

ANALIZA WPLYWU MAŁYCH ELEKTROWNI WODNYCH NA DYNAMIKĘ PRZEPIYWU RZEKI NA PRZYKŁADZIE DUNAJCA

Andrzej Mączałowski
Politechnika Krakowska

Streszczenie. W celu ograniczenia erozji dna dolnego odcinka Dunajca zaprojektowano dwa stopnie wodne. Dokonano wstępnej analizy wpływu tych obiektów na dynamikę przepływu rzeki. W analizie wzięto pod uwagę energetyczne wykorzystanie powstałych spadków, ocenę stabilności koryta oraz zachowanie warunków bytowania ichtiofauny.

Słowa kluczowe: mała elektrownia wodna, dynamika przepływu, koryto otwarte

WSTĘP

Obserwacje zmian zachodzących w korycie w dolnym odcinku Dunajca wskazują na bardzo silną erozję powodującą obniżenie dna rzeki w zakresie od 0,5 (wodowskaz Czychów) do 2,5–3,3 m (wodowskazy Zgłobice i Żabno). Taka sytuacja powoduje systematyczną deformację koryta głównego rzeki, obniżanie się rzędnych zwierciadła dla przepływów niskich, a także zmianę dynamiki przepływu w strefie stanów niskich i średnich ze względu na lokalne zmiany spadku dna. Z drugiej strony, w wyniku zabudowy doliny rzecznej, systematycznego zmniejszenia własności retencyjnych terenu przyległego do rzeki oraz przyspieszonego spływu powierzchniowego, obserwowany jest wzrost poziomu zwierciadła wody dla przepływów wysokich (powodziowych). Z analizy okresów trwania poszczególnych natężeń przepływu wynika, że przeważają przepływy niskie i średnie, co na skutek erozji prowadzi do znacznego obniżenia poziomu wód gruntowych na obszarze przyległym. Aby przeciwdziałać procesowi erozji dna oraz stepowienia terenów przyległych, należy podnieść zwierciadło wód niskich oraz wpłynąć na poprawę dynamiki ich odpływu. Temu zadaniu może sprzyjać zabudowa stopniowa koryta, która może być jednocześnie wykorzystana w celach energetycznych. Przyniosłoby to efekt w zakresie wzrostu udziału energii odnawialnej w bilansie energetycznym. Z drugiej jednak strony ten rodzaj energetyki może nieść negatywne

Adres do korespondencji – Corresponding author: dr inż. Andrzej Mączałowski, Instytut Inżynierii i Gospodarki Wodnej, Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, e-mail: andrzej.maczalowski@iigw.pl.

skutki dla środowiska przyrodniczego poprzez przerwanie ciągłości i zmiany hydrodynamiczne w ekosystemach wodnych. Należy zatem poszukiwać rozwiązań, które umożliwią osiągnięcie kompromisu pomiędzy potrzebami (zatrzymanie erozji, rozwój energii odnawialnej) i wymaganiami nakładanymi na stan ekologiczny ekosystemów wodnych przez Ramową Dyrektywę Wodną.

Przedmiotem analizy jest ocena wpływu niskiego obiektu piętrzącego i jego pracy na parametry dynamiczne, interpretacja i ocena zmian dynamiki przepływu w kontekście zmian morfologicznych koryta rzeki Dunajec, a także zmian dynamiki przepływu w odniesieniu do warunków biologicznych. Analiza dynamiczna została przeprowadzona przy użyciu pakietu HEC-RAS zastosowanego tak, aby uzyskać efekt quasi-dwuwymiarowego pola prędkości przepływu w planie.

Przedstawiona analiza ma charakter wstępny – jej zadaniem było oszacowanie ilościowe problemu, tak aby na tej podstawie przystąpić do pogłębienia ocen w sposób bardziej szczegółowy. Uzyskane wyniki są interesujące z naukowego i praktycznego punktu widzenia, zachęcają też do dalszych badań.

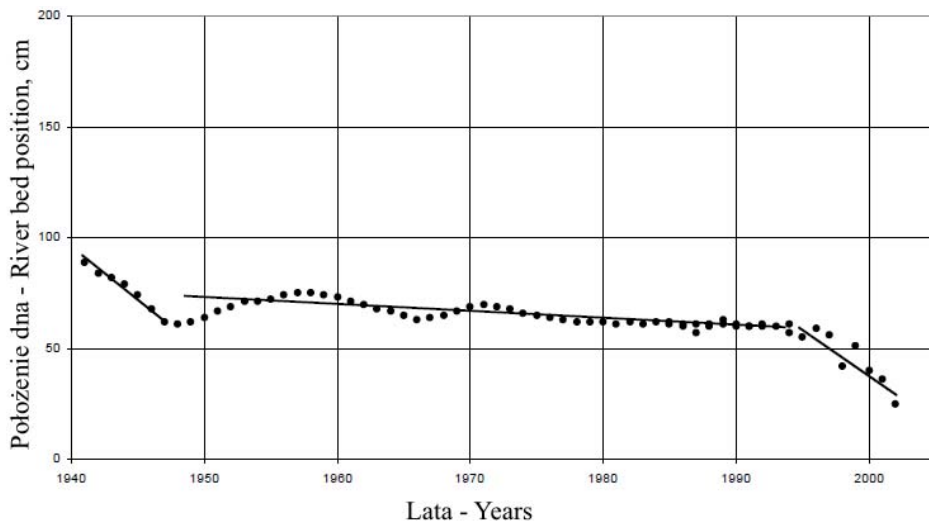
MATERIAŁ I METODY

Odcinek rzeki poddany analizie i jego modelowa reprezentacja

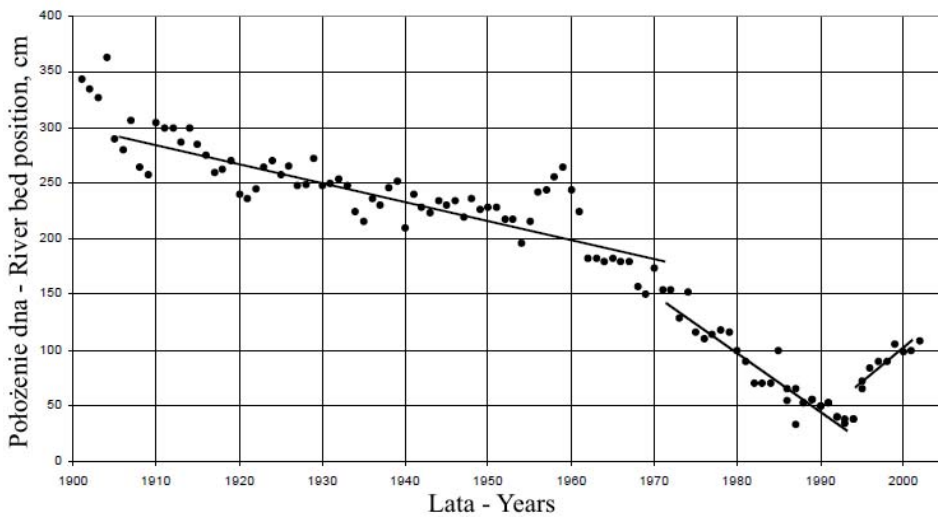
Jako odniesienie pilotowe potraktowano odcinek rzeki Dunajec pomiędzy 44 a 55 km. Zgodnie z programem będą tam zlokalizowane dwa spośród planowanych obiektów energetycznych. Ponadto odcinek ten ma złożoną strukturę koryta i terenu zalewowego; pozostaje też ciągle pod wpływem poważnych zmian erozyjnych. Szerszym tłem dla prezentowanych tu rozważań są: duży zakres symulacji dynamiki przepływu od przekroju Czchów do przekroju progu stałego w Ostrowie na rzece Dunajec w warunkach obecnych i pod wpływem planowanej zabudowy obiektami hydrotechnicznymi, analiza morfologii koryta rzeki, stan zagospodarowania jej doliny, dynamika reżimu hydrologicznego i warunki bytowania ichtiofauny, a także odniesienia historyczne w przedmiotowym zakresie.

