

Możliwości zastosowania **elastycznych zapór przeciwrumowiskowych**

tekst: **dr inż. BERNARD TWARÓG**, Zakład Budownictwa Wodnego i Gospodarki Wodnej, Instytut Inżynierii i Gospodarki Wodnej, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Krakowska

W niniejszym artykule przedstawiono wybrane metody i rozwiązania ograniczające erozję, zmniejszające transport rumowiska wlezonego oraz poprawiające parametry geomorfologii fluwialnej cieków. Prezentowane rozwiązania są jednymi z częściej stosowanych metod zabezpieczenia koryt cieków. Technologia wykonania jest prosta i szybka, co skutkuje relatywnie niskim kosztem realizacji i eksploatacji. Głównym elementem elastycznych zapór są przyczółki oraz rozpięta pomiędzy nimi specjalna elastyczna siatka o dużych średnicach oczek. Rozwiązania te nie dokonują separacji koryt oraz nie ingerują w stan ekologiczny wód; są proekologiczne, skuteczne oraz równie funkcjonalne, jak stosowane obecnie.

1. Wstęp

Współczesne metody ograniczenia wielkości erozji rzek i potoków oraz kontrolowania spływu rumowiska wciąż oparte są na zabudowie poprzecznej koryt. Ponieważ jednak zwiększyła się świadomość w zakresie skutków stosowania takich rozwiązań, to coraz częściej poszukuje się metod proekologicznych, unikając tego typu inwestycji, chociaż ich skuteczność w zakresie ograniczania transportowanego rumowiska jest nadal znacząca. Jednym z zadań budowy przeciwrumowiskowych jest stabilizacja dna koryta cieków oraz ograniczenie wielkości transportowanego rumowiska. Przy czym praca takich obiektów polega nie tylko na ograniczeniu ilości transportowanego rumowiska, lecz również na jego dozowaniu, tak aby zachować równowagę hydrodynamiczną cieków.

Współczesna wiedza w zakresie równowagi hydromorfologicznej koryt opisywana jest teorią geomorfologii fluwialnej, wykorzystywaną na całym świecie do praktycznych zastosowań w zagadnieniach inżynierskich [1]. Wiedza ta pozwala poszukiwać odpowiedzi na pytania związane ze stanem zrównoważonego cieków oraz jego utraty. W skutkach może wiązać się to ze zmianami profilu poprzecznego oraz podłużnego koryta, wielkości przepływu, ilości transportowanego rumowiska wlezonego oraz lokalizacji miejsc depozycji. Teoria ta może także opisać przypadki niestabilnych koryt, kierunki ich ewolucji oraz przewidywany zakres potrzebnych ingerencji inżynierskich. Umiejętność posługiwania się

metodami geomorfologii fluwialnej stanowi narzędzie pozwalające sparametryzować „punkt widzenia rzeki” na warunki przepływu oraz na możliwości ułatwienia przebiegu wezbrania przez odpowiednie ukształtowanie przestrzeni w sąsiedztwie jej koryta. Takie podejście nie wymaga od projektanta decyzji o konieczności regulacji (zabudowy czy przebudowy) koryta rzeki, częściej oznacza poszukiwanie oszczędnej ingerencji w koryto lub niewielkiego zabezpieczenia elementów infrastruktury wymagających ochrony na terasach zalewowych, bez systematycznej zabudowy cieków [2].

Rzeki i potoki górskie o znacznym spadku, dużej szorstkości dennej oraz wysokiej dynamice zjawisk związanych z przepływem wód wezbraniowych stanowią wyzwanie dla aktualnych tendencji kształtowanych przez zapisy Ramowej Dyrektywy UE, Prawa wodnego, Ustawy o ochronie środowiska oraz innych przepisów prawnych dotyczących działań prowadzących do zapewnienia stabilnych warunków przepływu wód. Ich regulacja i renaturyzacja jest jednym z podstawowych zadań wymagających dogłębnej i kompleksowej analizy parametrów hydrodynamicznych w celu współtworzenia z naturą takiej struktury koryta, która będzie siłą napędową dla zrównoważonego działania, mającego na celu przywrócenie zdegradowanych ekosystemów rzecznych [3].

2. Idea elastycznych zapór

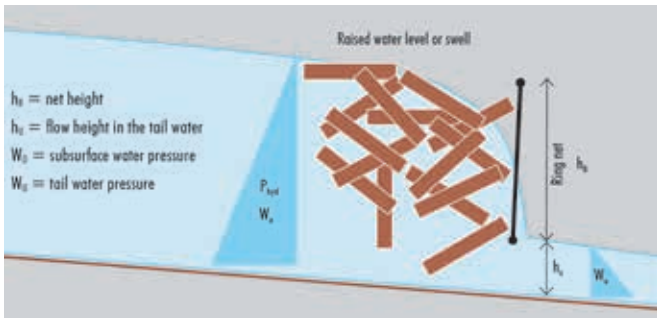
W niniejszej pracy prezentowane są typy elastycznych barier (zapór) stosowanych do

