

STRATY HYDRAULICZNE NA KRATACH SPOWODOWANE MATERIAŁEM ORGANICZNYM UNOSZONYM PRZEZ WODĘ

THE HYDRAULIC LOSSES ON THE GRATING DUE TO ORGANIC MATERIAL CARRIED BY WATER

Natalia Walczak, Tomasz Kałuża, Mateusz Hämmerling,
Paweł Zawadzki, Zbigniew Walczak

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Streszczenie. Eksploatacja budowli piętrzących, a w szczególności małych elektrowni wodnych niesie ze sobą wiele problemów natury technicznej. Jednym z nich jest osadzanie się na kratkach materiału niesionego przez wodę. Zadaniem krat jest ochrona ujęć wody, pompy lub turbiny przed stałymi zanieczyszczeniami płynącymi wraz z wodą. Przy doborze krat istotne jest określenie strat hydraulicznych, które zależą m.in. od szerokości, kształtu i rozstawy prętów kraty czy prędkości przepływu wody. Całkowitą wysokość strat możemy określić, uwzględniając: straty wejściowe, straty na kratkach, straty spowodowane obecnością wnęk bocznych. Straty te mogą powiększyć się w warunkach osadzania się na kratkach materiału organicznego niesionego nurtem wody. Zwiększa to prędkość oraz opory przepływu. W pracy przeanalizowano wpływ zatrzymanego na kratkach materiału organicznego i innych zanieczyszczeń pływających na straty hydrauliczne.

Abstract. Operation of dams, especially small hydro-electric power station entails many technical problems. One of them is the deposition of material carried by the water on the grating. The task is purpose of the grating is the water pump or turbine against solid contaminants flowing with the water. When selecting the grating it is important to determine the hydraulic losses, which depend inter alia on the width, shape and spacing of lattice bars, and the water flow rate. The total amount of loss can be defined taking into account: the input losses, losses on trellises, the losses caused by the presence of side cavities. These

Adres do korespondencji – Corresponding authors: dr inż. Natalia Walczak, dr hab. inż. Tomasz Kałuża, dr inż. Mateusz Hämmerling, dr inż. Paweł Zawadzki, Katedra Inżynierii Wodnej i Sanitarnej, dr inż. Zbigniew Walczak, Instytut Budownictwa i Geoinżynierii, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Piątkowska 94A, 60-649 Poznań, e-mail: natwal@wp.pl.

Praca sfinansowana ze środków Narodowego Centrum Nauki przyznanych na podstawie decyzji numer DEC-2011/01/B/ST10/06959.

losses can increase when organic material carried by the flow of water accumulates on the trellises and increases the speed and flow resistance. The paper analyzes the hydraulic losses and demonstrates the impact on trellises of the deposited organic material.

Słowa kluczowe: straty hydrauliczne, materiał organiczny, mała elektrownia wodna,

Keywords: hydraulic losses, organic material, small water power,

WSTĘP

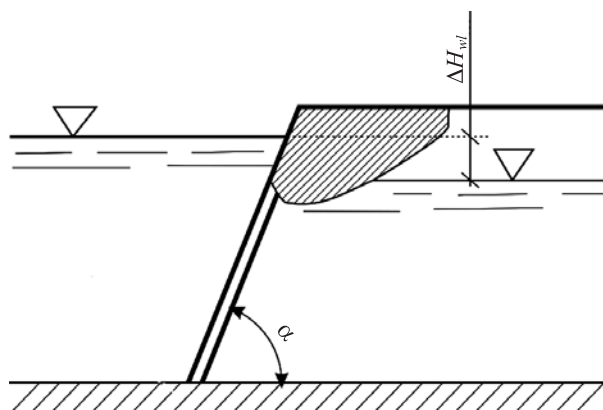
Nieodzownym elementem wszystkich budowli hydroenergetycznych jest ujęcie wody zasilającej turbiny (ryc. 1). Obliczenia hydrauliczne ujęcia wody MEW powinny zawierać [Balcerski 1969]: sprawdzenie nominalnego natężenia przepływu Q przy określonych poziomach wody (co sprowadza się do doboru czynnych przekrojów i obliczenia prędkości wody), analizę usytuowania budowli wlotowej ze względu na układ strug wody i sposób osadzania się rumowiska, skontrolowanie wysokości warstwy wody nad górną krawędzią wlotową dla uniknięcia napowietrzania przewodów zamkniętych oraz ustalenie strat hydraulicznych na fartuchach lodowych, kratkach rzadkich i gęstych, a także start lokalnych przy zmianach przekrojów, kierunków przepływu, we wnękach zasuw i na zasuwach częściowo otwartych. Z punktu widzenia działania MEW ujęcia wody muszą być tak zaprojektowane, by spełniały następujące zadania [Balcerski 1969]:

- 1) doprowadzenie określonej ilości wody do turbin,
- 2) przepływ z możliwie małymi stratami spadu,
- 3) zapewnienie stałej możliwości odcięcia dopływu wody lub regulacji ilości wody doprowadzanej do turbin,
- 4) eliminację z wody rumowiska wlezonego i unoszonego niszczącego turbiny lub zmniejszającego w wyniku ich osadzania czynne przekroje,
- 5) umożliwienie korzystnego rozwiązania budowli wchodzących w skład stopnia wodnego.

Procesy akumulacyjno-erozyjne w pobliżu budowli wodnych rozwijają się w zależności od okresu eksploatacji obiektu, reżimu hydrologicznego oraz zmian morfologii koryta cieku [Bajkowski 2010]. Istotne jest, aby wloty i ujęcia prowadzące wodę roboczą do turbiny odznaczały się jak najmniejszymi stratami hydraulicznymi, a kraty skutecznym oczyszczaniem wody z niesionego materiału organicznego (gałęzie, liście itp.) oraz zanieczyszczeń stałych. Mimo że materiał organiczny gromadzony na kratkach urządzeń hydrotechnicznych charakteryzuje się innymi właściwościami niż typowy materiał pobrany z krat na oczyszczalni ścieków, ustawodawca nie przewidział innej kategorii dla tego typu odpadów [Rozporządzenie... 2001]. Można jednak założyć, że odpady te ulegają biodegradacji i mogą być przerabiane w procesach kompostowania, fermentacji lub przetwarzane mechaniczno-biologicznie [Bajkowski 2009]. Poprawnie zaprojektowana krata powinna minimalizować ilość ciał stałych i osadów przedostających się do układu przepływowego budowli hydrotechnicznych. Kraty składają się z jednego lub kilku paneli wykonanych z metalowych prętów, umocowanych równolegle (ryc. 2). Kraty są zazwyczaj produkowane ze stali (nierdzewnej lub czarnej). W niektórych przypadkach można posługiwać się prętami profilowanymi, powodującymi mniejsze turbulencje i mniejsze straty ciśnienia (ryc. 3). Krata musi mieć taką powierzchnię czynną



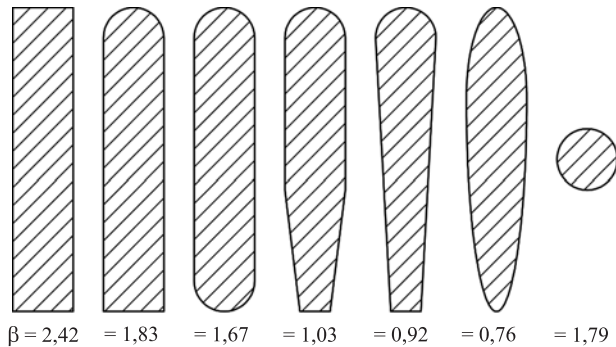
Ryc. 1. Mała elektrownia wodna na rzece Welnie w Jaraczu – widok na kratę wlotową
Fig 1. Small hydroelectric power plant on the river Welna in Jaracz – view on the inlet grate



Ryc. 2. Schemat krat
Fig 2. The schema of the grate

(powierzchnia całkowita pomniejszona o powierzchnię czołową prętów), aby zapewnić prędkość przepływu nie przekraczającą $0,75 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ dla małych ujęć wody, a $1,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ dla większych. Zalecenie to jest bardzo istotne, jeśli chce się uniknąć „przyklejania się” pływających ciał stałych do kraty. Duże kraty są wymiarowane na podstawie założenia, że mogłyby być całkowicie zatkane, a więc konstrukcja podstawy powinna wytrzymać całkowity napór wywierany przez wodę na całą powierzchnię kraty – i to bez nadmiernych odkształceń. Maksymalna dopuszczalna odległość pomiędzy prętami jest zazwyczaj podawana przez producenta turbiny. Typowe wartości wynoszą 20–30 mm

dla turbin Peltona, 40–50 mm dla turbin Francisa i 80–100 mm dla turbin Kaplana. Ostrzejsze wymagania odnośnie prześwitu stawiają organizacje wędkarzy i rybaków śródlądowych, a także liczne pozarządowe organizacje ekologiczne. Dla ograniczenia strat spadu istotne znaczenie ma czyszczenie krat. Ponieważ czyszczenie ręczne może sprawiać trudności, zwłaszcza podczas wezbrań powodziowych, zaleca się stosowanie czyszczarek mechanicznych.