Główne charakterystyki dynamiczne odcinka pilotowego i ich historyczne odniesienie

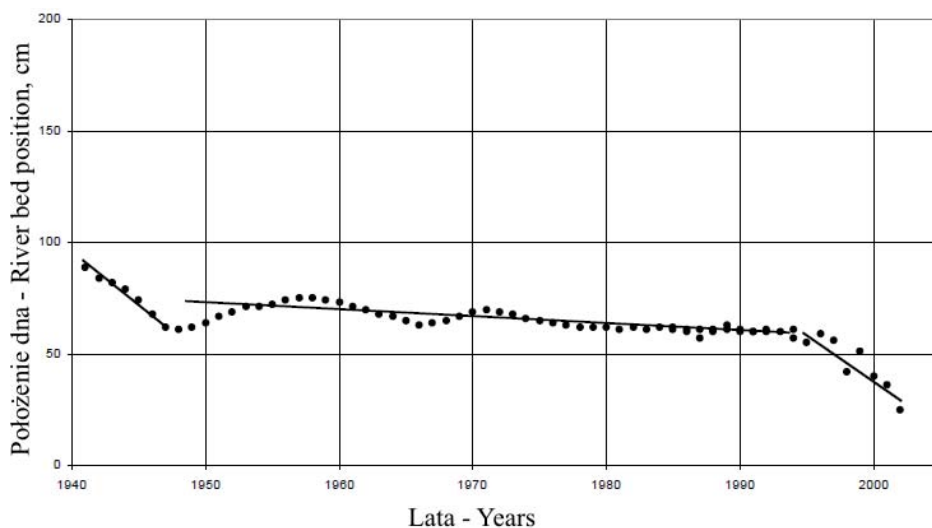
Za podstawowe parametry pozwalające ocenić dynamikę przepływu uznano wartości rzędnych zwierciadła i głębokości przepływu, rozkład średnich w pionie prędkości lokalnych oraz ich średnich wartości w korycie i na terasach dla pełnego zakresu wartości przepływów, charakterystykę rumowiska dennego oraz zmiany profilu dna i zwierciadła wody. Jak podaje Łapuszek i Ratomski [2006], na omawianym odcinku rzeki Dunajec odnotowywane jest obniżanie się dna koryta. Intensywność tego procesu w czasie ulega zmianie, zależy od czynników zarówno naturalnych (fale powodziowe), jak i antropogenicznych (np. niewłaściwie prowadzone prace regulacyjne czy przemysłowy pobór rumowiska z koryta). Na poniższych wykresach przedstawiono zmiany położenia dna koryta w przekrojach wodowskazowych Czchów, Zgłobice i Żabno.



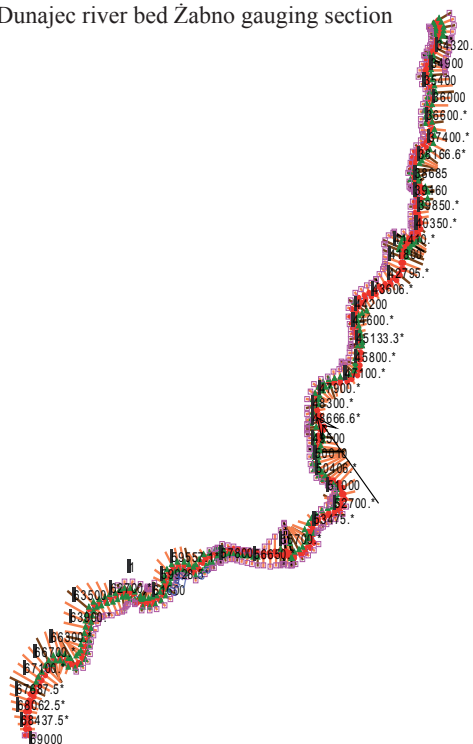
Rys. 1. Zmienność położenia dna koryta rzeki Dunajec w przekroju Czchów
 Fig. 1. Variation in position of Dunajec river bed Czchów gauging section



Rys. 2. Zmienność położenia dna koryta rzeki Dunajec w przekroju Zgłobice
 Fig. 2. Variation in position of Dunajec river bed Zgłobice gauging section



Rys. 3. Zmienność położenia dna koryta rzeki Dunajec w przekroju Żabno
Fig. 3. Variation in position of Dunajec river bed Żabno gauging section



Rys. 4. Model rzeki Dunajec od przekroju Czchów do przekroju Ostrów
Fig. 4. Model of Dunajec river from Czchów section to Ostrów section

Model odwzorowania dynamicznego rzeki – zakres, uwarunkowania i dodatkowe uzupełnienia

Na rysunku 4 przedstawiono schemat zamodelowanego odcinka rzeki Dunajec, na podstawie którego przeprowadzono obliczenia symulacyjne. Model oparty jest na nowo pomierzonych w 2008 przekrojach roku obejmujących koryto główne oraz terasy zalewowe. Odległości między przekrojami wynosiły przeważnie 500–1000 m, a w obszarze projektowanej lokalizacji obiektów hydrotechnicznych nie przekraczały 100 m. Dodatkową informacją były specjalnie domierzone profile linii brzegowych między przekrojami. Z uwagi na kilkukrotną zmianę projektowanych lokalizacji małych elektrowni wodnych model uzupełniano o dodatkowo domierzone przekroje na obszarze nowych lokalizacji.

WYNIKI

Zakres danych hydrologicznych wziętych pod uwagę

Obliczenia wykonano dla pełnego zakresu natężeń przepływu grupując je w 3 przedziałach. Pierwszym są przepływy mniejsze lub równe sumie wydatku przepławki dla ryb oraz instalowanego przeloty elektrowni ($Q_p + Q_e$). Drugi obejmuje natężenia przepływu większe od $Q_p + Q_e$, dla których wymagana jest praca jazu w celu utrzymania NPP (normalnego poziomu piętrzenia). Trzeci to przepływy wysokie, przy których elektrownia już nie pracuje i jaz jest całkowicie otwarty.