ochrony przed rumowiskiem do 1000 m³ w przypadku pojedynczej bariery. Doświadczenie firmy Geobrugg AG uzyskane w trakcie eksploatacji takich obiektów pozwala na kaskadowe stosowanie tych rozwiązań, przez co uzyskuje się znacznie większą retencję, praktycznie o dowolnej objętości, ograniczoną jedynie geometrią koryta. Zapory te są elastycznymi barierami z siatek stalowych, rozpiętymi na przyczółkach kotwionych w brzegach koryt. Technologie te są znane już od co najmniej kilkunastu lat i wykorzystywane głównie w szeroko pojętej inżynierii hydrotechnicznej krajów Europy Środkowej, obu Ameryk oraz Afryki. W ostatnich latach następuje ekspansja tej technologii do krajów sąsiadujących z Polską od wschodu i południa, a także do Azji.

2.1. Bariery przeciwrumowiskowe

Zapory przeciwrumowiskowe są elastycznymi barierami pierścieniowymi, wytrzymującymi olbrzymie obciążenia statyczne i dynamiczne dzięki zastosowaniu stali o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie. Osiąga się odpowiednio wysokie wytrzymałości przy relatywnie niewielkiej ilości materiału, co znacznie redukuje nakłady pracy, obniża koszty oraz skraca czas instalacji (zmniejsza również znacznie koszty późniejszej obsługi). Istnieje możliwość prostego opróżniania barier.

Instalacje barier pierścieniowych charakteryzują się istotnym skróceniem czasu realizacji, oszczędnością od 30% do 50% kosztów w porównaniu z konstrukcjami betonowymi, są rozwiązaniami przyjaznymi dla środowiska i wizualnie komponują się z krajobrazem. Proponowane



Ryc. 1. Najprostszy system przeciwrumowiskowy, schemat działania oraz zdjęcie obiektu w eksploatacji, źródło: Geobrugg AG

rozwiązania i konstrukcje testowane są w wymagających warunkach, przy współudziale Szwajcarskiego Instytutu Badawczego ds. Lasów, Śniegu i Krajobrazu (WSL). Ilość zatrzymywanego materiału dla pojedynczego rozwiązania wynosi do 1000 m³, w przypadku rozwiązań kaskadowych teoretycznie bez ograniczeń.

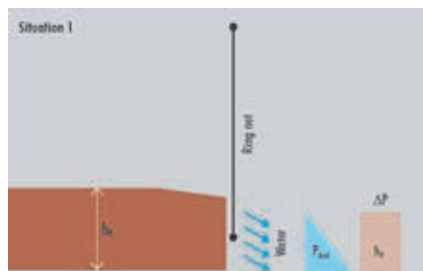
2.2. Komponenty

System elastycznej zapory przeciwrumowiskowej składa się z następujących charakterystycznych elementów, odznaczających się opisanymi poniżej własnościami:

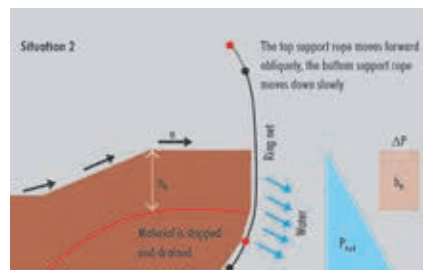
- siatka pierścieniowa ze stali o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie, elastyczna, o własnościach sprężysto-plastycznych, pochłaniająca energię oraz zmniejszająca tym samym obciążenie kotew;
- pierścienie hamujące zainstalowane na linach wspomagających i granicznych, aktywowane przy większych obciążeniach, rozpraszające tym samym energię przekazaną z siatki pierścieniowej i niepowodujące uszkodzenia lin;
- specjalne kątowniki grubościenne zabezpieczają górną linię przed abrazyjnym działaniem materiału przesypanycego się przez barierę;
- kotwy linowe lub gwoździe samowierzące z głowicami FLEX;
- słupy wykorzystywane do instalowania barier, montowane na płytach gruntowych z połączeniem sworzniowym.

W najprostszej formie – bez pierścieni hamujących – system przeciwrumowiskowy firmy Geobrugg może zostać wykorzystany jako bariera zatrzymująca spływające wraz z rumowiskiem skalnym pnie i kawałki drzew. Zostało to potwierdzone przez liczne badania przeprowadzone przez Uniwersytet Techniczny w Monachium w bawarskim Füssen. Testy objęły spływy o objętości od 5 do 30 m³/s.

