

ROZMYCIA PONIŻEJ BUDOWLI PIĘTRZĄCYCH I ICH WPŁYW NA ŚRODOWISKO PRZYRODNICZE

Piotr Siwicki, Janusz Urbański

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Streszczenie. W pracy przedstawiono ogólną charakterystykę procesu rozmycia poniżej jazu przy wypływie spod i z nad zamknięcia. Większe głębokości rozmyć uzyskano przy przepuszczaniu wód nad zamknięciem. Budowle wodne zmieniają naturalny reżim rzeki. Powstawanie wyboju stwarza specyficzne warunki dla rozwoju życia w środowisku wodnym. Przepływ w strefie rozmycia charakteryzuje się podwyższoną intensywnością turbulencji, wzrostem głębokości strumienia, zmniejszeniem średniej prędkości i zwiększeniem natlenienia wody.

Słowa kluczowe: erozja, wybój, przepływ w rzece

WSTĘP

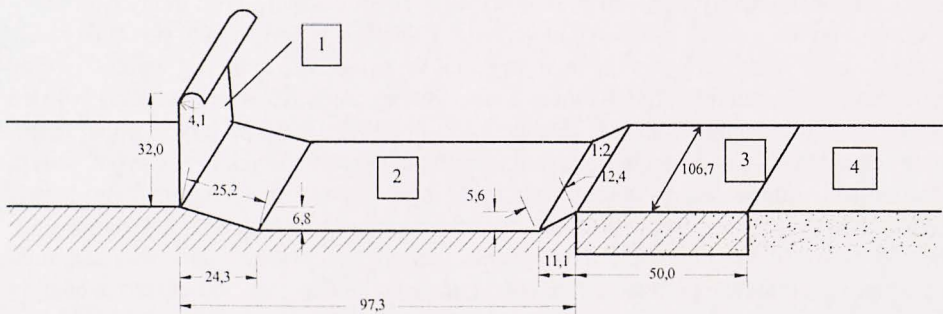
Wszystkie budowle piętrzące powodują, w mniejszym lub większym stopniu zmiany w środowisku. Zmiany te mogą być korzystne lub szkodliwe. Wskutek przegrodzenia rzeki zachodzą zmiany zarówno w stanowisku górnym budowli, jak i dolnym. Nastęstwem spiętrzenia wody może być utworzenie zbiornika, a tym samym powstają różne głębokości i szerokości koryta na jego długości. W związku ze zmianą głębokości wody zmieniają się warunki hydrodynamiczne, tzn. średnia prędkość przepływu oraz rozkład prędkości i turbulencji strumienia [Dąbkowski i in. 1982]. W wyniku tych zmian następuje odkładanie się początkowo grubych, a następnie drobniejszych cząstek rumowiska. Akumulacja rumowiska w zbiornikach może być w znacznym stopniu ograniczona przez zabezpieczenia przeciwerozyjne zlewni rzecznej, polegające na zalesianiu terenów oraz właściwej uprawie i użytkowaniu gleby. Pozbawiony rumowiska strumień opuszczający budowlę piętrzącą, charakteryzujący się dodatkowo podwyższoną energią kinetyczną i wzmożoną turbulencją, posiada dużą zdolność erodującą. Takie cechy

przepływu sprawiają, że cząstki materiału dennego łatwo są poruszane i odpajane od dna, a następnie wchłaniane przez strumień i przenoszone w dół rzeki. Skutkiem tego jest powstawanie i rozprzestrzenianie się miejscowych rozmyć dna i skarp koryta poniżej budowli i zwiększona akumulacja rumowiska na dalszym odcinku rzeki. Kształtujący się w czasie trwania przepływu dół rozmycia, w przypadku nadmiernego rozwoju, może zagrozić stałości budowli. W związku z tym zjawisko to jest niepożądane. W wyniku wielu badań prowadzonych w celu rozpoznania i opisu procesu rozmycia opracowano różne sposoby kontroli jego powstawania i ograniczania intensywności rozwoju. Procesu tego jednak nie można wyeliminować całkowicie. W związku z tym, że w ostatnich dziesięcioleciach szczególna uwaga skupiona jest na zmianach ekologicznych w środowisku wodnym oraz na otaczającym terenie, warto zastanowić się, jakie mogą być pozytywne dla środowiska aspekty powstawania lokalnych rozmyć. Aby można było tego dokonać, potrzebne jest dokładniejsze rozpoznanie tego zjawiska, tzn. znajomość przyczyn jego występowania, charakterystyka i przebieg procesu w czasie.