W tabeli 1 zestawiono wartości przepływów obliczeniowych.

Tabela 1. Przepływy obliczeniowe
Table 1. Computational flows

Grupa Group	Lp. No.	Natężenie przepływu – Flow $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	Oznaczenie Description
1	1	21,10	
	2	50,00	
	3	74,30	SSQ
	4	92,80	$Q_p + Q_e$
	5	110,00	
	6	130,00	
	7	150,00	
	8	200,00	
2	9	250,00	
	10	300,00	
	11	350,00	
	12	400,00	
	13	450,00	
	14	500,00	

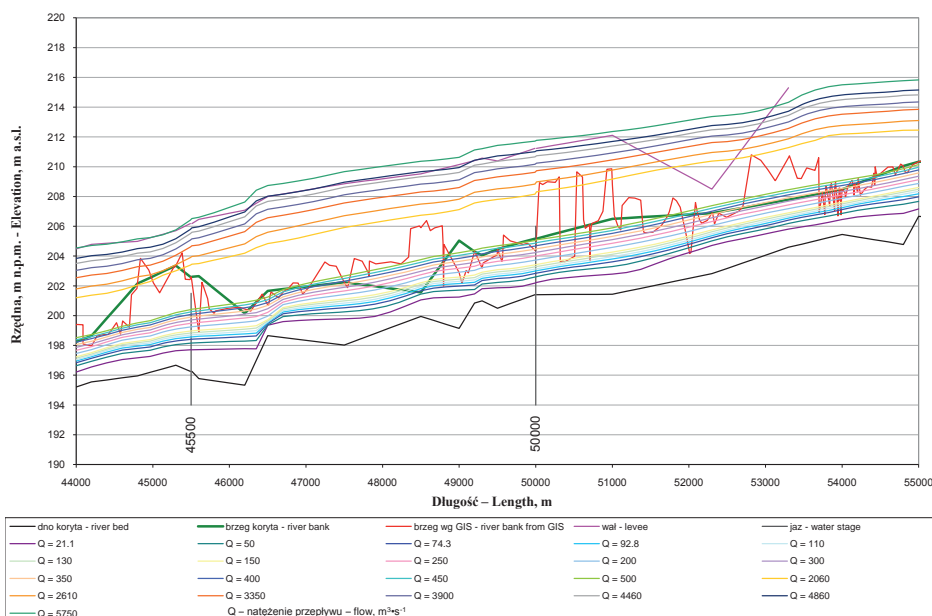
Tabela 1 cd. – Table 1 cont.

3	15	2060,00	$Q_{10\%}$
	16	2610,00	$Q_{5\%}$
	17	3350,00	$Q_{2\%}$
	18	3900,00	$Q_{1\%}$
	19	4460,00	$Q_{0,5\%}$
	20	4860,00	$Q_{0,3\%}$
	21	5750,00	$Q_{0,1\%}$

ZAKRES I WYNIKI ANALIZY DYNAMICZNEJ DLA AKTUALNEGO STANU RZEKI

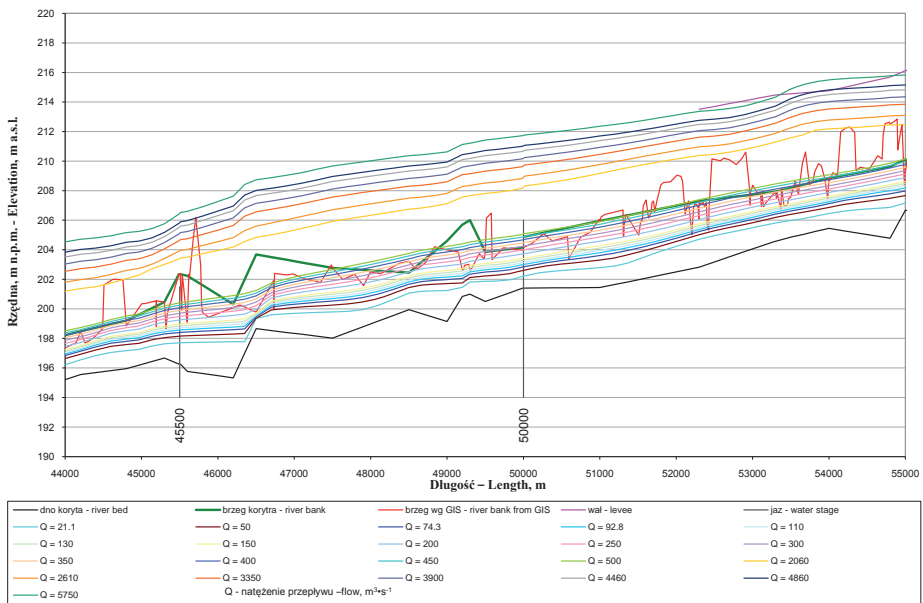
W celu uzyskania lokalnych wartości prędkości przepływu każdy przekrój został podzielony na 45 pionowych pasów (po 5 na terasach oraz 35 w korycie głównym). Pozwoliło to na szczegółową identyfikację rozkładu lokalnych wartości średnich w pionie prędkości przepływu, a także na interpretację dynamiki pod kątem wydzielenia strefy nurtu.

Poniższe rysunki prezentują obliczony układ zwierciadła wody osobno na tle brzegu lewego (rys. 5) i prawego (rys. 6), zmiany średniej prędkości przepływu w korycie głównym (rys. 7) oraz przykładowy przekrój poprzeczny z zaznaczonymi rozkładami prędkości dla trzech wybranych natężeń przepływu (rys. 8–10).



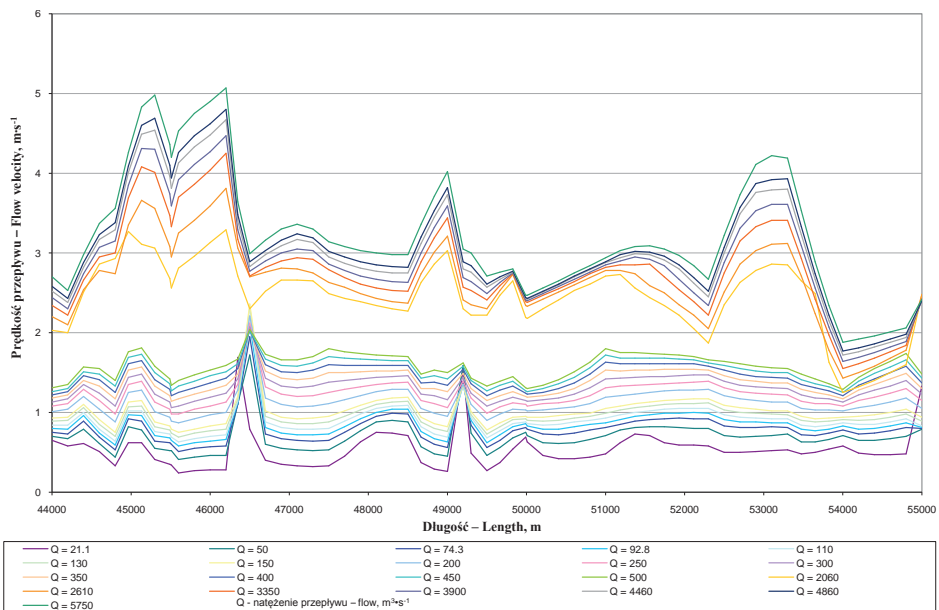
Rys. 5. Profile zwierciadła wody przy aktualnym stanie koryta na tle lewego brzegu rzeki Dunajec od km 44+000 do km 55+000

