu koryta. Warto nadmienić o korzyściach dla ichtiofauny, płynących z budowy progów z udziałem drzew.

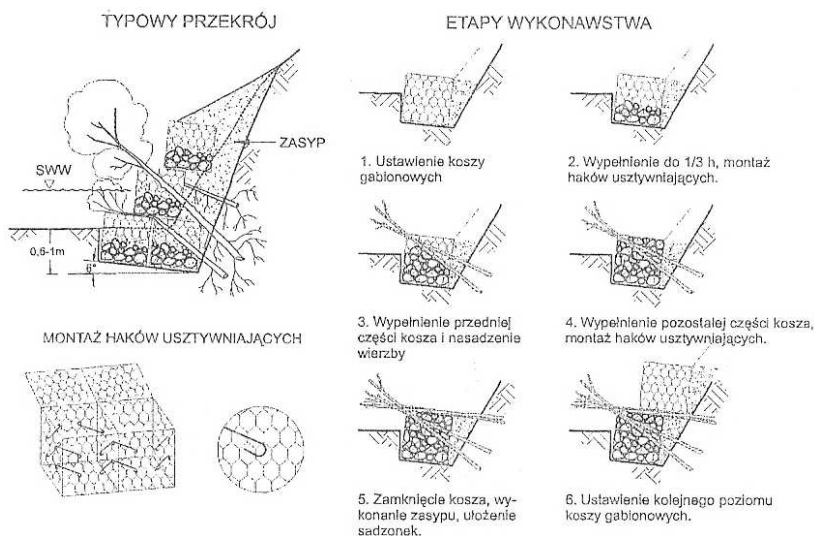


Rys. 7. Progi piętrzące na zakolach (Bednarczyk, Duszyński 2008: 198)



Rys. 8. Próg z pni drzew (Bednarczyk, Duszyński 2008: 199)

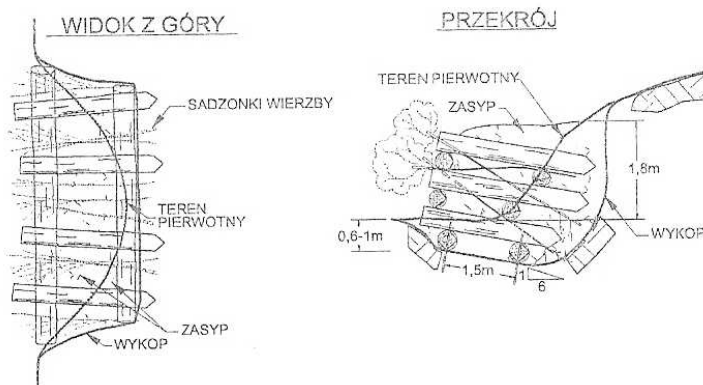
Dodatkowo istnieją takie sposoby regulacji jak kosze gabionowe z nasadzeniami, przedstawione na rysunku 9. Zbudowane są z koszy gabionowych wykonanych z drutu stalowego z powłoką antykorozyjną (galwaniczna lub PCV), wypełnionych kamieniami i zasadzonymi roślinami. Nasadzenia zwiększają trwałość koszy oraz mogą być siedliskiem dla niektórych zwierząt. Niebezpieczeństwem może być tutaj jednak konstrukcja kosza gabionowego, zbudowanego z drutu. Należy pamiętać tutaj o zastosowaniu filtrów np. żwirowych do ochrony przed rozmywaniem ziemi spod koszy. Kosze powinny być ustawione do skarpy pod kątem około  $6^\circ$ , ze względu na to że mają one za zadanie redukować bądź stabilizować jej nachylenie.