Przeprowadzono badania rozmyć na modelu jazu wyposażonym w płaskie zamknięcie, nieckę wypadową oraz umocnienia. Rozmycie powstawało za umocnieniami, na odcinku koryta wypełnionym piaskiem. Badania umożliwiły rozpoznanie mechanizmu tworzenia się wyboju oraz dokładniejszą charakterystykę tego procesu.

METODYKA BADAŃ

Schemat modelu jazu poddanego badaniom przedstawiono na rysunku 1. Za zasuwą piętrzącą powstawał odskok hydrauliczny zatopiony w niecce wypadowej. Za niecką znajdował się odcinek umocnionego dna, a za nim część koryta wypełniona piaskiem, gdzie rozwijał się wybój w czasie trwania przepływu. Model wykonany był w geometrycznej skali 1 : 30 i zlokalizowany w betonowym korycie prostokątnym. Ściany były wygładzone i pomalowane farbą olejną.



Rys. 1. Schemat i parametry badanej budowli piętrzącej: 1 – zasuwa piętrząca, 2 – dno niecki, 3 – umocnienie dna koryta, 4 – rozmywalny odcinek dna

Fig. 1. Schema and dimensions of investigated taired construction: 1 – spillway, 2 – bottom of water basins, 3 – bed protection, 4 – washing-out area

Przeprowadzone doświadczenia były dwojakiego rodzaju: z przepływem wody nad przelewem o zaokrąglonej krawędzi [Siwicki 2002] i z wypływem strumienia spod zasuwy [Urbański 2003]. Przeprowadzono je dla czterech natężeń przepływu (Q), którym odpowiadały określone napelnienia koryta (h) w stanowisku dolnym (tab. 1), zacierpięte z pracy Żbikowskiego [1970]. Czas formowania się wyboju wynosił 480 minut. Po tym czasie zatrzymywano proces i mierzono kubaturę dołu rozmycia. Podczas doświadczeń z wypływem wody spod zasuwy nad rozmytym dnem wykonywano pomiary prędkości w pionach płaszczyzny osiowej modelu wzdłuż drogi przepływu.

Tabela. 1 Charakterystyka hydraulicznych warunków przepływu podczas doświadczeń na modelu i odpowiadające im wartości w naturze

Table 1. Hydraulic parameters of flow during investigation and corresponding in natural

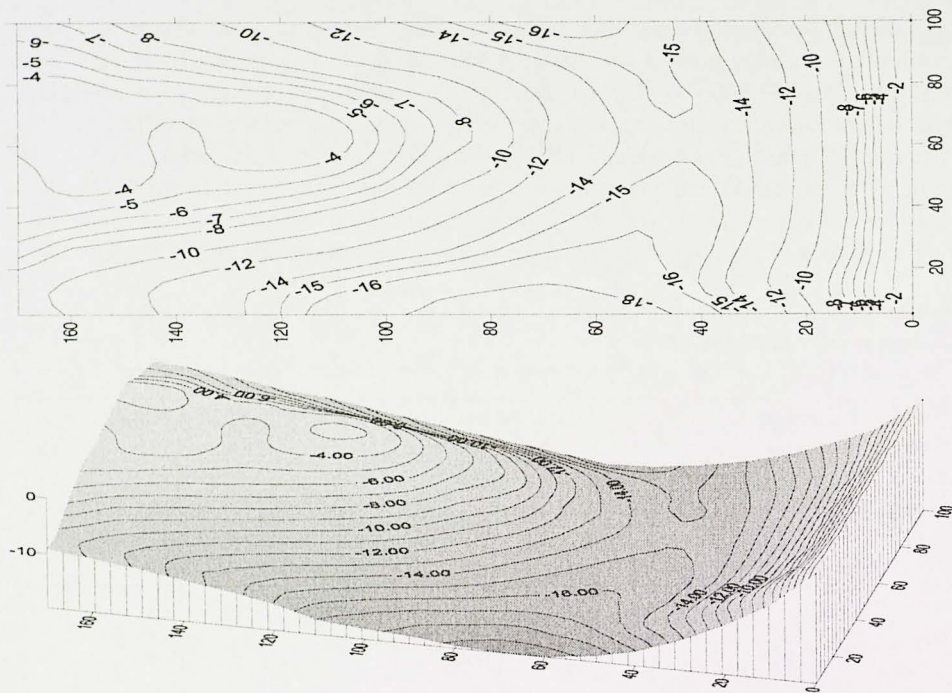
Parametr hydrauliczny Hydraulic parameter	Wartość na modelu Value in model	Wartość w naturze Value in natural
Q [m ³ /s]	0,024	3,2
	0 049	6,4
	0,073	9,6
	0,122	16,0
h [m]	0,092	2,75
	0,133	4,00
	0,165	4,95
	0,215	6,45
Q [m ³ /(s·m)]	0,024	4,0
	0,049	8,0
	0,073	12,0
	0,122	20,0