Ryc. 3. Profile prętów krat wlotowych [Michałowski i Plutecki 1975]
Fig 3. Profiles of inlet lattice bars [Michałowski and Plutecki 1975]

Istotne przy doborze krat jest określenie strat hydraulicznych, które zależą od wielu czynników, takich jak np. rozmiar prętów kraty czy charakterystyka hydrauliczna przepływu. Sumę wszystkich strat występujących na wlocie do turbiny (ΔH_{wl}) można opisać następującym wzorem:

$$\Delta H_{wl} = \Delta H_{we} + \Delta H_k + \Delta H_t + \Delta H_{wn}, \text{ m} \quad (1)$$

gdzie:

- ΔH_{we} – straty wejściowe na wlocie do kanału,
- ΔH_k – straty na prętach i konstrukcjach nośnych krat,
- ΔH_t – straty tarcia wody o ściany wlotu,
- ΔH_{wn} – straty spowodowane obecnością wnek bocznych.

Przyjmuje się, że kierunek napływu wody do wlotu jest zgodny z jego osią symetrii podłużnej, w przeciwnym wypadku straty na kratkach i wlocie znacznie wzrastają [Michałowski i Plutecki 1975].

Elementy konstrukcyjne małej elektrowni wodnej powodują straty energii wody na wlocie. Straty te zależą od profilów czołowych powierzchni filarów, belki górnej i progu. Największe straty występują przy profilach prostokątnych, najmniejsze przy profilach parabolicznych. Na wlocie możemy wyróżnić straty wejściowe, które wyznacza się ze wzoru Weisbacha [Michałowski i Plutecki 1975]:

$$\Delta H_{we} = \zeta \frac{v^2}{2g}, \text{ m} \quad (2)$$

gdzie:

- ζ – współczynnik zależny od kształtów profili czołowych: filarów, belki górnej i progu,
- v – prędkość wody na wlocie, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,
- g – przyspieszenie ziemskie, $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Równanie (2) dotyczy ściśle profilów o przekroju prostokątnym, ale doświadczenie pokazuje, że można je stosować także do profili o innych przekrojach.

Straty powstające na kratkach zależne są od kształtu geometrii prętów i kąta ułożenia krat w otworze wlotowym. Wzór do obliczania strat podał Kirschmer (3) – stosuje się go dla przepływu prostopadłego:

$$\Delta H_k = h_k = \beta \sin \alpha \left(\frac{S}{b} \right)^{\frac{4}{3}} \frac{v^2}{2g}, \quad \text{m} \quad (3)$$

gdzie:

- β – współczynnik zależny od kształtu prętów (ryc. 3),
- α – kąt nachylenia krat do poziomu (ryc. 2),
- S – grubość prętów kraty, m,
- b – odległość pomiędzy prętami, m.

Straty tarcia wody o ściany wlotu wyznacza się ze wzoru Manninga-Striclera:

$$\Delta H_t = \frac{v^2}{k_{st}^2 R^3} l, \quad \text{m} \quad (4)$$

gdzie:

- k_{st} – współczynnik Striclera, $\text{m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$,
- R – promień hydrauliczny, m,
- l – długość wlotu, m.

Dodatkowo na całkowitą wartość strat wpływają również straty spowodowane obecnością wnęk bocznych i otworów zasuwy (ΔH_{wn}). Wartość strat zależy od wymiarów wnęk i otworów. Straty te można łatwo i całkowicie zlikwidować przez zastosowanie zamknięć dla wnęk i otworów górnych. W prawidłowo wykonanym wlocie suma strat nie powinna przekraczać 1% spadku, natomiast we wlocie wykonanym bez uwzględnienia zabiegów zmniejszających straty mogą osiągnąć 4% spadku. W pracy przeanalizowano straty hydrauliczne oraz wykazano wpływ osadzanego na kratkach materiału organicznego.

