

Podsypka filtracyjna a narzut kamienny ubezpieczający brzegi cieków górskich

Prof. dr hab. inż. Artur Radecki-Pawlik, prof. dr hab. inż. Krzysztof Stypuła,
mgr inż. Bartosz Radecki-Pawlik, Politechnika Krakowska
Mateusz Brzęk, dr hab. inż. Karol Plesiński, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

1. Wprowadzenie

Umocnienie brzegu zapewnia jego stateczność i zabezpiecza go przed erozją wodną, a także przed innymi zjawiskami, takimi jak erozja wiatrowa, ruchy masowe czy działania człowieka. Zabezpieczenia te stosuje się na brzegach wód morskich i śródlądowych. Można je podzielić na trzy rodzaje: umocnienia brzegowe biologiczne, biotechniczne i techniczne.

Narzutem kamiennym nazywa się luźno ułożone kamienie lub starannie poukładane blisko siebie głązy, którymi ubezpiecza się dolne i środkowe pasy skarpy cieków w miejscach szczególnie narażonych na erozję. Zabezpiecza on te obszary przed rozmywaniem przez wodę płynącą lub falowanie. Ponieważ narzut jest często wykonany jedynie z naturalnych materiałów, które są łatwo dostępne, na wielu obszarach jest szeroko stosowany w pracach związanych z ograniczaniem erozji korytowej. Zazwyczaj układany jest za pomocą koparki przez operatora oraz często z pomocą drugiej osoby, która pomaga w odpowiednim ułożeniu dużych kamieni tak, aby były odpowiednio dopasowane i zachowały prawidłowe nachylenie. Jeśli narzut został starannie wykonany z odpowiednio dobranego materiału, będzie trwałym i długoletnim umocnieniem koryta cieków. Efektywne działanie wszelkiego rodzaju umocnień zależy od ich prawidłowego wykonania. W odniesieniu do umocnień z narzutu kamiennego istnieje szereg wytycznych dotyczących wymaganych właściwości fizycznych i mechanicznych kamieni oraz filtra.

Celem pracy jest analiza grubości kamieni użytych do budowy ubezpieczenia w postaci narzutu kamiennego oraz jego podsypki na dwóch obiektach w okolicy Starego Sącza oraz jednym – we wsi Głębokie (w trakcie budowy). W pracy zestawiono poszczególne wyniki pomiarów i przedstawiono w postaci krzywych przesiewu, a następnie sprawdzono warunki stateczności i przepuszczalności, które pozwolą określić, czy parametry rozmiaru podsypki i kamienia łamanego budującego umocnienie zostały dobrze dobrane. Uzyskane wyniki z dwóch pierwszych obiektów mogą posłużyć sprawdzeniu jakości wykonania narzutu

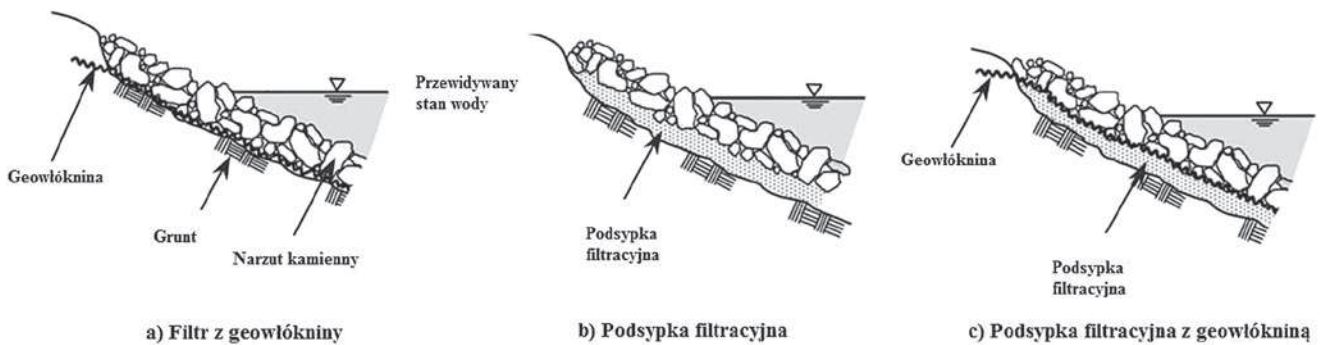
i porównaniu ich z wynikami pomiarów narzutu we wsi Głębokie, które będzie można przyjąć jako prognozę wytrzymałości na czynniki naturalne oraz próbę czasu.