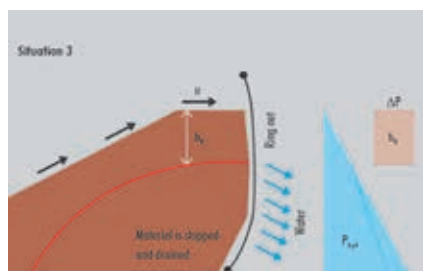
3. Etapy pracy elastycznej bariery



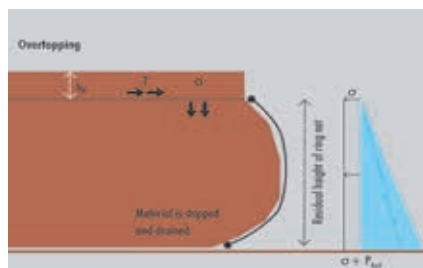
Ryc. 2. Pierwsze uderzenie fali rumowiska w elastyczną siatkę, źródło: Geobrugg AG



Ryc. 3. Druga fala napięcia elastycznej siatki przepływająca nad pierwszą, zatrzymaną, źródło: Geobrugg AG



Ryc. 4. Kolejne fale wypełniające elastyczną barierę, źródło: Geobrugg AG



Ryc. 5. Kolejna faza pracy – przelewanie napływającego rumowiska, źródło: Geobrugg AG

Podczas przepływu rumowiska transportowane masy osiadają barierę wykonaną z siatki elastycznej, towarzyszy temu ciśnienie hydrostatyczne oraz dynamiczne obciążenie przenoszone dolną linią nośną, rozłożone wysokością przepływu. Wartość obciążenia zależy od gęstości i typu rumowiska oraz wartości prędkości.

W kolejnym etapie ciśnienie hydrostatyczne działa przy zwiększonej wysokości zatrzymanego rumowiska. Napływające rumowisko przemieszcza się w górę, powodując powstawanie dodatkowego obciążenia.

Całkowita liczba uderzeń napływających fal rumowiska powtarza się do momentu wypełnienia wytworzonej objętości w cofce; zależy to od spadku, szerokości koryta oraz wysokości zainstalowanej siatki. Kolejne uderzenia są podobne do fazy drugiej, jednak charakteryzują się mniejszymi obciążeniami dynamicznymi i zmniejszającym się ciśnieniem hydrostatycznym.

Wzrost osadzanego rumowiska zaczyna przewyższać wysokość elastycznej bariery. Pojawia się siła ścinająca osadzone rumowisko ponad barierę, której przeciwstawia się siła tarcia powstała wskutek nacisku nagromadzonego rumowiska oraz incydentalnie siła wyporu. Przy samoczynnym odwadnianiu osadzonego materiału zmniejsza się ciśnienie hydrostatyczne oraz całość spływu gruzowego ulega samostabilizacji.

4. Przeciwdziałanie zagrożeniom – elastyczne zapory

Wystąpienie gwałtownych opadów powoduje powstawanie spływów powierzchniowych, które transportują wraz z wodą opadową błoto i drobne rumowisko. Spływająca woda w górnych partiach stoków, ze względu na swoją prędkość, jest w stanie zerwać i upłynnić warstwy węższego rumowiska. Ponieważ ciężar właściwy błota jest o wiele większy niż



Ryc. 6. Układ barier elastycznych zainstalowanych w korycie potoku, w którym okresowo pojawiają się spływy gruzowe

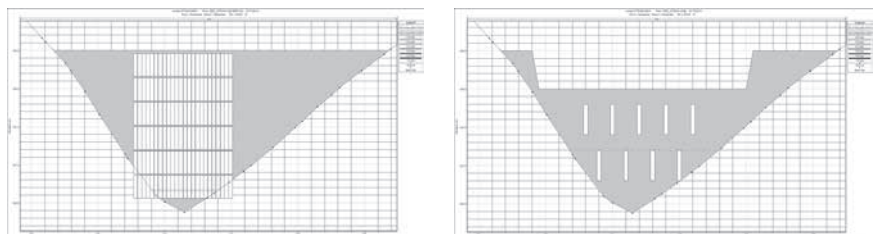
wody, taki spływ może transportować również wielkie głazy. Spływy rumowiska przyjmują różną formę w zależności od transportowanego materiału. W przypadku, gdy jest to frakcja drobna, mówi się o spływie błotnym. Jeśli frakcja jest większa oraz widoczne są kamienie lub głazy, to mamy do czynienia z typowym spływem większego rumowiska – gruzowym. Zdarza się także, że materiałem transportowanym przez wodę są drzewa i gałęzie. Zazwyczaj jednak spływ gruzowy zawiera w sobie wszystkie z wyżej wymienionych elementów.

Zjawisko spływu gruzowego samo w sobie jest procesem dynamicznym i bardzo groźnym w skutkach. Materiał transportowany w korycie cieku wodnego porusza się zazwyczaj z prędkością nieprzekraczającą 5 m/s, a spływający materiał, ze względu na abrazyjny charakter zjawiska, zabiera ze sobą następne partie gruntu, zabiera ze sobą następne partie gruntu, zabiera ze sobą następne partie gruntu, a ich objętość dochodzi niekiedy do kilku tys. m³. Dynamiczne oddziaływanie spływającej masy gruzu jest podstawowym czynnikiem powodującym uszkodzenia i będącym bezpośrednim zagrożeniem dla infrastruktury otaczającej koryto cieku wodnego.