Rys. 9. Kosze gabionowe z nasadzeniami (Bednarczyk, Duszyński 2008: 200)

Kaszyce są to budowle zbudowane z bali drewnianych, wypełnionych gruntem, a także jak w przypadku koszy gabionowych stosuje się nasadzenia roślin w celu wzmocnienia konstrukcji, przedstawia je rysunek 10. Kaszyce również mają za zadanie zapobiegać podcinaniu brzegu przez płynącą wodę, a zwłaszcza na skarpach porośnię-

tych drzewami. Ich stosowanie zalecane jest na tych odcinkach rzeki, gdzie jest największa erozja boczna. Wskazane jest też wykorzystywanie do budowy kaszyc gatunków drewna odpornych na butwienia jak np. świerk. (Bednarczyk, Duszyński 2008: 194-201)

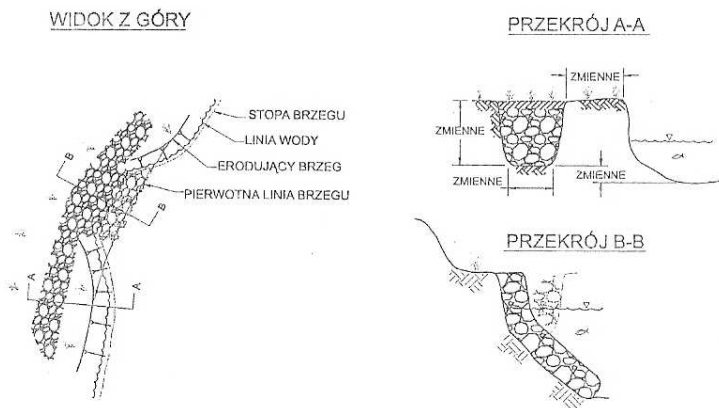


Rys.10. Kaszyce (Bednarczyk, Duszyński 2008: 201)

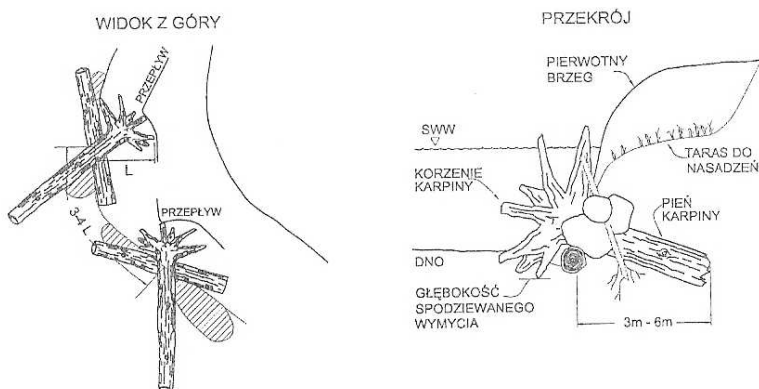
Wśród różnych sposobów regulacji można też wyróżnić rowy kamienne, wypełnione rumowiskiem skalnym, umieszczone wzdłuż skarpy brzegowej, narażonej na podmywanie, pokazane na rysunku 11. Ich działanie polega na tym, że podczas wzmożonej erozji bocznej w wyniku podmywania, z rowu wydostają się kamienie, które dostosowują się do zbocza i tym samym chronią je. Wykorzystanie tego typu konstrukcji jest polecane przy ciekach o silnej erozji brzegowej oraz zwiększonych prędkościach przepływu. Należy wspomnieć tutaj o konieczności przeprowadzenia analiz geotechnicznych, które pozwolą ocenić możliwość wybudowania rowów kamiennych ze względu na bardzo duże obciążenie skarpy.

Ciekawym sposobem modelowania koryta rzecznoego są też umocnienia karpinami drzew, głównie pochodzących z wycinki, które zostały przedstawione na rysunku 12. Również stosowane są one w celu przeciwdziałania erozji brzegu wklęsłego, głównie w dolnych biegach rzek ze względu na silnie meandrującą rzekę. Odpowiednie ułożenie karpiny, czyli korzeniami w kierunku wody, umożliwia bardziej sku-

teczną ochronę brzegu. Warto zaznaczyć, że należy dostosować odpowiednią długość pnia do oczekiwanej głębokości wymycia brzegu i powinna ona być cztery razy większa. Konstrukcja do regulacji za pomocą karpin z drzew może stanowić siedlisko dla ichtiofauny, a dodatkowo umieszczenie korzeni w odległości 1 m od brzegu zwiększy atrakcyjność tego obszaru.