2. Ubezpieczenie brzegów narzutem kamiennym

Zalecenia Ramowej Dyrektywy Wodnej Unii Europejskiej wskazują, aby dla utrzymywania koryt rzek i potoków górskich stosować środki „bliższe naturze” z kamienia łamanego i drewna, jak i narzuty kamienne, gabiony czy stopnie drewniane. Dobrą praktyką jest podejmowanie decyzji konstrukcyjnych we współpracy z przyrodnikami. Projektowanie narzutu wymaga wiedzy odnośnie budowy dna i brzegu koryta rzeki, materiału, jaki w niej występuje, warunków przepływu wody – w tym prędkości, głębokości i kierunku – oraz charakterystycznych wielkości materiałowych: rozmiaru, gęstości, trwałości i dostępności kamienia.

Jeśli narzut jest odpowiednio zaprojektowany, ma tę zaletę nad sztywnymi strukturami, że jest elastyczny podczas poddawania się oddziaływaniom dynamicznym ze strony prądów wodnych i zostaje funkcjonalny, gdy pojedyncze kamienie zostaną wymyte. Takie ubytki można również stosunkowo łatwo naprawić. Narzut kamienny ma wysoką hydrauliczną chropowatość, co osłabia fale i prądy. Odpowiednio skonstruowany może zapewnić długoterminową ochronę, jeśli jest poddawany inspekcji i okresowej konserwacji, zwłaszcza po powodziach. Kolejnymi zaletami takiej konstrukcji są niskie wymagania dotyczące konserwacji i wygoda w naprawie. Jako naturalny materiał nie zanieczyszcza wód, a podczas normalnych warunków przepływu rzeki może zapewnić kryjówkę i miejsce odpoczynku dla ryb oraz bezkręgowców wodnych.

Narzut kamienny może być użyty także jako środek nadzwyczajny, by zmniejszyć lub zatrzymać proces wymywania i erozji. Personel techniczno-remontowy może składować kamienie do użycia w przypadkach zagrożenia i zrzucać je bezpośrednio z wywrotki w zagrożone miejsce. Działania takie podejmowane często bez żadnego projektu, wzoru i przygotowania, w wyniku awaryjnych warunków mogą nie zapewnić długoterminowej ochrony.



Rys. 1. Przekrój poprzeczny kanału przedstawiający standardową konfigurację narzutu i warstwy filtracyjnej [5]

Choć koncepcja narzutu jest prosta, bardzo ważne w jego projektowaniu są obliczenia hydrauliczne. Mają one zapewnić, że geometria rzeki i rozmiar kamieni stosowanych do wykonania zostaną odpowiednio dopasowane do przewidywanych warunków przepływu tak, aby zabezpieczenie pozostało stabilne w każdych przewidywanych warunkach przepływu wody. Ponadto zaprojektowanie narzutu wymaga, aby szereg innych kwestii został odpowiednio uwzględniony, a w szczególności:

- klasyfikacja wielkości ziaren, która minimalizuje obecność pustych przestrzeni w obrębie warstwy ochronnej i powierzchnię pojedynczych skał narażonych na działanie sił pochodzących z przepływu,
- stosowanie warstwy filtracyjnej, tam gdzie jest to konieczne, aby zapobiec wymyciu materiału przez warstwę ochronną narzutu,
- odpowiednie rozciągnięcie na dystans w górę i w dół strumienia, które jest odpowiednie dla poziomu ochrony, jaki chce się osiągnąć oraz ogólnego kosztu ochrony,
- odpowiednia wysokość pokrycia narzutem brzegów rzeki, która jest odpowiednia dla poziomu ochrony, jaki chce się osiągnąć oraz ogólnego kosztu ochrony,
- posadowienie narzutu poniżej głębokości rozmycia,
- odpowiednia jakość skały.