WYNIKI I ICH ANALIZA

W celu określenia składowych oraz całkowitej wartości strat przyjęto pewne założenia dotyczące: geometrii krat, kształtu i użytego materiału do budowy kanału wlotowego oraz parametrów hydraulicznych strumienia. Prędkość wody na wlocie założono $0,8-1,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, co odpowiada zalecanej prędkości przy zastosowaniu ręcznego czyszcze-

nia krat. Maksymalna prędkość w przypadku krat czyszczonych mechanicznie wynosi $1,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Wskazane jest przyjmowanie prędkości wlotu mniejszej o 10% od średniej prędkości wody w analizowanym przekroju cieku ze względu na ochronę przed dopływem zanieczyszczeń. Wyniki obliczeń dla trzech wariantów prędkości wlotowej, przy różnej odległości między prętami zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie obliczonych strat cząstkowych i ich sumy

Table 1. Summary of partial losses and total

Straty na wejściu Inlet losses ΔH_{we}			Straty spadku Hydraulic gradient losses ΔH_k					Straty tarcia wody o ściany wlotu Water friction losses on walls of inlet ΔH_f			Suma wszystkich strat The sum of total losses		
ζ	v	strata loss	β	α	S	b	strata loss	k	Rh	l	strata loss	m	
–	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	m	–	°	m	m	m	$\text{m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$	m	m	m	m	
0,06		0,003					0,01	0,116	100		0,00010	0,119	
0,065		0,003					0,02	0,046	90,9		0,00012	0,049	
0,075		0,004					0,03	0,027	76,9		0,00017	0,031	
0,09	1	0,005	2,42	70	0,01		0,05	0,014	66,7	1	10	0,00022	0,018
0,1		0,005					0,06	0,011	63			0,00025	0,016
0,25		0,013					0,1	0,005	58			0,00030	0,018
0,5		0,025					0,15	0,003	50			0,00040	0,029
0,06		0,002					0,01	0,065	100			0,00008	0,067
0,065		0,003					0,02	0,026	90,9			0,00010	0,028
0,075		0,003					0,03	0,015	76,9			0,00014	0,018
0,09	0,9	0,004	1,67	70	0,01		0,05	0,008	66,7	1	10	0,00018	0,011
0,1		0,004					0,08	0,004	63			0,00020	0,008
0,25		0,010					0,1	0,003	58			0,00024	0,014
0,5		0,021					0,15	0,002	50			0,00032	0,023
0,06		0,002					0,01	0,023	100			0,00006	0,025
0,065		0,002					0,02	0,009	90,9			0,00008	0,011
0,075		0,002					0,03	0,005	76,9			0,00011	0,008
0,09	0,8	0,003	0,76	70	0,01		0,05	0,003	66,7	1	10	0,00014	0,006
0,1		0,003					0,08	0,001	63			0,00016	0,005
0,25		0,008					0,1	0,001	58			0,00019	0,009
0,5		0,016					0,15	0,001	50			0,00026	0,017

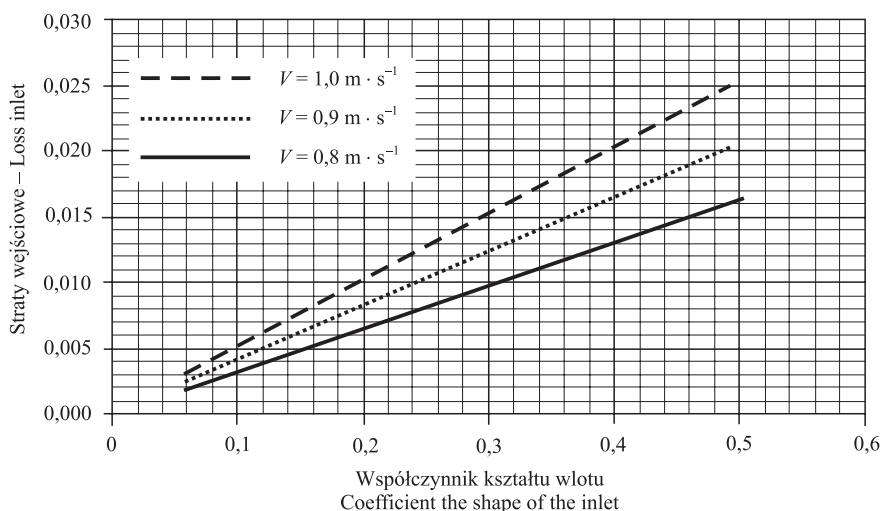
Na podstawie analizy wartości strat można zauważyć, że przy założeniu powiększania się współczynnika kształtu profili czołowych powierzchni filarów, belki górnej i progu, wzrasta wartość strat wejściowych. Taką samą tendencję zaobserwowano dla strat tarcia wody o ściany wlotu ΔH_f . Wartość straty wyznacza się, uwzględniając straty wynikające z materiału użytego do budowy kanału wlotowego. Rodzaj materiału uwzględnia się poprzez

współczynnik Sticklera opisany we wzorze (4). Odwrotną tendencją charakteryzuje się strata wynikająca z geometrii krat oraz kąta ich ułożenia w kanale wlotowym. W miarę powiększania się odległość między prętami strata ta zmniejsza się. Analizując sumę wszystkich strat, można zauważyć, że przy nieznacznym zmniejszeniu prędkości (o $0,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) dla wszystkich obliczonych przypadków ulega zmniejszeniu się o mniej więcej połowę wysokości.