Dzięki zastosowanej metodzie stabilizacji powierzchni wyboju [Urbański 2003] można było wykonywać pomiary w warunkach ruchu ustalonego, gdyż uzyskiwano dno nierozmymalne. Wyniki tych pomiarów umożliwiły rozpoznanie struktury prędkości w uformowanym dole rozmycia.

WYNIKI I DYSKUSJA

Analizom poddano kształty profili podłużnych rozmytego dna w osi modelu. Profile rozmyć zdejmowano na całej szerokości modelu. Przykładowy kształt powstających rozmyć poniżej badanej budowli przedstawia rysunek 2.

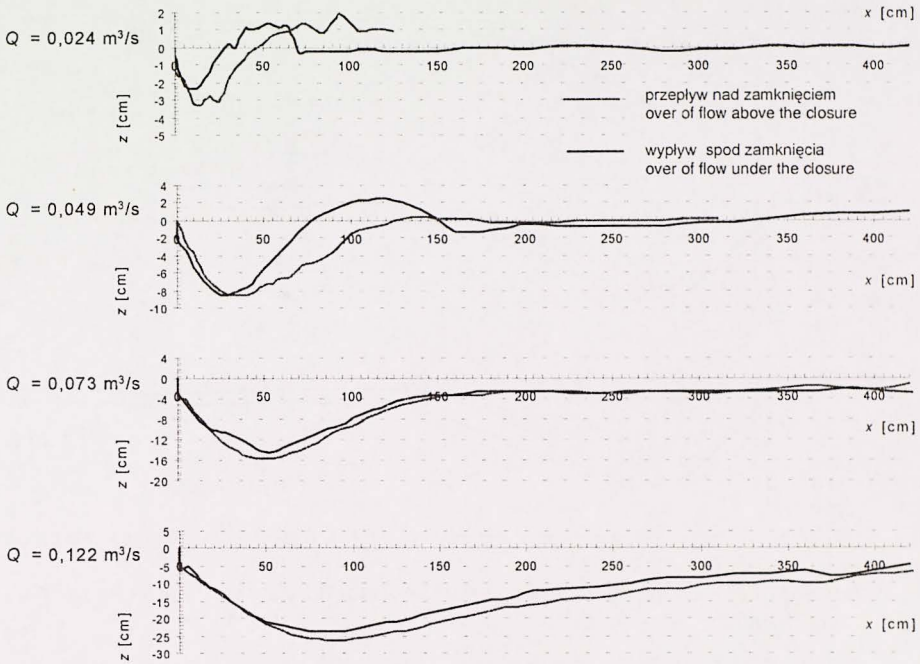
Porównano profile rozmyć ukształtowane w osiowej płaszczyźnie modelu przez strumień przelewający się przez ścianę piętrzącą z zaokrągloną krawędzią i wypływający spod zasuwy (rys. 3). Na rysunku 3 x oznacza odległość od końca umocnień, a z jest głębokością rozmycia. Wyniki doświadczeń wykazują, że sposób przepuszczania wody przez urządzenia upustowe budowli ma wpływ na głębokość i kształt wyboju. Większe głębokości rozmyć i wydłużone profile wybojów występują w przypadku