Fig. 5. Water profiles at current state of river bed against background of left bank of Dunajec river from km 44+000 to km 55+000



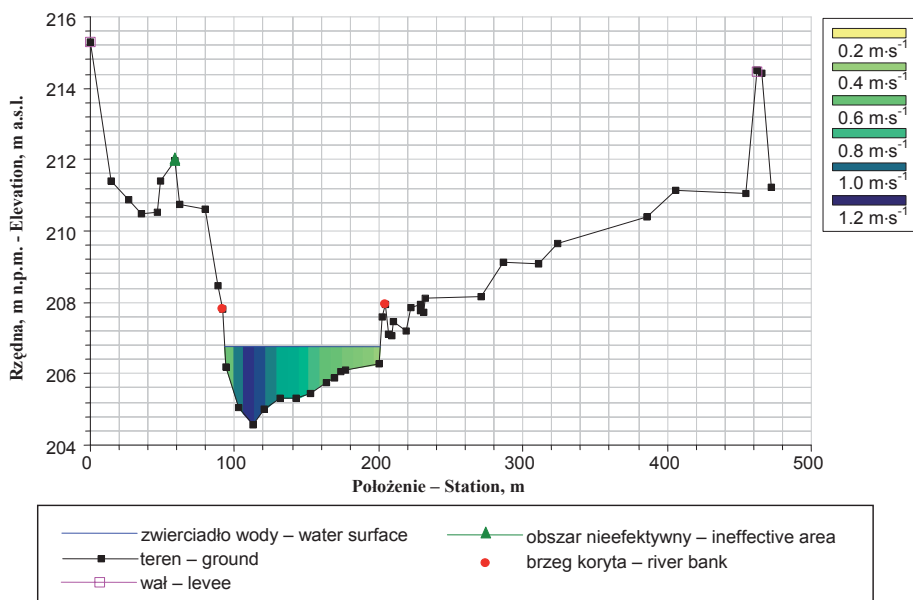
Rys. 6. Profile zwierciadła wody przy aktualnym stanie koryta na tle prawego brzegu rzeki Dunajec na odcinku od km 44+000 do km 55+000

Fig. 6. Water profiles at current state of river bed against background of right bank of Dunajec river from km 44+000 to km 55+000

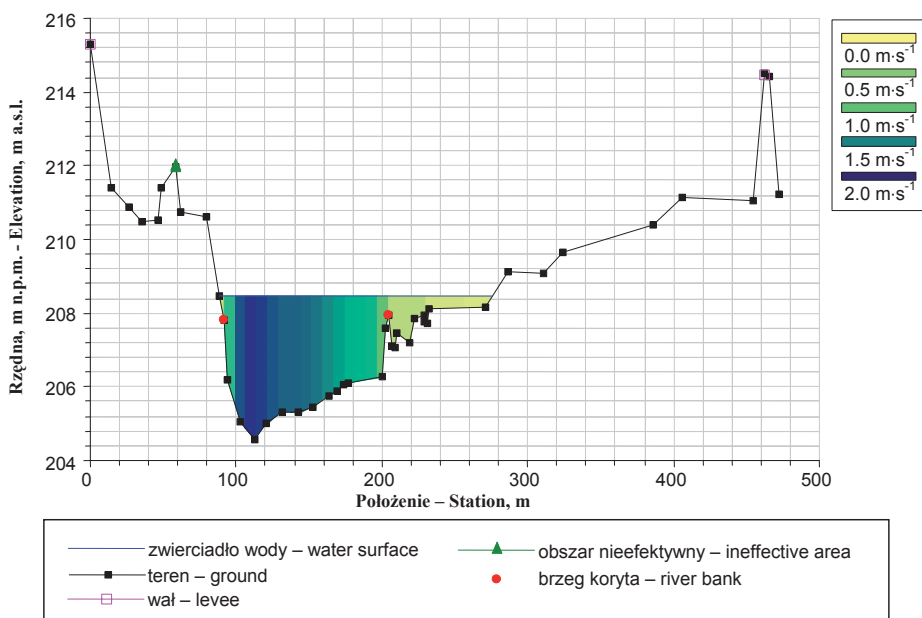


Rys. 7. Zmiany średniej prędkości przepływu w korycie głównym dla aktualnego stanu rzeki Dunajec na odcinku od km 44+000 do km 55+000

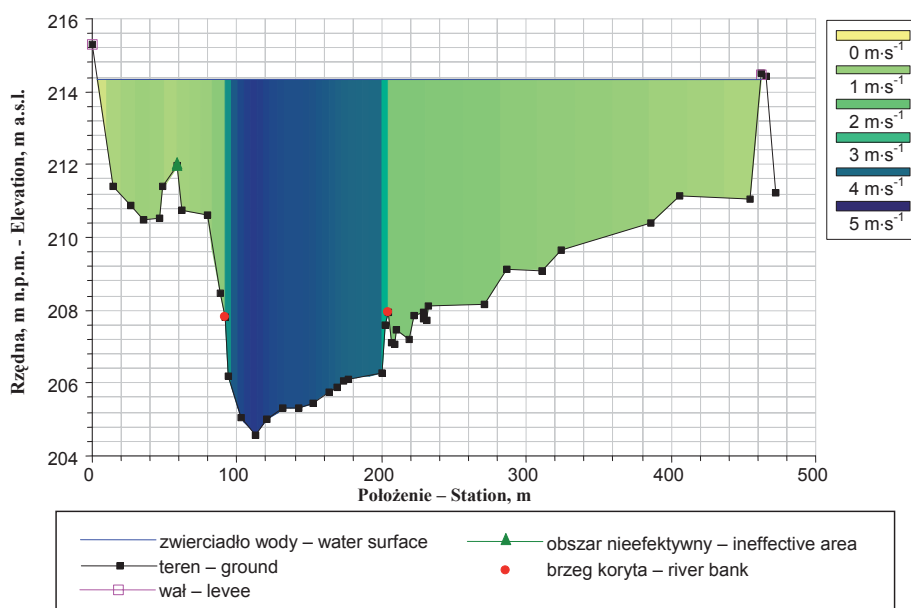
Fig. 7. Changes in average velocity of flow in main channel for current state of Dunajec river from km 44+000 to km 55+000