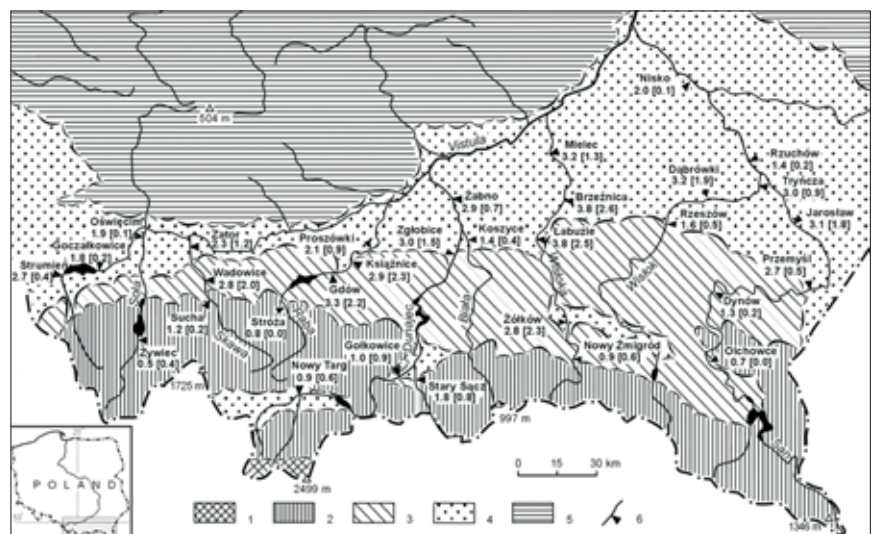
Proponowane bariery elastyczne stanowią skuteczne rozwiązanie ochronne, ponieważ wytrzymują uderzenia fal transportowanego rumowiska oraz statyczne parcie rumowiska na konstrukcję

ochronną. Jedną z najskuteczniejszych metod zapobiegania takim zjawiskom jest zmniejszenie prędkości przepływu cieku wodnego oraz rozproszenie energii fali spływającego rumowiska.

W praktyce charakter destrukcyjnych oddziaływań znacznie ogranicza moż-



Ryc. 7. Konstrukcja zapór przeciurumowiskowych – betonowe oraz rozwiązania proekologiczne równoważne siatce elastycznej – przykład, model Hec-Ras



Ryc. 8. Obniżenie się [m] minimalnych rocznych stanów wody głównych rzek polskich Karpat w ciągu XX w. oraz [w nawiasach] w jego drugiej połowie jako wskaźnik pogłębienia się koryt [16]

liwości stosowanych rozwiązań profilaktycznych i naprawczych. Stosuje się ciężkie, masywne, żelbetowe zapory lub bariery przeciurumowiskowe oraz lekkie, elastyczne bariery przeciurumowiskowe, które po całkowitym wypełnieniu również zmniejszają spadek hydrauliczny cieku.

5. Przykład obliczeniowy zastosowania elastycznych barier – rzeka Stradomka

Przeprowadzono obliczeniową analizę zmiany hydromorfologicznych parametrów rzeki Stradomki w górnych partiach jej cieku (od km 35 + 000 do km 41 + 000), przy założeniu pracy koryta z zastosowaniem istniejącej zabudowy w postaci zapór przeciurumowiskowych oraz elastycznych barier przeciurumowiskowych. Na analizowanym odcinku funkcjonują cztery zapory przeciurumowiskowe, odpowiednio w km 35 + 300, km 36 + 300, km 39 + 680 oraz km 40 + 679. Do analizy porównawczej w miejsca istniejących zapór przeciurumowiskowych dokonano teoretycznej podmiany na zapory elastyczne. W analizie wykorzystano dane hydrologiczne z uwzględnieniem wartości przepływów ekstremalnych w 2010 r.

Tab. 1. Zestawienie podstawowych statystyk przepływów

Nazwa ciek	km biegu	Miejscowość	Przepływy charakterystyczne		
			SNQ	SSQ	SWQ
			m ³ /s		
Stradomka	2,6	Stradomka	0,57	3,48	84,35
Stradomka	14,8	Łapanów	0,28	2,15	60,83

Krzywą uziarnienia założono typową dla rzek zlewni Raby.

Wszystkie ciek, w tym górna Wisła i jej karpackie dopływy, transportują zarówno rumowisko wleczone, jak i unoszone. Wzajemny udział obu typów rumowiska w ciekach o różnym charakterze jest jednak odmienny. W przypadku cieków górskich i podgórskich obserwuje się przewagę transportu rumowiska wleczonego nad unoszonym. Wynika to z dostępności materiału o określonym składzie granulometrycznym. Materiał denny koryt charakteryzują średnice miarodajne takiej wielkości, że prędkości, które pozwoliłyby na unoszenie tych ziaren, praktycznie nie występują. Zgodnie z obowiązującą teorią (wzór Kressera) w przypadku potoków (np. Stradomka) prędkość ta musiałyby sięgać nawet kilkunastu m/s. Ocenia się, że transport rumowiska wleczonego w stosunku do unoszonego stanowi ok. 80%. Zjawiska te mają znaczny udział w erozji koryt, a w konsekwencji w obniżeniu dna koryt cieków.