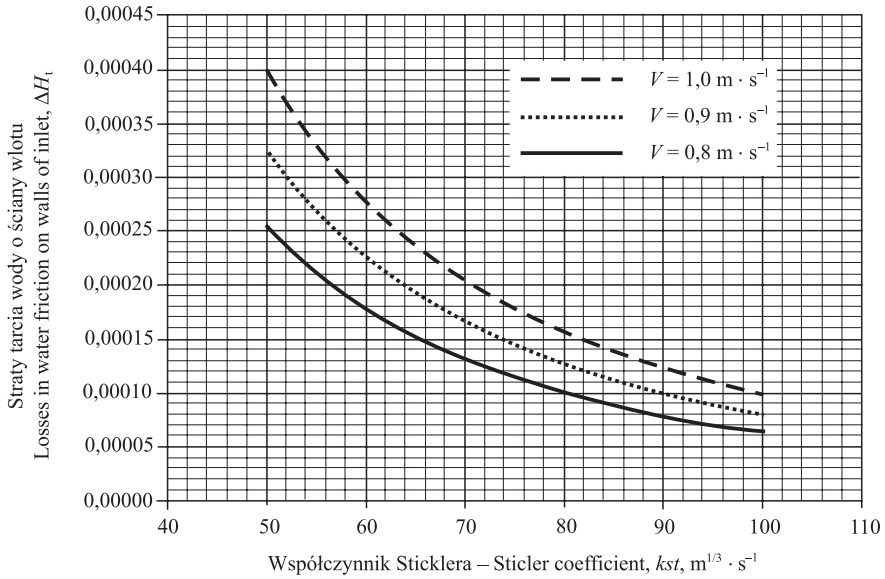
Na ryc. 4 przedstawiono zależność wzrostu strat wejściowych w miarę wzrostu współczynnika kształtu wlotu ζ przy założeniu różnej prędkości występującej w tym miejscu. Dla współczynnika odpowiadającego profilowi prostokątnego (najmniej korzystnemu) wartość strat dla prędkości $0,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ równa jest $0,016 \text{ m}$, dla prędkości $0,9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ wynosi $0,021 \text{ m}$, a dla prędkości $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ – $0,025 \text{ m}$.

Najmniejsze składowe wartości strat całkowitych uzyskano dla tarcia wody o ściany wlotu. Najkorzystniejsze rozwiązanie (najmniejsze straty) uzyskuje się dla gładkich ścian wlotu kanału doprowadzającego wodę do turbiny i zachowania prędkości $0,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. W miarę pogarszania się stanu technicznego kanału wlotowego wartości strat rosną (ryc. 5). Dla wielkość współczynnika Sticklera odpowiadająca ścianom o bardzo nierównych powierzchniach ($50 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$) przy prędkości $1,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ straty równe są $0,0004 \text{ m}$, przy prędkości $0,9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ straty równe są $0,00032 \text{ m}$, a dla prędkości $0,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ straty osiągają wartość $0,00026 \text{ m}$. Tak małe wartości można właściwie pominąć w dalszych analizach.