Narzut kamienny stosuje się do umocnienia dolnego i środkowego pasa skarpy lub lokalnego zabezpieczenia skarpy w miejscach szczególnie narażonych na erozję [4]. Narzuty mogą być wykonywane – w płótkach lub bez – na podsypce ze żwiru o grubości 10–15 cm. Uzupełniając konstrukcję narzutu umocnieniem z sadzonek wiklinowych, uzyskujemy tzw. żywy narzut kamienny. W miejscach, w których występują wysięki, skarpe pod narzutem kamiennym dodatkowo zabezpiecza się geowłókniną (pod warstwą podsypki), spełniającą rolę filtra odwrotnego. Grubość narzutu kamiennego nie powinna być mniejsza niż 30 cm, a nachylenie nie większe od 1:2 [1]. Kamień do wykonania narzutu powinien być niezwiertzały oraz odporny na działanie wody, mrozu, jak i odporny na działanie związków chemicznych znajdujących się w wodzie (przykładowo: granit, porfir, andezyt oraz piaskowiec twardy i średnio twardy).

Zalecane właściwości fizyczne i mechaniczne kamienia łamanego:

- wytrzymałość na ściskanie w stanie suchopowietrzny 20–80 MPa,
- mrozoodporność w cyklach min. 21–25,
- ścieralność na tarczy Boehmego 0,25–05,
- ciężar objętościowy: dla skał magmowych i przeobrażonych $g = 2,4–3,0 \text{ kN/m}^3$, dla skał osadowych $g = 1,9–3,0 \text{ kN/m}^3$,
- nasiąkliwość wodą 0,5–12%.

Istotnym elementem konstrukcji z narzutu kamiennego, wymagającym osobnego omówienia, jest filtr. Główną funkcją filtra jest utrzymanie bliskiego kontaktu pomiędzy narzutem a gruntem poprzez utworzenie stabilnej powierzchni przylegania [5]. W praktyce filtr realizowany jest przez zastosowanie geowłókniny lub podsypki z kruszywa o odpowiednim uziarnieniu. W pewnych sytuacjach zalecane jest użycie łączzonego filtra zawierającego zarówno warstwę ziarnistą, jak i geowłókninę [5]. Potrzebę użycia i sposób zaprojektowania warstwy filtracyjnej determinuje charakterystyka gleby zalegającej pod narzutem. W przypadkach, gdzie grunt składa się głównie ze stosunkowo dużych cząstek (gruby piasek i żwir), nie wymaga się stosowania warstwy filtracyjnej. Ostrożne projektowanie, selekcja i instalacja odpowiedniego materiału, pełniącego funkcję filtra, odgrywa ważną rolę w poprawnym funkcjonowaniu narzutu. Schemat trzech najbardziej typowych układów filtra w narzucie kamiennym [5] pokazuje rysunek 1. Wśród głównych zadań filtra należy wymienić:

- zatrzymanie cząsteczek gleby,
- zapewnienie strefy wolnego przepływu pomiędzy narzutem a gruntem [5].

W celu zachowania właściwej retencji gleby pory w filtrze powinny być małe. Równocześnie utrzymanie dużej przepuszczalności filtra wymaga większych porów o dużym zagęszczeniu. Chcąc osiągnąć pełną funkcjonalność filtra, konieczne jest zachowanie równowagi pomiędzy retencją a przepuszczalnością. Warunek ten wiąże się ze znalezieniem optymalnego materiału, łączącego zarówno zachowanie retencji gleby, jak i przepuszczalność filtra. Należy pamiętać, iż w zależności od wewnętrznej stateczności gleby oraz rozmiaru porów w filtrze wraz z upływem czasu zachodzą procesy zmieniające jego strukturę.



Rys. 2. Układ sieci rzecznej zlewni Popradu

Jak podkreśla Molski [7] niekorzystne oddziaływanie filtracji na stateczność ziemnych budowli hydrotechnicznych i podłoża – w tym zabezpieczeń brzegów – może przejawiać się w postaci kurzawek (upłynniania gruntu), sufozji, przebicia hydraulicznego lub wyparcia [6, 8, 9, 10, 12, 13,]. Należy zauważyć, że występujące zmiany w gruncie wywołane filtracją nie występują w jednej tylko z wymienionych postaci, lecz są ze sobą w większym lub mniejszym stopniu połączone [2, 14].