Rys. 8. Rozkład prędkości dla przepływu $110 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ w przekroju 53+300 rzeki Dunajec
 Fig. 8. Velocity distribution for flow $110 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ in section 53+300 of Danajec river



Rys. 9. Rozkład prędkości dla przepływu $500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ w przekroju 53+300 rzeki Dunajec
 Fig. 9. Velocity distribution for flow $500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ in section 53+300 of Danajec river



Rys. 10. Rozkład prędkości dla przepływu $5750 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ w przekroju 53+300 rzeki Dunajec
 Fig. 10. Velocity distribution for flow $5750 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ in section 53+300 of Dunajec river

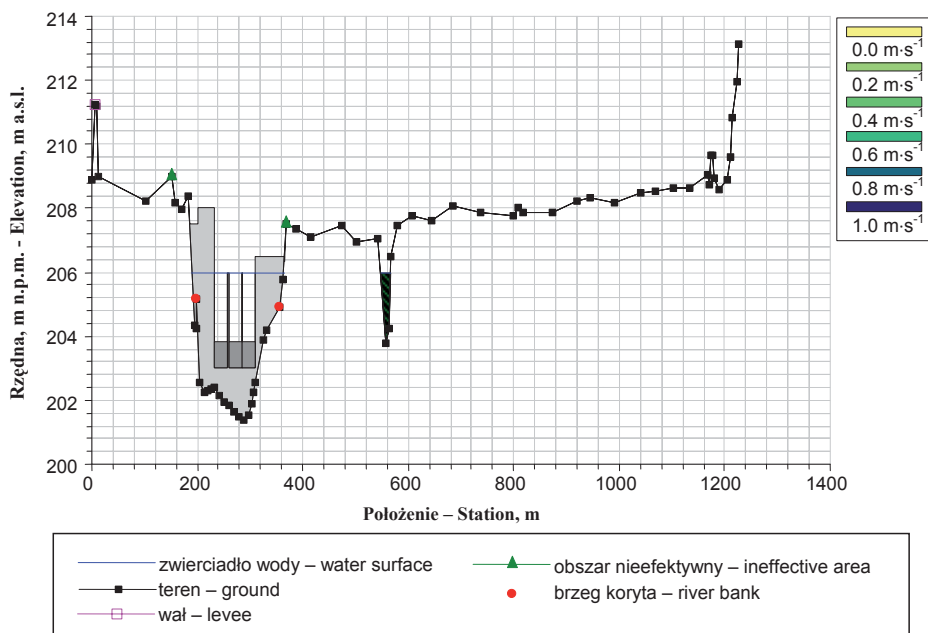
Prognozowany stan dynamiki przepływu w warunkach planowanej zabudowy rzeki

Na omawianym odcinku rzeki Dunajec planowana jest lokalizacja dwóch obiektów hydrotechnicznych w km 50+000 (rys. 11) oraz 45+500 (rys. 12). Każdy z obiektów składa się z małej elektrowni wodnej, jazu wraz ze sterowanymi zamknięciami oraz przepławki dla ryb. Każdy jaz zbudowany jest z trzech przęsł o długości 25,00 m i wysokości 3,00 m oddzielonych filarami o szerokości 2,00 m.

Warunki pracy stopni wodnych poddano optymalizacji, tak aby w największym możliwym stopniu dostosować je do naturalnego reżimu odpływu oraz do uzyskania oczekiwanych korzyści ekonomicznych w zakresie wyzyskania spadku wody do produkcji energii. Z hydraulicznego punktu widzenia w minimalnym stopniu naruszono relacje przepływu: koryto główne – terasy zalewowe w granicach przepływów charakterystycznych i prawdopodobnych typowych dla zasięgu szerokości zwierciadła wody i głębokości napelnienia. W tym celu wykorzystano m.in. zidentyfikowany w terenie obrys linii brzegowej.

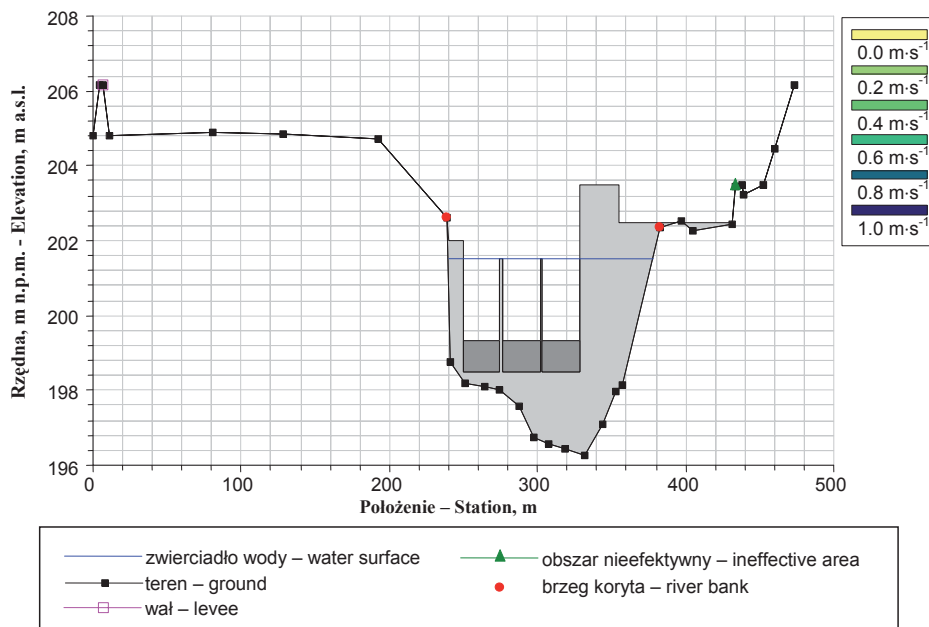
Zakres oraz wyniki analizy zmian dynamiki przepływu na skutek zabudowy rzeki

Budowa stopni wodnych zgodnie z założeniami zmienia profil podłużny zwierciadła wody. Na skutek piętrzenia powstają zbiorniki przepływowe, w których wraz ze wzrostem głębokości maleją wartości prędkości przepływu. Dotyczy to przepływów niskich, średnich i brzegowych. Z punktu widzenia powodziowych natężeń przepływu zaistniałe zmiany są zanedbywalnie małe w odniesieniu zarówno do profilu zwierciadła, jak i do