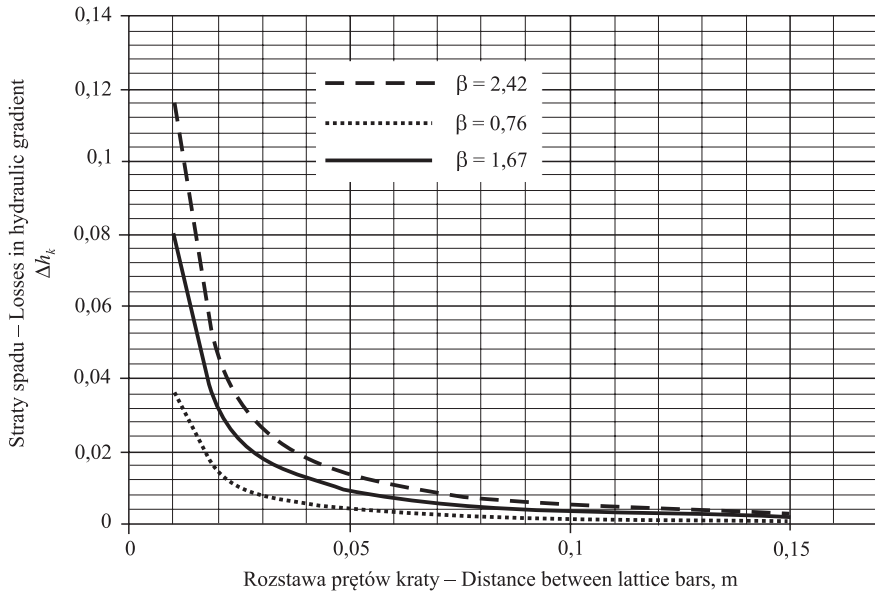
Analizę strat wywołanych geometrią prętów oraz parametrami hydraulicznymi przekroju wykonano przy założeniu jednakowej prędkości $1,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ oraz dla trzech wartości współczynnika β : dla prętów o kształcie prostokątnym wynosi $\beta = 2,42$, dla prętów zakończonych kołowo $\beta = 1,67$ oraz prętów o najkorzystniejszym kształcie $\beta = 0,76$ (ryc. 6). Rozstawa prętów istotnie wpływała na wartość strat lecz, tylko w przypadku gdy jest mniejsza od $b = 0,05 \text{ m}$. Zgodnie z zadaniami krat projektowanie prętów przy małych rozstawach jest uzasadnione, ale w ten sposób generuje się większe straty.



Ryc. 4. Wartości strat wejściowych dla różnych prędkości wlotowych
Fig. 4. Values of inlet losses for different inlet velocity



Ryc. 5. Wartości straty tarcia wody o ściany wlotu
 Fig. 5. Values of losses in water friction on walls of inlet



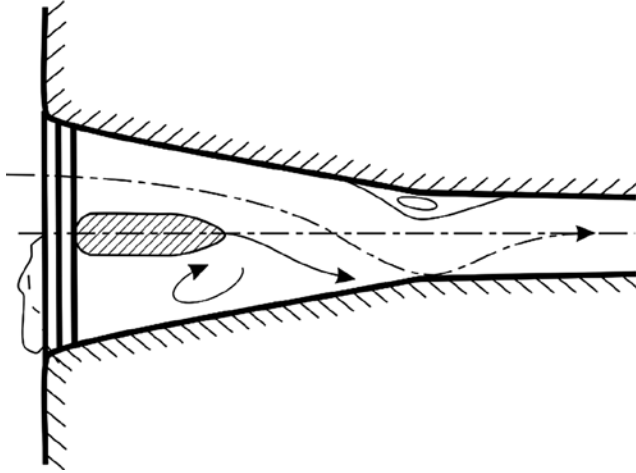
Ryc. 6. Wartości strat spadku ΔH_{hk} przy różnych współczynnikach β
 Fig. 6. Values of losses for hydraulic gradient at different coefficient β

Zwiększenia wartości sumy strat należy oczekiwać w przypadku gromadzenia się na kratkach rumoszu roślinnego oraz innych zanieczyszczeń pływających (ryc. 7). Pomimo założenia, że rumosze roślinne jest to elastyczny i drobny element, w przypadku większych jego ilości może dochodzić do zablokowania znacznej części wlotowej krat. Woda działa wtedy jak siła dociskająca. W celu określenia wpływu rumoszu roślinnego na wartości prędkości oraz straty hydrauliczne przyjęto założenia: jednakowego przepływu ($5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), zmiennych wartości stopnia przesłonięcia kraty (0–20%) oraz pola przekroju kwadratowego kanału wlotowego (16 m^2 , 25 m^2 , 36 m^2). Prędkość wody rośnie wraz ze wzrostem zmniejszenia się przepustowości krat wlotowych (tabela 2). Projektując szersze kanały wlotowe, można oczekiwać zmniejszania się straty i prędkości.