3. Materiały i metody

3.1. Opis badanej zlewni

Poprad ma swój początek we wschodniej Słowacji z połączenia dwóch górskich potoków, Hińczowego Potoku z potokiem Krupa, które wypływają z jezior w Tatrach Wysokich. Strumienie łączą się w Dolinie Miękuszwieckiej na wysokości 1302 m. Uchodzi do prawego brzegu rzeki Dunajec w km 111+ 800. Długość całkowita wynosi 169,8 km, a powierzchnia jej zlewni to obszar 2077,30 km². Po stronie słowackiej przepływa przez takie miasta jak Poprad, Kieżmark oraz Stara Lubowňa. Granicę polską przekracza we wsi Ćirč i przełomową doliną płynie przez Beskid Sądecki, mocno meandrując i rozdzielając dwa pasma górskie – pasmo Radziejowej i pasmo Jaworzyny. Stanowi granicę polsko-słowacką na dwóch odcinkach – najpierw od Leluchowa do Muszyny (5,1 km), a potem od Legnavy do Piwnicznej-Zdroju (26 km). Wzdłuż całego odcinka słowackiego Popradu biegnie linia kolejowa i droga. Na polskiej stronie wzdłuż rzeki biegnie droga widokowa z Krynicy-Zdroju do Piwnicznej-Zdroju i linia kolejowa z Nowego Sącza do Preszowa.

W granicach Polski znajduje się jedynie ujściowy odcinek, który ma długość 62,1 km, a powierzchnia jego zlewni wynosi 482,8 km². Przeważająca część zlewni leży na terenach Słowacji. Sieć wodna zlewni Popradu wraz z dopływami (rys. 1) jest bardzo rozwinięta, pokrywając tereny gęstą siecią dolin prowadzących wody do głównego odbiornika.

Rzeka nie ma większych dopływów, jedynie górskie rzeczki i potoki. Pierwszym dopływem Popradu na terenie Polski jest potok Smereczek. Biegnie on głównie po granicy Polski i Słowacji, ale blisko 70% powierzchni jego zlewni leży po stronie polskiej. Około 700 m powyżej wodowskazu Muszyna Milik do Popradu uchodzi Muszynka, która jest jego największym dopływem na terenie Polski.

3.2. Badane narzuty z kamienia łamanego

Pomiary wykonano na 3 narzutach zlokalizowanych na rzece Poprad w okolicach miejscowości Stary Sącz – narzut nr 1 i 2 oraz wsi Głębokie – narzut nr 3. Koryto na tym odcinku jest kamieniste z odsypiskami żwirowymi. Brzegi porośnięte są zakrzaczami nie stanowiącymi znaczącej wartości przyrodniczej.

Narzut numer 1 znajduje się na prawym brzegu rzeki. Jego długość wynosi ok. 300 m. Wzdłuż całej jego długości wytworzyła się łacha korytowa, która mocno porośła roślinnością. Gęsta roślinność występuje także nad narzutem. Po dokładnych oględzinach można zauważyć pojedyncze ubytki mniejszych kamieni narzutu. Końcowa jego część za mostem kolejowym została jednak w części rozmyta (rys. 3 i 4).

Narzut numer 2 wybudowano na lewym brzegu rzeki, ma około 650 m długości. Jest ułożony od mostu kolejowego w górę rzeki Poprad. Występuje na nim gęsta roślinność. W konstrukcji pojawiają się pewne ubytki kamienia, zwłaszcza w dolnych warstwach narzutu (rys. 5 i 6). W części



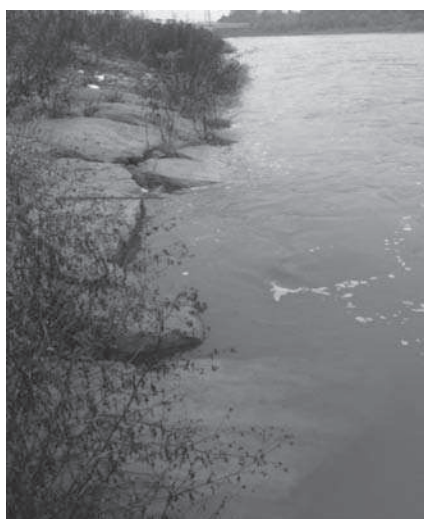
Rys. 3. Widok na narzut nr 1 z mostu kolejowego (w stronę ujścia)



Rys. 4. Rozmyta część narzutu



Rys. 5. Widok na narzut nr 2 z mostu kolejowego



Rys. 6. Ubytek w dolnej warstwie narzutu

narzutu przy moście oraz na początku umocnienia wytworzyła się łacha żwirowa.