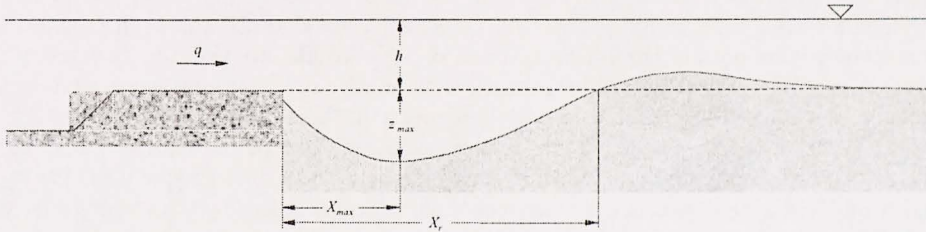
Rys. 2. Przykładowy kształt rozmycia dla przepływu $0,073 \text{ m}^3/\text{s}$
 Fig. 2. Sample of erosion shape for discharge $0,073 \text{ m}^3/\text{s}$

doświadczeń z przepływem wody nad przelewem. Podstawowe wymiary ukształtowanych podczas doświadczeń dolów rozmycia, tzn. h_{\max} , X_{\max} i X_r , zdefiniowane na rysunku 4, przeliczono na warunki naturalne, uwzględniając geometryczną skalę modelu. Wyniki zestawiono w tabeli 2. Przy najmniejszym badanym przepływie głębokość strumienia w miejscu występowania maksymalnego rozmycia zwiększyła się około 30% w stosunku do początkowej głębokości strumienia, a przy największym przepływie wzrosła ponad dwukrotnie. Wyboje, ukształtowane szczególnie przez maksymalne przepływy, mają wydłużone kształty i stanowią mogą swoistego rodzaju zbiorniki wodne, których geometrię można w pewnym stopniu kształtować, między innymi stosując różne sposoby przepuszczania wody przez budowlę.

Wskazują na to również wyniki analizy intensywności procesu rozmywania dna w czasie. Pomierzono podłużne profile rozmyć w osi modelu po 120, 240 i 360 minutach trwania przepływu o natężeniu $Q = 0,073 \text{ m}^3/\text{s}$. Wyniki pomiarów przedstawiono na rysunku 5. Analiza wykazuje, że rozmycie szybciej rozwijało się podczas doświadczeń z przepływem strumienia nad przelewem.



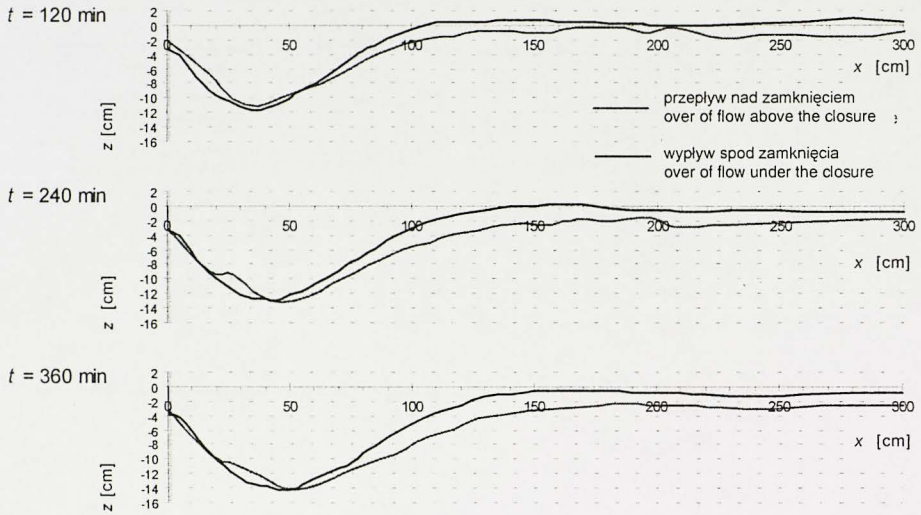
Rys. 3. Profile podłużne rozmyć pomierzone w osi modelu podczas doświadczeń
 Fig. 3. Profiles of erosion measured in axis of model during experience



Rys. 4. Podstawowe wymiary rozmycia poddane analizom
 Fig. 4. Base dimension of investigated scour

Tabela 2. Podstawowe wymiary badanych rozmyć przeliczone na warunki naturalne
 Table 2. Base dimension of investigated scour recalculated on natural condition

Q [m³/s]	h _{max} [m]		X _{max} [m]		X _r [m]	
	przelew	zasuwa	przelew	zasuwa	przelew	zasuwa
	over flow	gate	over flow	gate	over flow	gate
0,024	1,0	0,7	4,5	3,0	13,8	8,4
0,049	2,6	2,6	9,6	8,4	38,1	23,1
0,073	4,7	4,2	15,0	15,6	54,0	54,0
0,122	7,8	7,1	27,0	24,0	—	—