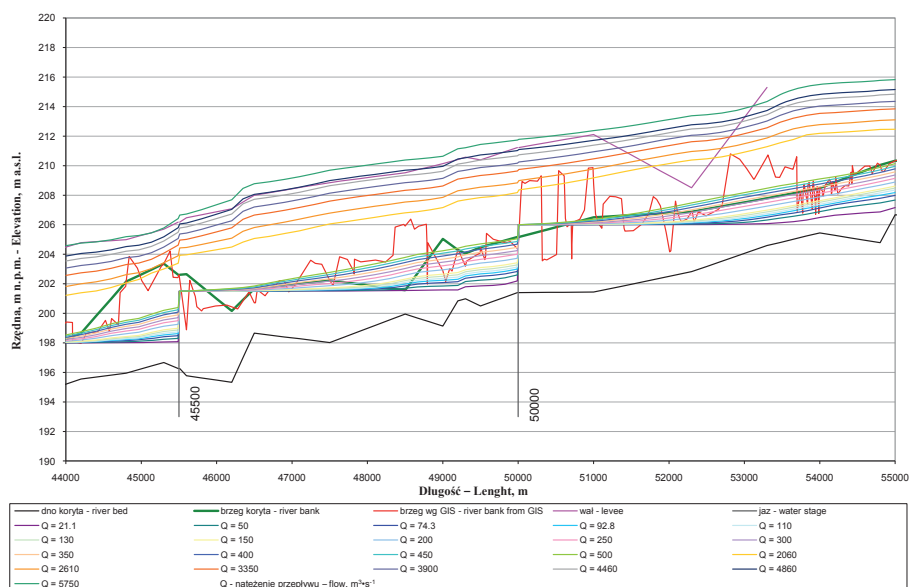
Rys. 11. Schemat projektowanego stopnia wodnego w km 50+000 rzeki Dunajec

Fig. 11. Scheme of projected water stage in km 50+000 of Dunajec river



Rys. 12. Schemat projektowanego stopnia wodnego w km 45+500 rzeki Dunajec

Fig. 12. Scheme of projected water stage in km 45+500 of Dunajec river



Rys. 13. Profile zwierciadła wody przy projektowym stanie koryta na tle lewego brzegu rzeki Dunajec na odcinku od km 44+000 do km 55+000

Fig. 13. Water table profiles at projected state of river bed state against background of left bank of Dunajec river from km 44+000 to km 55+000

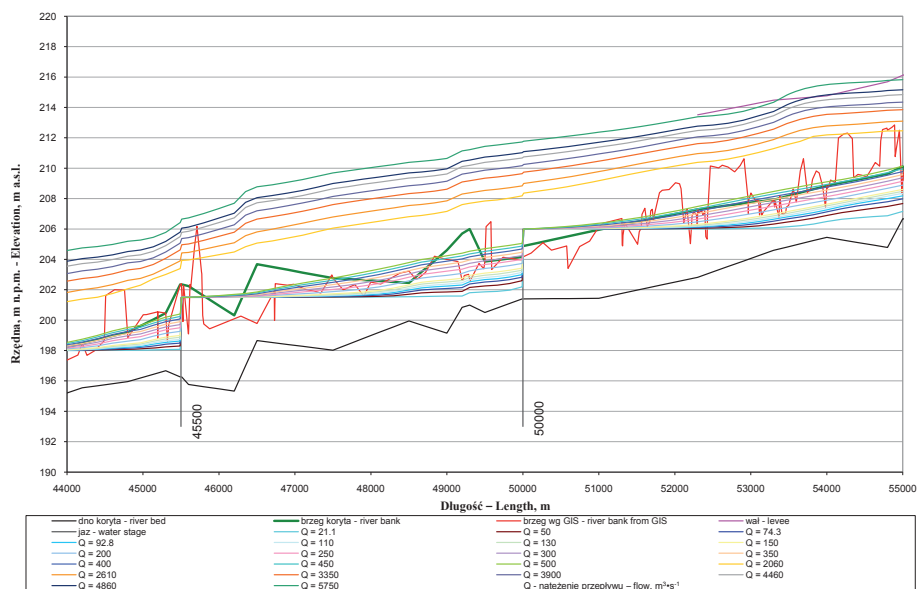
prędkości przepływu, ponieważ zgodnie z planowaną regułą sterowania dla takich przepływów jaz pozostanie całkowicie otwarty.

Obserwowana erozja dna zostanie powstrzymana poprzez stworzenie warunków sprzyjających akumulacji materiału dennego w powstałych zbiornikach (redukcja prędkości). Ponieważ jazy wyposażone mają być w opuszczane zamknięcia powłokowe, możliwe będzie przedostawanie się nadmiaru rumowiska z górnego stanowiska jazu do jego dolnej części w czasie przepływów powodziowych.

Na rysunkach przedstawiono profile podłużne zwierciadła wody dla wszystkich przepływów obliczeniowych osobno na tle brzegu lewego (rys. 13) i prawego (rys. 14) oraz wykres zmian średniej prędkości przepływu w korycie głównym powodowany projektowanymi obiektami hydrotechnicznymi (rys. 15).

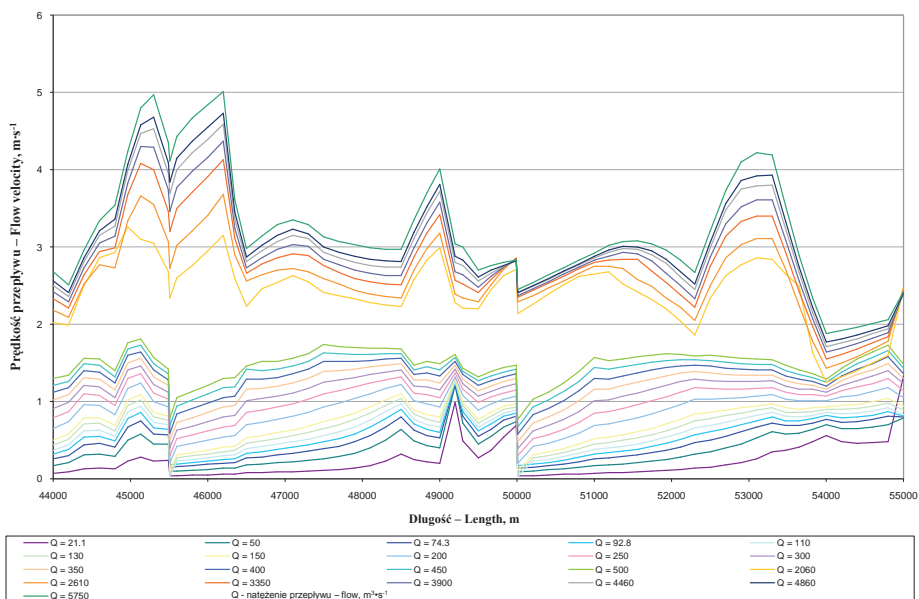
Życie biologiczne reprezentowane przez ichtiofaunę

Na Dunajcu między zaporą w Czchowie a Tarnowem występują następujące gatunki ryb: kleń (28%), brzana (5,4%), świnka (12,6%), kiełb (2,7%), płoć (2,1%), brzana (1,5%), certa, boleń, lipień i leszcz, najliczniejszym zaś jest ukleja (35,7%) [Dynowska i Maciejewski 1991]. Jak podaje Starmach, Jelonek i Mazurkiewicz-Boroń [2004] ryby te na tarło wybierają odcinki o dnie piaszczysto-żwirowym oraz żwirowo-kamiennym, spadku dna od 0,1 do 0,4% i głębokościach od 0,5 do 1,0 m. Czas tarła zawiera się w okresie od kwietnia do lipca czyli wtedy, kiedy występować może całe spektrum przepływów