Przykład obliczeniowy został zamodelowany w systemie Hec-Ras. Dane o charak-

terze geodezyjnym zostały opracowane na podstawie Numerycznego Modelu Terenu (GUGiK), dane geomorfologiczne przyjęto na podstawie zdjęć Ortofoto oraz wizji lokalnej.

Stradomka jest prawobrzeżnym dopływem Raby, do której wpada w 41 km jej biegu, w miejscowości Pierzchów w gminie Gdów. Bierze ona swój początek w Beskidzie Wyspowym, zlokalizowanym pomiędzy doliną Raby a Kotliną Sądecką. Źródła Stradomki znajdują się na północnym stoku Śnieżnicy, należącej do Beskidu Wyspowego. Na źródłowym odcinku rzeka Stradomka ma charakter górski. Charakteryzuje się on dużymi spadkami dna koryta oraz jego silną erozją. W przypadku Stradomki spadek ten wynosi ok. 1,2%.

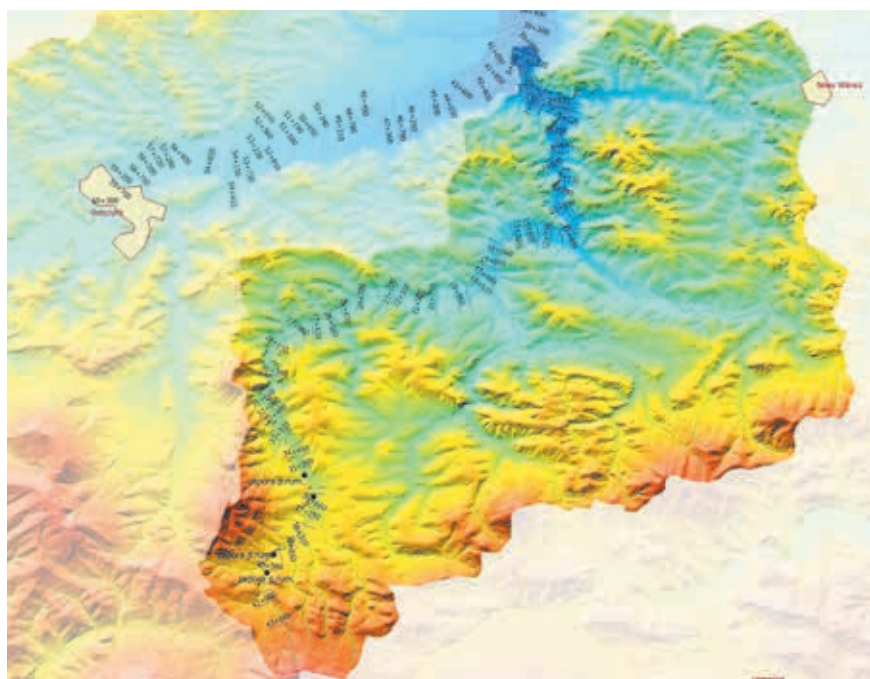
Poniżej zaprezentowano wyniki modelowania parametrów hydromorfologicznych systemem Hec-Ras+GISTools oraz przetworzone informacje z wykorzystaniem oprogramowania QGIS. Ze względu na ograniczone miejsce pokazano jedynie wartości parametrów dla zabudowy istniejącej oraz różnice parametrów dla zabudowy istniejącej i barier elastycznych.



Ryc. 9. Lokalizacja zlewni rzeki Stradomki w zlewni Raby

Kolejno przedstawiono wartości mocy strumienia, naprężenia styczne. Niniejsze wartości parametrów hydromorfologicznych odpowiadają ekstremalnym wartościom przepływów – 250 m³/s.

Poniżej zaprezentowano wyniki analiz w postaci różnic przestrzennego rozkładu wartości parametrów hydromorfologicznych, obliczonych jako różnica pomiędzy stanem dla zabudowy istniejącej oraz stanem dla zabudowy zaporami elastycznymi. Obszary w kolorze czerwonym świadczą o wyższych wartościach mocy strumienia