Narzut numer 3 (rys. 7 i 8) jest to nowo powstałe umocnienie prawego brzegu rzeki Poprad, który został zerwany po powodzi w 2010 roku. Do 2010 roku na tej powierzchni znajdowała się droga łącząca gminy Rytro z Piwniczną i stanowiła dojazd do istniejących zabudowań na tym brzegu. Został zniszczony również domek wypoczynkowy, a rzeka zbliżyła się bezpośrednio do pozostałych zabudowań. Całkowita długość opaski wynosi około 360 m, a jej wysokość to 4,0 m. Nachylenie od koryta rzeki wynosi 1:2 i jest posadowiony min 1,0 m poniżej dna rzeki.

3.3. Metodyka badań

Metodyka opierała się na wyznaczeniu kilku stanowisk badawczych z narzutem kamiennym i łachą poniżej. Na każdym ze stanowisk został przeprowadzony szereg pomiarów granulometrii według metody Wolmana [11]. Zostało zmierzone po 100 głazów w narzucie i 100 kamieni rumowiska w każdym badanym punkcie. Uwzględniając średnice, została określona przynależność kolejnych próbek do odpowiednich klas wielkości. Następnie wykonane zostały krzywe granulometryczne. Na ich podstawie zostały sprawdzone warunki stateczności i przepuszczalności narzutu. Kolejnym krokiem było obliczenie średnic charakterystycznych dla narzutu i ich analiza.



Rys. 7. Narzut nr 3 w konstrukcji



Rys. 8. Ukończony odcinek narzutu nr 3

W celu zabezpieczenia brzegów rzeki przed erozją może się okazać konieczne użycie dodatkowo filtra w narzucie kamiennym. Zapobiega on wymywaniu drobnego materiału ze szczelin w warstwie narzutu kamieni. W normalnych warunkach filtr konieczny jest tylko wtedy, gdy leżący pod warstwą narzutu materiał jest bardzo niespójny (na przykład jednorodny piasek, muł) lub gdy potrzebny jest niezwykle wysoki współczynnik bezpieczeństwa. Zapotrzebowanie na filtr może być sprawdzone również przez warunki stateczności i przepuszczalności. Wartości średnic do warunków odczytywane są z krzywych granulometrycznych [3]. Celem sprawdzenia prawidłowości wykonania narzutu sprawdzono dwa warunki.

Warunek stateczności I:

$$\frac{D_{15}(\text{narzut})}{D_{85}(\text{materiał nabrzeżny})} \leq 5 \quad (1)$$

Warunek stateczności II:

$$\frac{D_{50}(\text{narzut})}{D_{50}(\text{materiał nabrzeżny})} \leq 25 \quad (2)$$

Warunek przepuszczalności:

$$\frac{D_{15}(\text{narzut})}{D_{15}(\text{materiał nabrzeżny})} \leq 5 \quad (3)$$

gdzie:

D – średnica ziaren odczytywana z krzywych granulometrycznych.

W przypadku, gdy zależność średnicy ziaren narzutu od materiału nabrzeżnego nie spełnia warunku, zachodzi potrzeba zastosowania filtru [3].

4. Wyniki badań wraz z dyskusją

Wyniki badań (dla analizowanych narzutów kamiennych przedstawiono na rysunkach 9–14. Są to krzywe uziarnienia dla podsypki kolejnych analizowanych narzutów (o numerach 1, 2 i 3) oraz krzywe uziarnienia narzutów. Z kolei w tabeli 1 zebrano wyniki obliczeń warunków prawidłowej pracy narzutu w stosunku do dobranej podsypki filtracyjnej.

Warunek stateczności I

Nie został on spełniony dla narzutów numer 1 oraz 2. Do jego spełnienia konieczne byłoby zwiększenie średnicy ziaren podsypki. Dla narzutu numer 1 minimalny rozmiar do spełnienia warunku wyniósł $D_{85} = 88$ mm, obecnie jest 71 mm. W narzucie numer 2 minimalny rozmiar do spełnienia warunku wyniósł $D_{85} = 94$ mm, a obecnie wynosi on 68 mm. Wyniki w obu narzutach są zbliżone.

Narzut numer 3 spełnił pierwszy warunek stateczności. Średnica zastępcza D_{85} wyniosła 115 mm, a więc była większa niż w poprzednich przypadkach. Także średnica zastępcza dla narzutu D_{15} była mniejsza niż w narzutach numer 1 i 2, co przyczyniło się do pozytywnego wyniku. Minimalny rozmiar ziaren podsypki konieczny do spełnienia warunku wyniósł $D_{85} = 78$ mm.