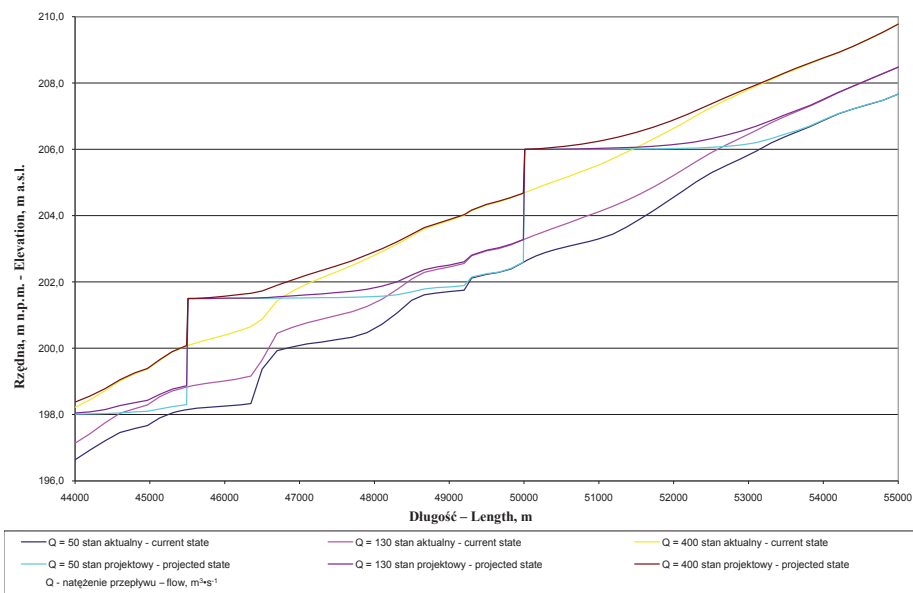
Rys. 14. Profile zwierciadła wody przy projektowym stanie koryta na tle prawego brzegu rzeki Dunajec na odcinku od km 44+000 do km 55+000

Fig. 14. Water table profiles at projected state of river bed state against background of right bank of Dunajec river from km 44+000 to km 55+000



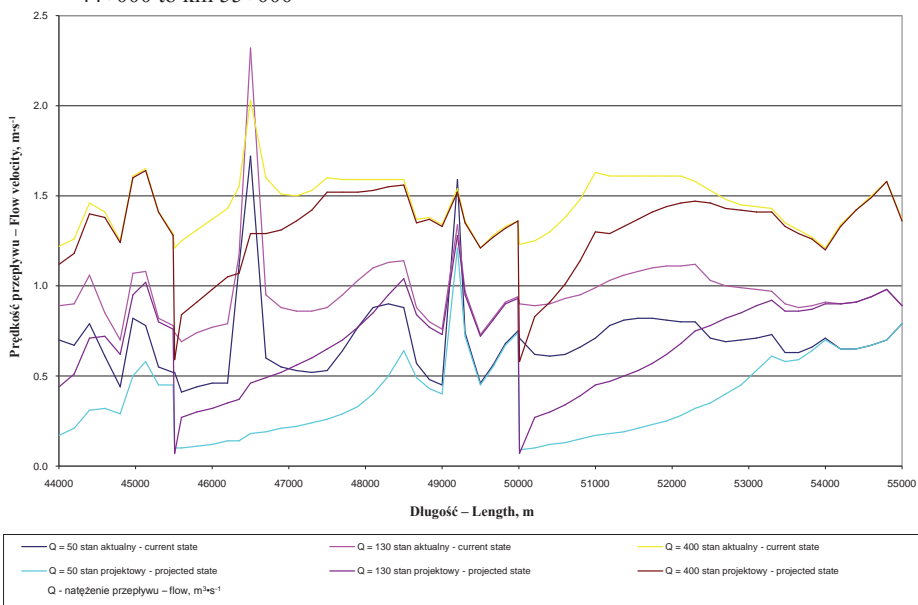
Rys. 15. Zmiany średniej prędkości przepływu w korycie głównym dla projektowanego stanu rzeki Dunajec na odcinku od km 44+000 do km 55+000

Fig. 15. Changes in average velocity of flow in main channel for projected state of Dunajec river from km 44+000 to km 55+000



Rys. 16. Zmiany profili zwierciadła wody dla aktualnej i projektowej sytuacji rzeki Dunajec od km 44+000 do km 55+000

Fig. 16. Changes in water table profiles for current and projected state of Dunajec river from km 44+000 to km 55+000



Rys. 17. Zmiany średnich prędkości przepływu w korycie głównym dla aktualnego i projektowego stanu rzeki Dunajec od km 44+000 do km 55+000

Fig. 17. Changes in average velocity of flow in main channel for current and projected state of Dunajec river from km 44+000 to km 55+000

od NNQ aż po WWQ. Biorąc pod uwagę warunki bytowania ryb, wartości przepływów można podzielić na: niskie – od 20 do 50 m³ · s⁻¹, średnie – od 80 do 160 m³ · s⁻¹, i brzegowe – od 300 do 500 m³ · s⁻¹. Krytyczna prędkość przepływu wody dla tych ryb wynosi 1,5 m · s⁻¹ z wyjątkiem uklei, dla której owa wartość to 0,52 m · s⁻¹.

Do szczegółowej analizy wybrano trzy natężenia przepływu (50, 130 oraz 400 m³ · s⁻¹). Jak widać na rysunku 16, zasięg oddziaływania stopni dla przepływów niskich i średnich wynosi około 3500 m. To sprawia, że powyżej cofki pozostaje odcinek o długości 1000–1500 m, o niezmienionej dynamice.

Potwierdza to również zestawienie zmian średnich prędkości przepływu w korycie dla analizowanych natężeń przepływu przedstawione na rysunku 17. Zredukowane prędkości przepływu (o 50% lub więcej) na obszarze powstałych zbiorników dają szansę na pojawienie się tam gatunków ryb spotykanych w nizinym odcinku rzeki, np. szczupaka, sandacza, bolenia czy suma. Wprawdzie dotychczasowe warunki bytowania ulegną zmianie ale nowo powstałe stworzą szansę do bogatszego zróżnicowania gatunkowego ichtiofauny.

DYSKUSJA I PODSUMOWANIE WYNIKÓW

Oceniając wstępnie uzyskane wyniki pod kątem przeciwdziałania procesowi dalszej erozji koryta, oszacowano wpływ zmian dynamiki przepływu następujących pod wpływem zabudowy na warunki stabilności koryta na badanym odcinku rzeki. W tabeli 2 zestawiono wyniki tego oszacowania. Wartości zapisane pogrubioną czcionką wskazują przypadki braku stabilności koryta w stanie obecnym oraz ich poprawę w stanie projektowym.