Na ryc. 8 przedstawiono wpływ stopnia przesłonięcia przekroju w przedziale od 0 do 20% z uwzględnieniem pola przekroju kanału wlotowego (16 m^2 , 25 m^2 i 36 m^2) na wartości strat. Im węższy kanał tym gwałtowniej rosną straty związane ze wzrostem

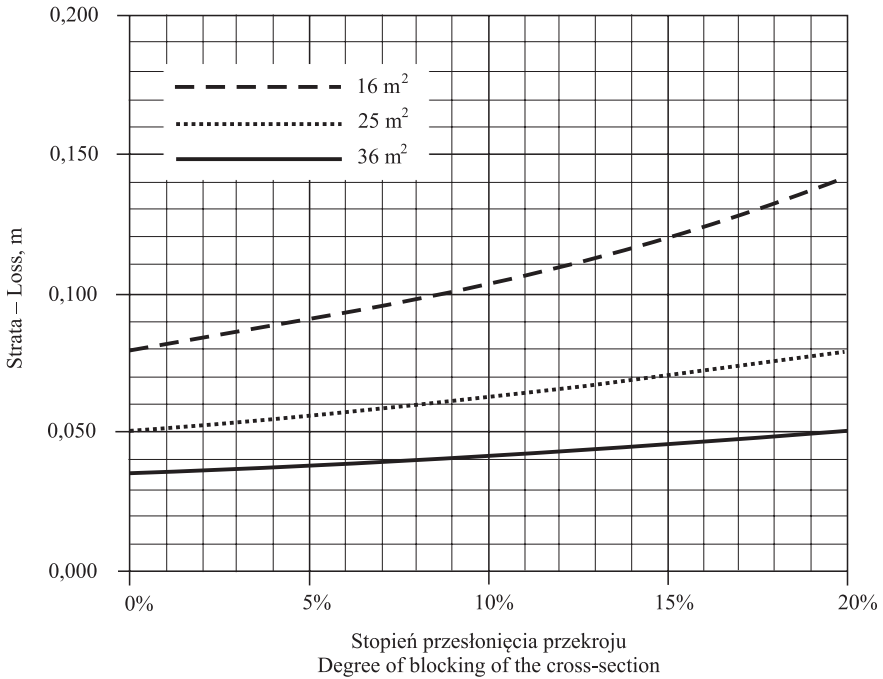
Tabela 2. Zestawienie strat wynikających z zmniejszenia się przepustowości krat
Table 2. Juxtaposition losses resulting from a decrease in the flow capacity of gratings

Przepływ Flow	Pole przekroju komory wlotowej Cross-section in the inlet opening	Stopień przesłonięcia przekroju Degree of blocking of the cross-section	Prędkość Velocity	Strata Loss	
$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	m^2	%	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	m	
5	16	0	1,56	0,080	
		8	1,90	0,097	
		10	2,04	0,104	
		13	2,19	0,112	
		15	2,37	0,121	
		18	2,56	0,130	
		20	2,78	0,142	
5	25	0	1,00	0,051	
		8	1,08	0,060	
		10	1,11	0,063	
		13	1,14	0,067	
		15	1,18	0,071	
		18	1,21	0,075	
		20	1,25	0,080	
	36	36	0	0,83	0,035
			8	0,89	0,040
			10	0,91	0,042
			13	0,93	0,044
			15	0,95	0,046
			18	0,98	0,049
		20	1,00	0,051	



Ryc. 7. Schemat wypływu blokowania krat na warunki przepływu

Fig. 7. Diagram of the impact of the blocking of the grating on flow conditions

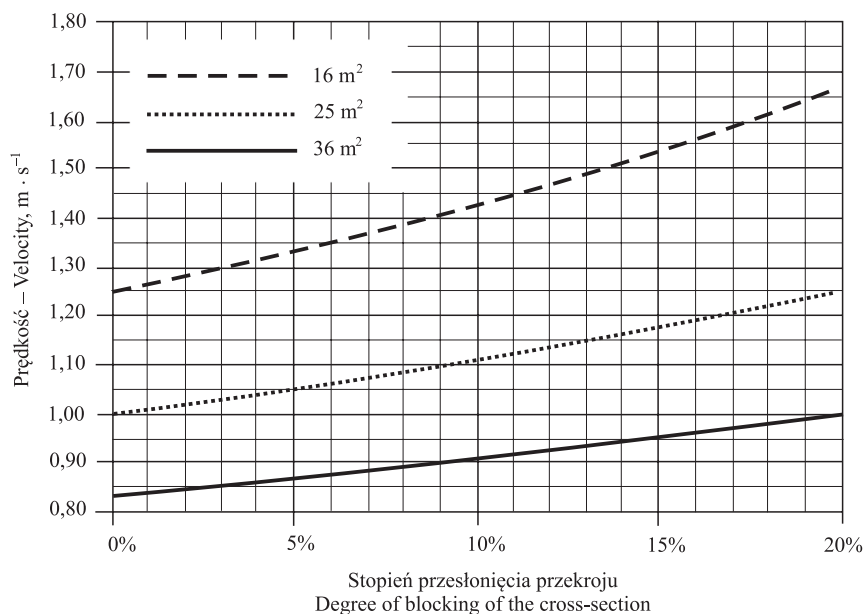


Ryc. 8. Straty wynikające z utraty przepustowości

Fig. 8. Losses resulting from loss of flow capacity

przesłonięcia przekroju. Dla kanału o powierzchni 16 m^2 straty są największe i mieszczą się w zakresie od 0,08 do 0,142 m. Największa strata w kanale o powierzchni 36 m^2 jest wielkością, która odpowiada najmniejszej stracie dla kanału wlotowego o przekroju 25 m^2 .