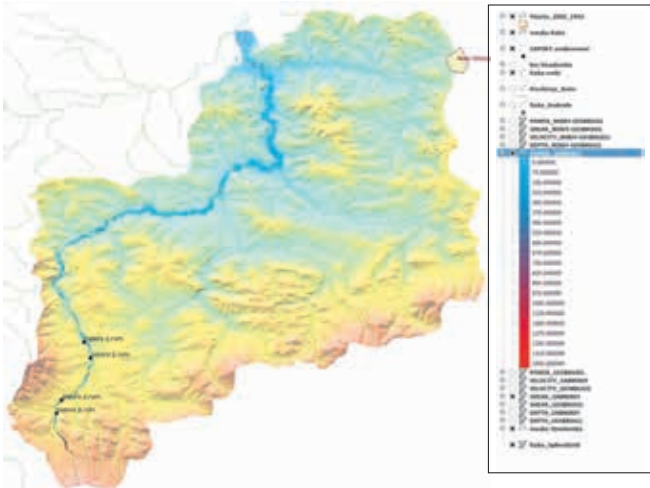
Ryc. 10. Rzeka Stradomka z zaznaczonymi profilami poprzecznymi



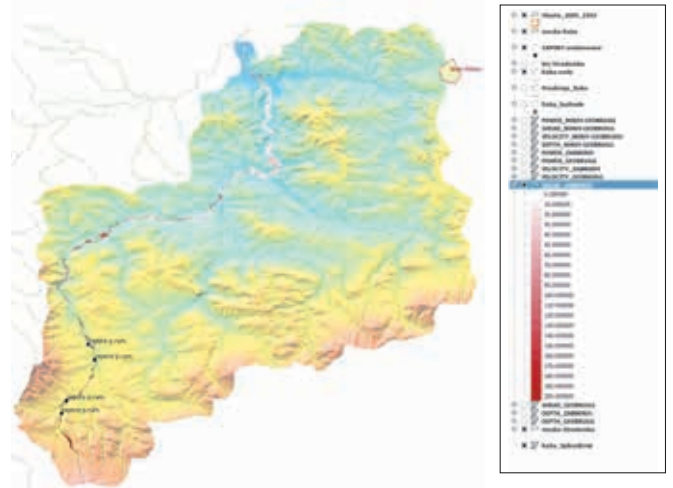
dla zabudowy elastycznej – wartości do 20 W/m², co stanowi zmianę 1,33%. Z wcześniejszych analiz wynika, że wartości mocy strumienia dla zabudowy istniejącej sięgają w analizowanym obszarze wartości 1500 W/m².

Poniżej zaprezentowano również różnice przestrzennego rozkładu wartości naprężeń stycznych, obliczonych jako różnica pomiędzy stanem dla zabudowy istniejącej oraz stanem dla zabudowy zaporami elastycznymi. Obszary w kolorze czerwonym

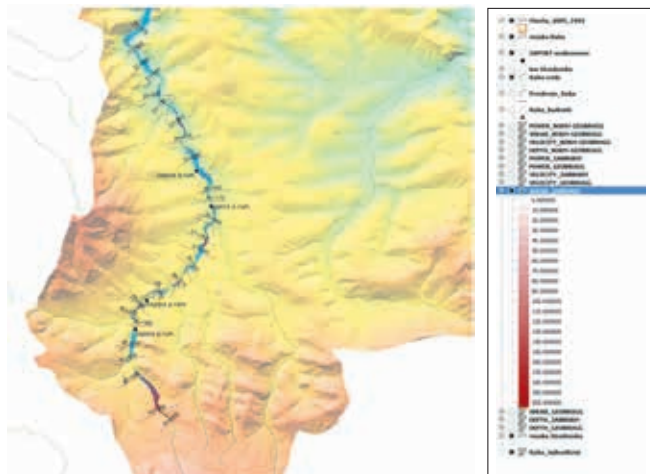
świadczą o wyższych wartościach naprężeń dla zabudowy elastycznej – do 6 N/m², co stanowi zmianę 3,0%. Z wcześniejszych analiz wynika że wartości naprężeń dla zabudowy istniejącej sięgają w analizowanym obszarze wartości 200 N/m².



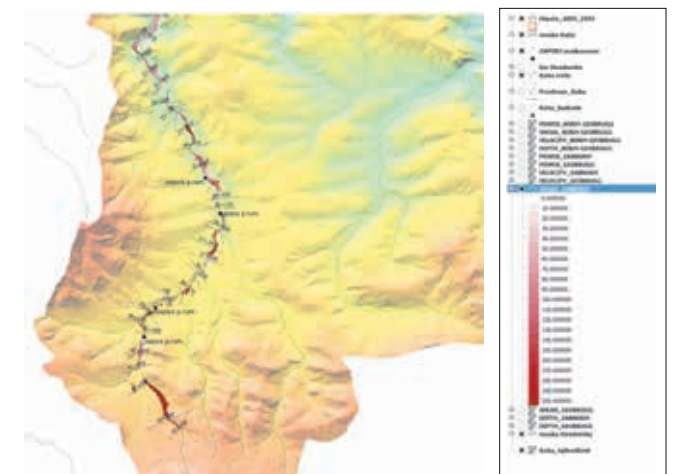
Ryc. 11. Analiza mocy strumienia [W/m²] – symulacja dla analizowanych zapor przeciwrumowiskowych