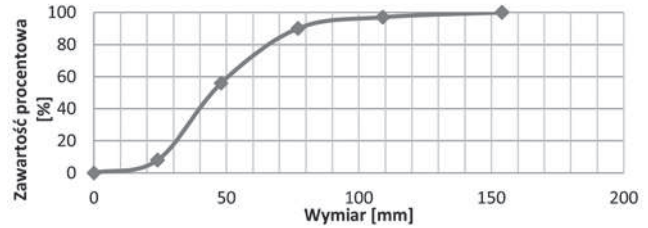
Warunek stateczności II

Drugi warunek stateczności $D_{50}/D_{15} \leq 25$ został spełniony dla wszystkich trzech przypadków. Dla narzutu numer 1 minimalny rozmiar do spełnienia warunku wyniósł $D_{25} = 24$ mm, obecnie wynosi on 33 mm. Dla narzutu numer 2 minimalny rozmiar do spełnienia warunku wyniósł $D_{25} = 26$ mm, obecnie jest 34 mm. Dla narzutu numer 3 minimalny rozmiar do spełnienia warunku wyniósł $D_{25} = 23$ mm, obecnie jest 42 mm. Wszystkie warunki zostały spełnione z znaczącym zapasem.

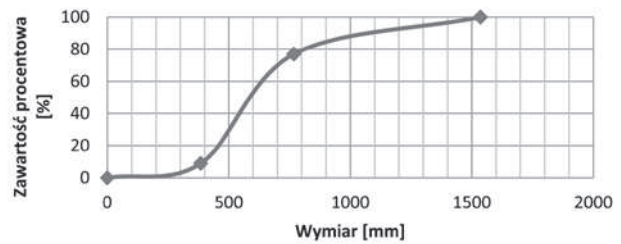
Warunek przepuszczalności

Warunek ten nie został spełniony dla żadnego z obiektów badań. Średnica podsypki D_{15} w każdym przypadku była dużo mniejsza od minimalnego rozmiaru koniecznego do spełnienia warunku. Dla narzutu numer 1 minimalny rozmiar do spełnienia warunku wyniósł $D_{15} = 88$ mm, obecnie jest 28 mm. Dla narzutu numer 2 minimalny rozmiar do spełnienia warunku wyniósł $D_{15} = 94$ mm, obecnie jest 30 mm. Dla narzutu numer 3 minimalny rozmiar do spełnienia warunku wyniósł $D_{15} = 78$ mm, obecnie jest 35 mm.

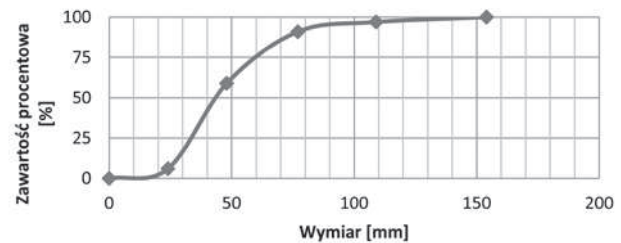
Wyniki obliczeń pokazują 5 niespełnionych warunków stateczności narzutu w stosunku do 4 spełnionych. Może się to wydawać wynikiem niezbyt dobrym pomimo tego, że narzuty zostały starannie i odpowiednio ułożone i zastosowano w nich podsypkę. Prawdopodobnie materiał filtracyjny, który został wbudowany, był materiałem miejscowym



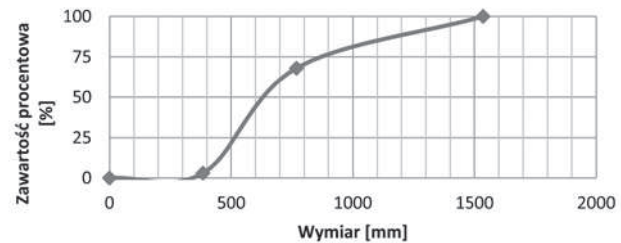
Rys. 9. Wykres krzywej uziarnienia dla podsypki narzutu nr 1