Rys. 11. Rowy kamienne (Bednarczyk, Duszyński 2008: 202)

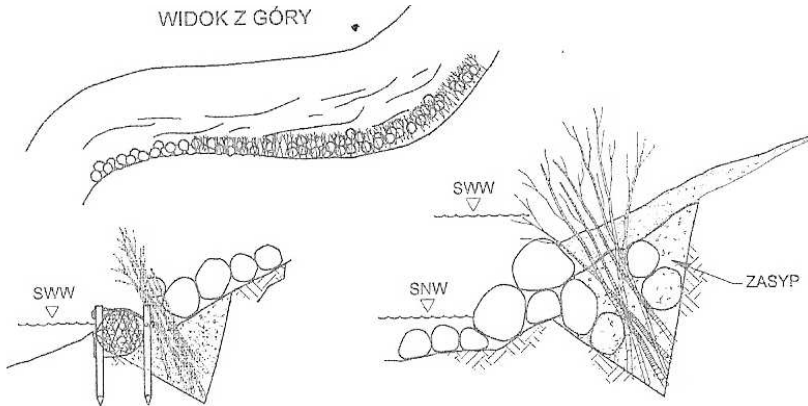


Rys. 12. Umocnienia karpinami drzew (Bednarczyk, Duszyński 2008: 203)

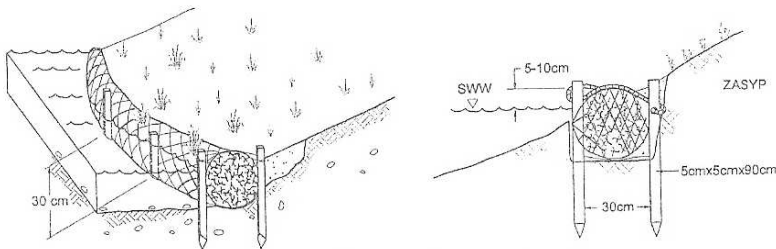
Istnieje również kilka rodzajów lekkich konstrukcji do ochrony brzegów, o których warto przynajmniej nadmienić.

Pierwsze, o których należy wspomnieć to namulacze, służące do zabezpieczenia skarpy brzegowej przed wymywaniem, przedstawione na rysunku 16. Zbudowane są z zasadzonych roślin (głównie wierzby), pochodzących z miejscowych terenów, co sprawia, że jest to ekonomiczny system ochrony brzegu. Ich działanie polega na zbieraniu rumowiska, niesionego przez wodę, powodując tym samym powstawanie odsypisk.

Kolejnym nieinwazyjnym sposobem ochrony brzegów koryta są walce kokosowe, zbudowane z włókien kokosowych, otoczonych siatką, które pokazuje rysunek 14. Umieszczane są wzdłuż brzegu na drewnianych palach, z pozostawioną odległością od dna na ewentualny rozwój flory. Ten sposób jest zazwyczaj wykorzystywany na odcinkach między zakolami a łukami rzek.