Na ryc. 9 przedstawiono wartości prędkości wynikające ze zmniejszonego przekroju poprzecznego kanału wlotowego, którego powierzchnia została zablokowana przez materiał organiczny (rumosz roślinny). Największe prędkości występują w kanale o najmniejszym polu przekroju i osiągają wartość $1,67 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, a więc przekraczają zalecaną prędkość dla krat czyszczonych ręcznie, a nawet mechanicznie.



Ryc. 9. Prędkości wynikające ze zmniejszania przepustowości krat
Fig. 9. Velocity resulting from the reduce flow capacity gratings

PODSUMOWANIE

Przedstawiony w pracy materiał dotyczy oceny wielkości strat hydraulicznych wywołanych obecnością krat w przekroju wlotowym budowli wodnych. Straty te wynikają z przyjęcia założeń projektowych, wykonawstwa oraz warunków eksploatacji kraty. Straty hydrauliczne uwzględniane na etapie projektowania zależą będą głównie od wartości prędkości dopływowej. Nawet niewielki wzrost prędkości o $0,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (z $0,9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ na $1,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) powoduje prawie dwukrotny wzrost wartości straty na spadzie ΔH_k (wynikający z geometrii i grubości prętów oraz nachylenia kraty). Pozostałe czynniki, takie jak straty na wejściu oraz straty wynikające z chropowatości odcinka wejściowego, w pewnych warunkach (odpowiednio dobrany kształt profili czołowych:

filarów, belki górnej i progu oraz wykonany starannie odcinek wlotowy) można praktycznie pominąć.

Na tym tle bardzo istotny staje się wzrost wartości strat hydraulicznych wywołany przesłonięciem przekroju krat przez materiał osadzany na kratkach. Niewłaściwe warunki eksploatacji (zbyt rzadkie czyszczenie krat) może powodować wzrost strat porównywalny z sumaryczną wartością wszystkich strat wynikających z konstrukcji kraty, a czasami wręcz tę wartość przekraczający. W warunkach osadzania się skartek (rumosz roślinny, inne zanieczyszczenia pływające) dla wartości strat również istotny jest wzrost prędkości przepływu w przekroju krat, który zależeć będzie od redukcji pola przekroju. Nawet tylko 10-procentowy stopień przesłonięcia, w niekorzystnych warunkach geometrii przekroju może powodować prawie 10 cm straty.

Przedstawione w artykule przykłady wskazują na istotne aspekty poprawnego doboru krat oraz właściwej ich eksploatacji, co w przypadku MEW pracujących na niewielkich spadkach może mieć ogromne znaczenie z punktu widzenia efektywności i opłacalności produkcji energii elektrycznej. Wymagania odnośnie do prześwitu krat postulowane przez ichtiologów w przypadku źle zaprojektowanych i eksploatowanych elektrowni wodnych mogą powodować bardzo niską opłacalność gospodarczą tego typu obiektów.

PIŚMIENNICTWO

- Bajkowski S., 2009. Transport zanieczyszczeń przez przepusty drogowe. Nauka Przyr. Technol. 3(3), 1–8.
- Bajkowski S., 2010. Sediment segregation on weir of lowland rivers. Ann. Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Land Reclamation 42(1), 177–185.
- Balcerski W. (red.), 1969. Budowle wodne śródlądowe. Budownictwo betonowe, t. XVII. Arkady Warszawa.
- Michałowski S., Plutecki J., 1975. Energetyka wodna. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2001 r. w sprawie katalogu odpadów. Dz.U. z 2001 r. Nr 112, poz. 1206.

XXXIII OGÓLNOPOLSKA SZKOŁA HYDRAULIKI – Zakopane 2014

Zorganizowana pod patronatem

Komitetu Gospodarki Wodnej Polskiej Akademii Nauk

przez

Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

Dofinansowanie:

Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Krakowie

Wydanie publikacji zostało dofinansowane przez MGGP SA



Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 11.12.2014