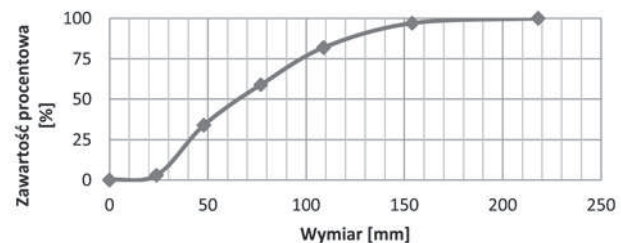
Rys. 10. Wykres krzywej uziarnienia kamieni łamanych dla narzutu nr 1



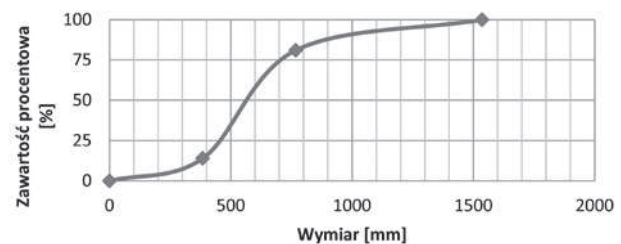
Rys. 11. Wykres krzywej uziarnienia dla podsypki narzutu nr 2



Rys. 12. Wykres krzywej uziarnienia kamieni łamanych dla narzutu nr 2



Rys. 13. Wykres krzywej uziarnienia dla podsypki narzutu nr 3



Rys. 14. Wykres krzywej uziarnienia kamieni łamanych dla narzutu nr 3

Tabela 1. Zestawienie obliczeń warunków stateczności i przepuszczalności

Warunek stateczności I $D_{15}/D_{85} \leq 5$			
Numer narzutu	narzut D_{15} [mm]	podsyпка D_{85} [mm]	Wynik
1	440	71	6,20
2	470	68	6,91
3	390	115	3,39
Drugi warunek stateczności II $D_{50}/D_{30} \leq 25$			
Numer narzutu	narzut D_{50} [mm]	podsyпка D_{25} [mm]	Wynik
1	590	33	17,88
2	630	34	18,53
3	560	42	13,33
Warunek przepuszczalności $D_{15}/D_{15} \leq 5$			
Numer narzutu	narzut D_{15} [mm]	podsyпка D_{15} [mm]	Wynik
1	440	28	15,71
2	470	30	15,67
3	390	35	11,14

pochodzącym z rumowiska wlezonego i odkładanego przez rzekę Poprad. Mógł więc nie być specjalnie dobrany pod konkretne średnice kamieni narzutowych. Mimo wszystko spełnia niektóre warunki i daje pewne zabezpieczenie konstrukcji.

Częstą praktyką w wykonywaniu narzutów jest układanie skał bezpośrednio na wyprofilowanym brzegu jedynie na geowłókninie lub bezpośrednio na gruncie, co przy niezabezpieczonych przyczółkach na początku i końcu umocnienia może powodować jego łatwe podmywanie. Obecnie do wykonywania narzutów kamiennych jako wierzchnią warstwę stosuje się najczęściej duże skały o znacznych średnicach, które jeśli nie mają odpowiedniej chropowatości, powodują wzrost prędkości wody wezbraniowej płynącej po umocnieniu. Może się to przyczynić do wymywania mniejszych kamieni i tworzenia szczelin, przez które woda może dostać się pod narzut i wypłukiwać materiał filtracyjny.

Alternatywnie dla narzutu kamiennego w niektórych miejscach, takich jak przyczółki mostów czy podmywane brzegi rzeki, stosuje się umocnienie z koszy lub materacy siatkowo-kamiennych, które również zapewniają dobrą ochronę i mają pewną elastyczność konstrukcji pozwalającą zachować jej funkcjonalność w razie uszkodzenia. Do ich układania nie jest konieczna podsyпка, gdyż same w sobie charakteryzują się zdolnością do filtracji wody.

Aktualnym tematem jest ciągle renaturyzacja rzek i potoków, jednak w pewnych miejscach ochrona brzegów jest konieczna. Szybkie wezbrania po nawalnych opadach na rzekach i potokach górskich mają niszczycielską moc. W kilka godzin mogą podmyć niezabezpieczony brzeg i oberwać drogę lub zbliżyć się do zabudowań i osiedli, stwarzając realne zagrożenie dla zdrowia i mienia ludzi na tym obszarze. Narzut kamienny dobrze sprawdza się jako umocnienie w takiej sytuacji. Jako ciężkie i trwałe ubezpieczenie, gdy jest dobrze wykonane, może zapewnić odpowiedni poziom ochrony. Zarazem łatwo można go wtopić w naturalny krajobraz

okolicy i wygląd koryta rzeki poprzez obsypanie jego górnej części ziemią i zasianiem trawy lub stosowaniem brzegoskłonów. Pewną alternatywą dla podsyпки filtracyjnej może być układanie narzutu na wyściółce z faszyny (faszynada), która gdy się zakorzeni, to stabilizuje brzeg, a gdy jej pędy przerosną między szparami narzutu, to zakryją umocnienie i nadadzą brzegom naturalny charakter.