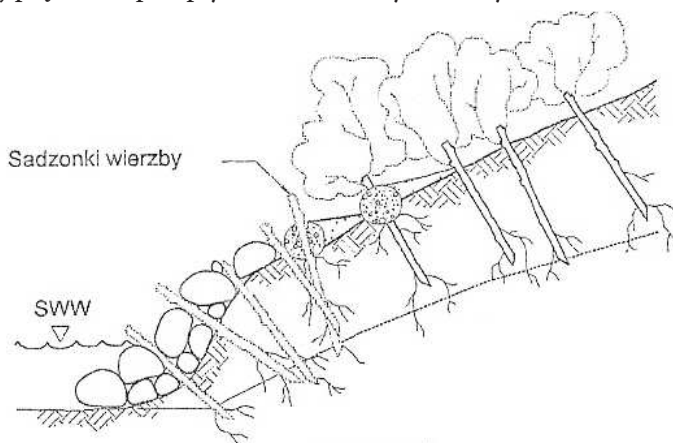
Rys. 13. Namulacze (Bednarczyk, Duszyński 2008: 205)



Rys. 14. Walce kokosowe (Bednarczyk, Duszyński 2008: 205)



Należy również wspomnieć o umocnieniach roślinnych, które zabezpieczają brzeg za pomocą nasadzeń roślinnych, do których stosuje się trawy, krzewy i drzewa. Ten typ zabezpieczenia ilustruje rysunek 15. Ta konstrukcja często łączona jest z innymi sposobami ochronnymi i charakteryzuje się tym, że jest niezwykle przyjazna dla środowiska. Nasadzone rośliny zapobiegają erozji, jak również wymywaniu gruntu, mogą stać się również siedliskiem dla zwierząt. Należy również zaznaczyć, że ta technika ochrony brzegowej stwarza większe walory krajobrazowe danego odcinka ciek. Stosuje się tutaj głównie sadzonki np. wierzby, topoli, ponieważ potrafią one w dość krótkim czasie się zakorzenić. Typ roślin uzależniony jest od rodzaju brzegu oraz granicznej prędkości przepływu. (Bednarczyk, Duszyński 2008: 202-206)



**Rys. 15.** Technika wykonania nasadzeń roślinnych (Bednarczyk, Duszyński 2008: 207)

Modelowanie spływów wodnych może być zjawiskiem naturalnym, powstającym w wyniku procesów zachodzących w każdym cieku wodnym, jak tworzenie meandrów na skutek siły odśrodkowej, a także może powstawać sztucznie. Drugi typ procesu modelowania rzek służy głównie celom antropogenicznym. Cieki wodne reguluje się przede wszystkim dla ochrony przeciwpowodziowej oraz w celu poprawy żeglowności danej rzeki dla rozwoju żeglugi śródlądowej. Wiele technik

regulacji rzek ingeruje w środowisko naturalne, jednak istnieją też takie, które umożliwiają rozwój roślinności oraz stają się miejscem bytowania zwierząt. Warto pamiętać o zasadzie zrównoważonego rozwoju, w myśl której należy traktować społeczne i gospodarcze potrzeby jednakowo z rozwojem przyrody.

### **Bibliografia**

- Bednarczyk S., Duszyński R., 2008, *Hydrauliczne i hydrotechniczne podstawy regulacji i rewitalizacji rzek*, wyd. Politechniki Gdańskiej, Wyd. I, Gdańsk.
- Dębski K., 1978, *Regulacja rzek*, Wyd. PWN, Warszawa.
- Giziński A., *Środowiskowe skutki regulacji rzek*, *Gospodarka wodna*, nr 11/2003, 470,
- Wołoszyn J., Czamara W., 1994, *Regulacja rzek i potoków*, wyd. Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Wyd. II zmienione, Wrocław.
- (Web-01) *Elementy koryta rzecznego*, <<http://orlyzpodlasia.pl/splywy-kajakowe/porady/charakterystyczne-elementy-koryta-rzecznego.html>>, dostęp 15.08.2012.

### **Water runoff modelling**

#### SUMMARY

This article analyzes the process of modelling water runoff, including the phenomena responsible for the modification of the riverbed. First of all, it examines the morphology of rivers and water relations prevailing in the stream. The article also discusses the goals and techniques of flood control. The article may be the subject of further discussion on the effect of modification of water courses on the environment.