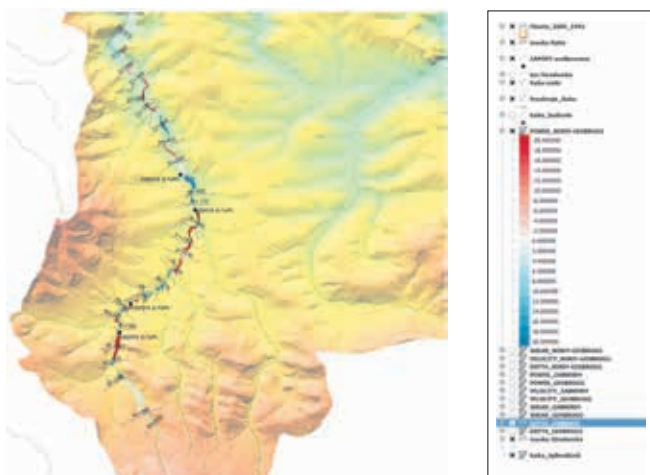
Ryc. 12. Analiza naprężeń [N/m²] – symulacja dla analizowanych zapor przeciwrumowiskowych



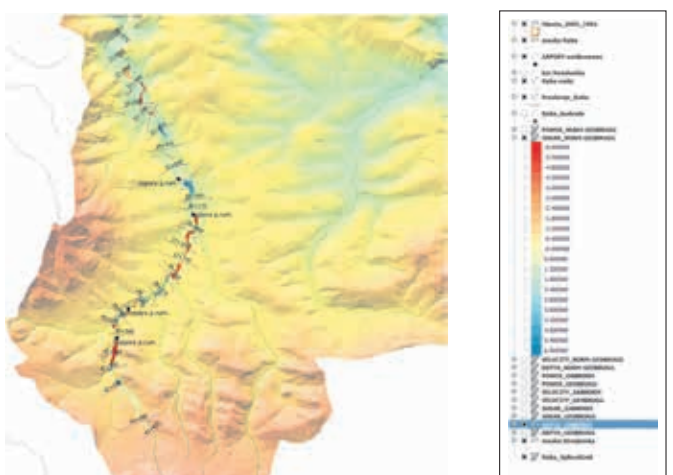
Ryc. 13. Analiza mocy strumienia [W/m²] – symulacja dla analizowanych zapor przeciwrumowiskowych, powiększenie



Ryc. 14. Analiza naprężeń [N/m²] – symulacja dla analizowanych zapor przeciwrumowiskowych, powiększenie



Ryc. 15. Analiza różnic mocy strumienia [W/m²] – symulacja dla analizowanych zapor przeciwrumowiskowych w porównaniu do zapor elastycznych



Ryc. 16. Analiza różnic naprężeń [N/m²] – symulacja dla analizowanych zapor przeciwrumowiskowych w porównaniu do zapor elastycznych

6. Przykłady innych zastosowań z zakresu zabezpieczenia przed erozją

Stosowanie zapór elastycznych umożliwia również rozwiązywanie problemów ze stabilizacją dna. Niniejszy przykład pokazuje praktyczne zastosowanie elastycznych barier zabezpieczających koryto poniżej



Ryc. 17. Przykład stabilizacji koryta w sąsiedztwie mostu – ochrona filarów mostu przez zastosowanie elastycznych barier przeciwrumowiskowych



Ryc. 18. Widoczna elastyczna bariera stabilizująca dno koryta na odcinku posadowienia mostu

mostu przed erozją i powstawaniem wyboju. Zawężenie koryta rzeki oraz wielkość wód powodziowych spowodowały nagromadzenie dużej ilości rumowiska na prawym brzegu rzeki Arges. W pierwszym etapie zaproponowano wzmocnienie prawego brzegu przez zastosowanie betonowych umocnień zabezpieczających rozmywanie koryta cieku. Alternatywą dla tak nieekologicznego rozwiązania była propozycja zastosowania dwóch elastycznych barier z siatki o pierścieniowych oczkach, rozpiętej na naciągniętej linie stalowej. W pierwszym okresie pracy takiego obiektu elastyczna zapora zatrzymała większe bloki skalne, które w efekcie utworzyły zapórę stabilizującą dno koryta, co pozwoliło w późniejszym okresie ekologicznymi metodami spełniać zadania zapory przeciwrumowiskowej. Kompletną instalację z dwoma barierami wykonano w ciągu miesiąca, bez potrzeby etapowania budowy i przekładania koryta. Siatka pierścieniowa została na dnie rzeki, w pełni wkomponowując się w koryto i spełniając założenia obliczeń hydrodynamicznych.