5. Podsumowanie

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że konieczna byłaby zmiana kamieni o minimalnej średnicy w podsyponce filtracyjnej, tak by został spełniony warunek przepuszczalności. Występuje tu największa różnica pomiędzy minimalnym rozmiarem do spełnienia tego warunku a obecnie zastosowanym kamieniem. Zwiększenie tej średnicy pozwoli na spełnienie także pozostałych warunków stateczności. Pomimo niespełnienia dwóch z trzech warunków narzutu przy moście kolejowym na granicy Starego i Nowego Sącza są w dobrym stanie. Wykonane jesienią 2013 roku do tej pory mają tylko kilka ubytków, które można naprawić niewielkim nakładem środków.

Narzut numer 3 w miejscowości Głęboke wykonany pod koniec 2016 roku spełnia 2 warunki stateczności, a nie spełnił warunku przepuszczalności. Jest to wynik lepszy niż dwa poprzednie obiekty badań. Biorąc pod uwagę stan narzutów 1 i 2, daje to podstawy do założenia, że sprostą on próbie czasu.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Jędryka E., Budowle wodne z naturalnych materiałów, Woda-Środowisko- Obszary wiejskie, Instytut Melioracji i Użytków Zielonych, tom 7, zeszyt 2b (21)2007, Falenty, str. 55–74
- [2] Jędryka E., Kamińska A., Małe budowle wodne z gabionów – charakterystyka i badania wstępne, Woda-Środowisko- Obszary wiejskie, Instytut Melioracji i Użytków Zielonych, tom 4, zeszyt 2a (11)2007, Falenty, str. 95–110
- [3] Keller R. J., Fowler K., Guidelines for the Design of River Bank Stability and Protection using RIP-RAP, Catchment Hydrology, Australia, 2005, str. 15–19
- [4] Korpak J., Krzemień K., Radecki-Pawlik A., Wpływ czynników antropogenicznych na zmiany koryt cieków karpackich, Polska Akademia Nauk, Kraków, 2008, str. 13–15
- [5] Lagasse P. F., Clopper P. E., Zevenbergen L. W., Ruff J. F., Riprap Design Criteria, Recommended Specifications, and Quality Control. Ayres Associates Inc., Washington, 2006, str. 17–18
- [6] Molski T., Parylak K., Badania geotechniczne i analizy warunków stateczności obwałowań kanału derywacyjnego i zbiornika wyrównawczego zakładów energetycznych w Dychowie, Instytut Inżynierii Środowiska, AR Wrocław, 1997
- [7] Molski T., Wpływ warunków filtracji naporowej na stateczność ziemnych budowli hydrotechnicznych i podłoża, Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, Wrocław, 2010
- [8] Philip L. F., Liggett J. A., Boundary Solutions to Two Problems in Porous Media, Journal of the Hydraulics Division ASCE, tom 105, nr HY3, marzec 1979
- [9] Pisarczyk S., Gruntoznawstwo inżynierskie, PWN, Warszawa, 2001
- [10] Wiłun Z., Zarys geotechniki, WKiŁ, Warszawa, 1982
- [11] Wolman M. J., A method of sampling coarse river bed material. Trans. Am. Geophys. Union, 35/1954, str. 951–956
- [12] Żak S., Właściwości hydrogeologiczne skał – wzajemne relacje, Współczesne Problemy Hydrogeologii, tom II, część I, Gdańsk, 2003
- [13] Żak S., Ossowski J., Wpływ ciśnienia pływowego na właściwości gruntów spoistych, Współczesne Problemy Hydrogeologii, Kraków-Krynica
- [14] Żbikowski A., Małe budowle wodne, część I, Jazy i zapory, PWN, Warszawa, 1962
- [15] Drainage Manual, Chapter 7 – <http://www.ct.gov/dot/cwp/view.asp?a=3200&q=260100> (08.09.2016)