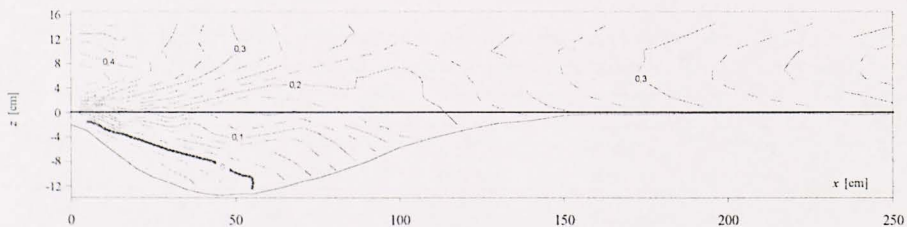


Rys. 5. Rozwój rozmycia w czasie przy przepływie $Q = 0,073 \text{ m}^3/\text{s}$ w różnych warunkach przepuszczania wody przez budowlę

Fig. 5. Develop of erosion in time at flow $Q = 0,073 \text{ m}^3/\text{s}$ for different conditions of transition of water through building

Wyniki pomiarów prędkości nad rozmytym i ustabilizowanym dnem w doświadczeniach z wypływem strumienia spod zasuw umożliwiły rozpoznanie struktury przepływu w wyboju. W obszarze rozmytego dna znacznie zmniejszone są średnie prędkości przepływu. Nad opadającym stokiem wyboju od strony umocnień występuje obszar wstecznego przepływu. Obrazuje to rozkład uśrednionych prędkości przedstawiony w postaci izolinii na rysunku 6. Wyniki analiz wykazały, że wielkość strefy o uśrednionej prędkości bliskiej zeru (tzw. obszar przydenne go wałka wodnego w wyboju) osiąga około 50% kubatury dołu rozmycia w fazie równowagi.

Specyficzny charakter przepływu w obrębie wyboju stanowi pewne zróżnicowanie warunków w porównaniu z rzeką w jej naturalnym biegu. Prędkość, z jaką płynie woda i związane z nią siły fizyczne, tworzą być może najważniejszy czynnik środowiskowy wpływający na organizmy żyjące w ciekach [Allan 1998]. Znaczne zmniejszenie prędkości w obszarze przydenne go wyboju prowadzi do powstania obszaru przepływu nazywanego w literaturze

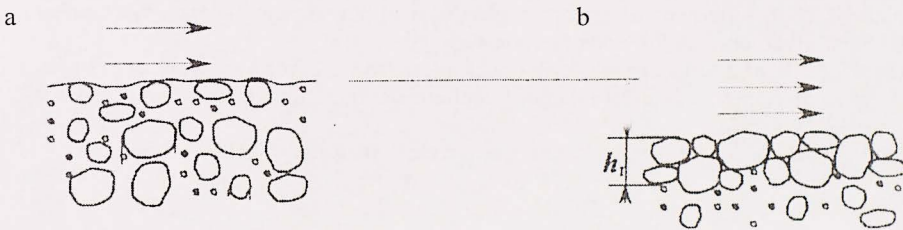


Rys. 6. Izolinie uśrednionych prędkości nad rozmytym w czasie 480 minut dnem przy przepływie $Q = 0,073 \text{ m}^3/\text{s}$

Fig. 6. Isoline of average velocities over eroded bed after 480 minutes for discharge $Q = 0,073 \text{ m}^3/\text{s}$

warstwą przyścienną [Ambühla 1959, za Allan 1998]. Warstwa ta może służyć organizmom jako schronienie przed turbulencją i dużymi prędkościami wody. W rozwiniętym dole rozmycia grubość warstwy przyściennej, o prędkości bliskiej zeru, ma znaczne rozmiary i w zasadzie tworzy ona lokalne obszary wody stojącej.