7. Podsumowanie

Artykuł prezentuje analizę wykonaną z wykorzystaniem modelowania hydrodynamicznego, uwzględniającą transport rumowiska dla rozwiązań w postaci porzecznej zabudowy hydrotechnicznej – typowych, betonowych zapór przeciwrumowiskowych oraz proponowanych elastycznych barier siatkowych. Wnioski z przeprowadzonych analiz pozwalają stwierdzić, że na odcinku zlokalizowanych zapór przeciwrumowiskowych elastyczne rozwiązania w mniejszym stopniu ingerują w parametry opisywane teorią geomorfologii fluwialnej, w tym przypadku moc strumienia oraz wartość naprężeń. Zakres wartości ekstremalnych jest mniejszy, a na analizowanych odcinkach nie występują tak duże zmiany tych parametrów. Świadczy to o bardziej proekologicznym charakterze proponowanej formy zabudowy porzecznej. Rozwiązania te nie dokonują separacji koryt oraz w mniejszym stopniu ingerują w stan ekologiczny wód.

Możliwości użycia barier elastycznych pozwalają stosować profilaktykę lub naprawę skutków w zakresie:

- obniżania się dna, prowadząc do pogłębiania się koryta przemieszczającego się w górę i w dół cieku;
- bocznej niestabilności koryta, będącej efektem nadmiaru energii cieku, która nie jest wydatkowana na transport rumowiska;
- rozwoju obrukowania dna, które może utrudniać tarło ryb litofilnych, lub odsłonięcia skalnego dna cieku, uniemożliwiającego odbycie tarła przez te ryby,
- podmywania mostów, budowli regulacyjnych;
- zmiany przebiegu koryta wywołane jego przerzutem do zwirowni zlokalizowanych na terasach zalewowych.

Literatura

- [1] Thorne C.R., Hey R.D., Newson M.D.: *Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management*. Chichester 1997.
- [2] Jeleński J., Gatkowska-Jeleńska D.: *Wykorzystanie metod geomorfologii fluwialnej do planowania zabezpieczeń komunikacyjnych budowli liniowych przez powodzią w terenach górzystych*. Dostępny w internecie: http://www.jot-raba.az.pl/pdf/wykorzystanie_metod.pdf (dostęp 24 czerwca 2014 r.).
- [3] Bartnik W., Michalik A., Bednarczyk T.: *Równanie transportu rumowiska wle-*

czonego dla rzek Podkarpacia. „Gospodarka Wodna” 1998, nr 7.

- [4] Bartnik W., Książek L.: *Regulacja rzek i potoków górskich w warunkach równowagi hydrodynamicznej*. „Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich” 2007, nr 4.
- [5] Mroziak M., Baraniak P.: *Konstrukcje chroniące przed spływami gruzowymi i spadającymi odłamkami skalnymi – testowanie, wymiarowanie, instalacja, użytkowanie*. „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne” 2011, nr 2 (35), s. 42–47.
- [6] Łajczak A.: *Zróżnicowanie transportu zawiesiny w karpackiej części dorzecza Wisły*. „Dokumentacja Geograficzna” 1989, z. 5.
- [7] Bartnik W.: *Hydraulika potoków i rzek górskich z dnem ruchomym. Początek ruchu rumowiska wlezonego*. Rozprawa habilitacyjna, nr 172, 1992, Akademia Rolnicza w Krakowie.
- [8] Lenar-Matyas A., Ratomski J., Witkowska H.: *Zmiany granulacji w procesie erozji poniżej budowli piętrzącej*. Materiały III Konferencji Naukowej *Współczesne problemy Inżynierii Wodnej*, Wisła 1997, s. 330–335.
- [9] Graf W.H.: *Hydraulics of Sediment Transport*. McGraw-Hill Book Comp., 1971.
- [10] Michalik A.: *Badania intensywności transportu rumowiska wlezonego w rzekach karpackich*. Rozprawa habilitacyjna, nr 38, 1990, Akademia Rolnicza w Krakowie.
- [11] Osuch B.: *Rozkład uziarnienia niespoistego materiału skalnego w przekrojach niektórych odcinków cieków karpackich*. „Czasopismo Techniczne” 1965, nr 10.
- [12] Słota H., Szczęsny J.: *Metodyka poboru reprezentatywnych prób rumowiska dennego w warunkach górskich*. „Gospodarka Wodna” 1974, nr 2.
- [13] Stelczer K.: *Bed-load transport, Theory and practice*. Water Resources Publications, 1981.
- [14] Bartnik W., Michalik A.: *Transport rumowiska wlezonego w fali powodziowej*. XX Ogólnopolska Szkoła Hydrauliki *Współczesne problemy hydrauliki wód śródlądowych*, Kraków–Ustroń–Jaszowice, wrzesień 2000.
- [15] Bojarski A., Jeleński J., Jelonek M., Litewka T., Wyżga B., Zalewski J.: *Zasady dobrej praktyki w utrzymaniu rzek i potoków górskich*. Warszawa 2005.
- [16] *Stan środowiska rzek południowej Polski i możliwości jego poprawy – wybrane aspekty*. Red. B. Wyżga. Kraków 2008.