Tabela 2. Wpływ zmian dynamiki przepływu na stabilność koryta
Table 2. Estimation of influence of flow dynamics changes on channel stability

Przekrój Cross-section km	Średnica miarodajna w nurcie Effective diameter of the bed material mm	Prędkość nierozmywalna Unscouring velocity m · s ⁻¹	Przepływ nierozmywalny Unscouring flow m ³ · s ⁻¹		Minimalne wartości wskaźnika stabilności Łochtina N_L Minimum values of Łochtina stability coefficient N_L	
			Stan obecny Current state	Stan Projektowy Projected state	Stan obecny Current state Stabilność – N_L – Q Stability – $N_L - Q$	Stan projektowy Projected state Stabilność – N_L – Q Stability – $N_L - Q$
55+000	39	1,80	500	500	N – 1,4 – 21,1 MS – 4,7 – 30,9	N – 1,4 – 21,1 MS – 4,8 – 30,9
54+800	39	1,80	250	250	S – 31,7 – 500	S – 31,7 – 500
54+000	34	1,65	500	2610	S – 27,6 – 30,9	S – 29,3 – 30,9
53+300	30	1,50	200	250	S – 25,6 – 110	S – 32,1 – 110
52+300	30	1,50	74,3	200	S – 20,3 – 110	AS – 91,0 – 110

Tabela 2. cd.
Table 2. cont.

49+200	34	1,65	21,1	21,1	N – 1,0 – 21.1	MS – 3,7 – 21.1
48+500	34	1,65	200	250	S – 19,9 – 110	S – 28,2 – 110
46+500	34	1,65	30	450	N – 0,05 – 50	AS – >100 – 50
					N – 1,8 – 130	AS – >100 – 130
46+200	34	1,65	300	500	S – 44,5 – 500	AS – 87,1 – 500
44+800	34	1,65	450	450	S – 39,9 – 500	S – 40,0 – 500

Przepływ nierozmywalny – wartość minimalna objętości przepływu, dla której w pasie nurtu prędkości nie przekraczają (lub co najwyżej osiągają) wartości prędkości nierozmywalnej.

Unscouring flow – minimum value of flow volume for which in zone of main stream velocity do not exceed (or only achieve) value of unscouring velocity.

Prędkość nierozmywalna – maksymalna wartość prędkości przepływu, przy której zachowana jest stabilność koryta.

Unscouring velocity – maximum value of flow velocity for which stability of river bed is retained.

Minimalne wartości współczynnika stabilności Łochtina – Minimum values of Łochtina stability coefficient:

- wskaźnik Łochtina przyjęto jako najprostszy do oszacowania stabilności koryta w nurcie na podstawie stosunku średnicy miarodajnej d_m [mm] do lokalnej wartości spadku hydraulicznego [%] – Łochtina coefficient admitted as a simplest to estimation river bed stability basis on relation of effective diameter of the bed material d_m [mm] to local value of hydraulic slope [%];
- zgodnie z uzyskanymi, minimalnymi wartościami tego wskaźnika oszacowano stabilność lub brak stabilności koryta w strefie nurtu dla wartości średnicy miarodajnej zgodnie z tabelą – according to obtained, minimum values of this coefficient stability or lack of stability were estimated for river bed in zone of main stream for value of effective diameter of the bed material compatibly to table:

Stopień stabilności koryta Grade of river bed stability	Wskaźnik Łochtina N_L Łochtina coefficient N_L
Koryto niestabilne – N Unstable River bed – N	< 2
Koryto o małej stabilności – MS River bed with small stability – MS	2–5
Koryto dość stabilne – DS Enough stable river bed – DS	5–10
Koryto stabilne – S Stable river bed – S	10–50
Koryto absolutnie stabilne – AS Absolutely stable river bed – AS	> 50

WNIOSKI

1. Odcinek 55+000–54+800 jest generalnie stabilny zarówno obecnie, jak i pod wpływem zabudowy w pełnym zakresie przepływów. W km 55 pojawia się lokalna niestabilność wynikająca z załamania dna, która przy niższych przepływach może powodować wzmożoną erozję, ograniczoną jednak i w czasie i w przestrzeni.
2. Na odcinku poniżej leżącym, planowana zabudowa powoduje znaczne zwiększenie stabilności koryta w zakresie wartości przepływów, uznawanych powszechnie za korytotwórcze, czyli z przedziału od $Q_{67\%} = 500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ do $Q_{98\%} = 200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Dotyczy to zarówno prędkości nierozmywalnych, jak i wskaźnika stabilności koryta dla wartości d_m .
3. Z punktu widzenia zapewnienia odpowiednich warunków dla gatunków ryb tam żyjących wydaje się, że uzyskano kompromis pozwalający na pogodzenie zadania ograniczenia procesu erozji i urozmaicenia warunków bytowania ichtiofauny.
4. Jak zaznaczono na wstępie, problem wymaga pogłębienia studiów szczegółowych. Niemniej wydaje się, że uzyskane wyniki są na tyle zachęcające, iż warto kontynuować prace, a w tej wstępnej analizie i ocenie udało się je ukierunkować.

PIŚMIENNICTWO

- Bartnik W., 2008. Mat. Ekspertyza dotycząca możliwości hydroenergetycznego wykorzystania dolnego Dunajca w oparciu o kaskadę progów piętrzących stabilizujących dno. Kraków.
- Charakterystyka roku hydrologicznego, Raport o stanie środowiska w województwie małopolskim w 2006 roku. www.krakow.pios.gov.pl
- Dorzecze górnej Wisły, 1991. Red. I. Dynowska, M. Maciejewski. Cz. I i II. PWN Warszawa – Kraków.
- Gręplowska Z., Stochliński T., 2003., Podzadanie 2.3. Ocena potrzeb w zakresie kształtowania przepływów nienaruszalnych (w tym biologicznych), w: Projekt PBZ-KBN 061/T07/2001. Kraków.
- Łapuszek M., Ratomski J. 2006. Zesz. 3, Zał. 3: Analiza i ocena erozji rzek wywołanej wezbraniem powodziowymi, w: Studium ochrony przed powodzią województwa małopolskiego, Kraków.
- Starmach J., Jelonek M., Mazurkiewicz-Boroń G., 2004. Nienaruszalny przepływ wody konieczny dla normalnej egzystencji ryb. Mat. Hydrobiologiczne uwarunkowania metody określania przepływu nienaruszalnego. Kraków.
- Wiśniewolski W. i in., 2004. Restytucja ryb wędrownych a drożność polskich rzek. WWF Warszawa.

ANALYSIS OF INFLUENCE OF SMALL WATER POWER STATIONS ON RIVER FLOW DYNAMICS WITH DUNAJEC RIVER AS EXAMPLE

Abstract. In aim of limitation of erosion in lower part Dunajec river two water stages was designed. Preliminary analysis of influence of these objects on flow dynamics was executed. In the analysis under attention was taken energetic utilization of water stages, estimation of river bed stability and conditions of fish existence conservation.

Keywords: small water power station, flow dynamics, open channel

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 15.03.2010