Szeroko badano przystosowania ryb do życia w wodzie stojącej i płynącej i stwierdzono, że jednym z ważniejszych czynników środowiskowych jest zawartość tlenu rozpuszczonego w wodzie. Natlenienie wody jest tym większe, im większa jest prędkość i burzliwość strumienia [Żelazo i Popek 2002], dlatego też woda po przejściu przez jaz ulega pewnemu napowietrzeniu, o czym świadczą pomierzone przyrosty prędkości i turbulencji strumienia w stanowisku dolnym względem stanowiska górnego. W wyniku procesu obrukowania w dole rozmycia, czyli wymywania cząstek drobniejszych, a pozostawienie na dnie grubszych frakcji, następuje sortowanie materiału na powierzchni dna i tworzy się bruk – warstwa utworzona z grubszych frakcji (rys. 7). Skład bruku zależy od wielkości naprężeń stycznych przy dnie, od stopnia niejednorodności uziarnienia, kształtu ziarn. Są to czynniki decydujące o strukturze pola prędkości przy dnie. Tego typu procesy, zachodzące w wyboju, stwarzają dość korzystne warunki środowiskowe dla wielu gatunków ryb, czyli dobrze napowietrzony nurt, grubszy materiał na dnie i spokojne miejsce zastoiskowe w obszarze warstwy przyściennej.



Rys. 7. Powierzchnia: a – przed obrukowaniem, b – po obrukowaniu [Zdankus 2001]

Fig. 7. Surface: a – before armorment process, b – after armorment process [Zdankus 2001]

Dół rozmycia w środowisku wodnym może być szczególnie pożądany w okresie niżówek. Stanowić może wówczas rodzaj zbiornika, w którym mogą przetrwać pewne gatunki wymagające do życia określonej głębokości wody. Jak wykazały badania, w obszarze wyboju spodziewać się można nawet dwukrotnego wzrostu głębokości strumienia. Obniżenie dna w postaci wyboju poniżej budowli korzystne może być również w przypadku budowy przepławki dla ryb. Wlot i wylot przepławki musi być wystarczająco głęboko zanurzony pod zwierciadłem wody, a to mogłoby być utrudnione w dolnym stanowisku budowli, gdzie głębokości strumienia są mniejsze w stosunku do górnego stanowiska.

PODSUMOWANIE

Budowla piętrząca jest obiektem powodującym zmiany w reżimie i środowisku rzeki. Powstające poniżej tych budowli rozmycie miejscowe stwarza specyficzny charakter przepływu w jego obrębie. Strumień po przejściu przez budowlę charakteryzuje się

dużą burzliwością, co sprzyja jego napowietrzeniu. W wyboju powstają korzystne warunki dla ryb w postaci napowietrzonego strumienia z grubszym materiałem na dnie i zastoiszkowej strefie przy dnie.

Wielkość rozmycia zależy od sposobu przepuszczania przepływu przez urządzenia upustowe budowli. Przeprowadzone badania modelowe wykazały, że przy przepływie nad zamknięciem uzyskuje się większe głębokości rozmyć niż przy wypływie strumienia spod zasuw.

PIŚMIENNICTWO

- Allan J.D., 1998. Ekologia wód płynących. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Dąbkowski L., Skibiński J., Żbikowski A., 1982. Hydrauliczne podstawy projektów wodno-melioracyjnych. PWRiL, Warszawa.
- Siwicki P., 2002. Analiza wpływu skali modelu i uziarnienia materiału dennego na kształtowanie się w warunkach laboratoryjnych rozmyć koryta poniżej jazu. Rozprawa doktorska, maszynopis. Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW, Warszawa.
- Urbański J., 2003. Mechanizm tworzenia się rozmyć za jazem w świetle eksperymentalnych badań modelowych. Rozprawa doktorska, maszynopis. Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW, Warszawa.
- Zdankus N., 2001. Influence of hydropower plant to river flow regime, International Conference on Small Hydropower – Proceedings. Kaunas, Lithuan.
- Żbikowski A., 1970. Badania laboratoryjne zależności głębokości rozmycia poniżej przelewu od długości umocnień i czasu trwania doświadczenia. Rozprawa doktorska, Politechnika Warszawska, Warszawa.
- Żelazo J., Poppek Z., 2002. Podstawy renaturyzacji rzek. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.

LOCAL SCOUR BELOW WATER STRUCTURES AND THEIR INFLUENCE ON ENVIRONMENT

Abstract. In paper is presented general characteristic of erosion process below the dam, differences in depth of scour for two cases of moving of flow through building. For overflow above the closure scour is deeper than for flow under closure. The tired constructions change regime of river. Development of scour creates specific conditions for life in water environment. Flow of stream characterizes increase of depth, decrease of average velocities, intensive of turbulence and aerate above eroded bed.

Key words: erosion, scour, river flow

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 20.10.2004