

Hydrologiczne zmiany w Pieninach

Hydrological changes in the Pieniny Mts.

ROMAN SOJA

Institut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, ul. św. Jana 22, 30-018 Kraków

Abstract. The paper contains a description of the river network in the Pienin Mts. and the hydrological regime of the Dunajec river (with its characteristic flows). Its main part focuses on the hydrological changes caused by the construction of the water reservoirs. The main aim of this construction, which have an overall volume of approximately 250 000 000 m³, is flood protection and energy production. The grand reservoir modifies significantly the discharges and physicochemical parameters of water.

Key words: Pieniny Mts., hydrological changes, water reservoirs

WSTĘP

Pieniny tworzą oddzielny, wyraźnie odróżniający się od otoczenia region fizycznogeograficzny, położony po obu stronach Dunajca, którego przełomowa dolina jest jednocześnie granicą państwową. Dostyc różnie prowadzone są granice regionu w zależności od przyjmowanych kryteriów. Z hydrologicznego punktu widzenia Pieniny stanowią trudny do rozstrzygnięcia problem. Nie tworzą wyraźnej, zwartej jednostki hydrograficznej. Budowa geologiczna, skrasowiałe podłoże i rzeźba terenu predestynują ten region do wyróżnienia oddzielnego reżimu hydrologicznego o cechach właściwych górskim obszarom zbudowanym z wapieni.

W obrębie Pienin, jako jednostki niższego rzędu, znajdują się grupy wzniesień zbudowanych z różnorodnych utworów geologicznych a geologia warunkuje rzeźbę terenu, decyduje o zasobności wód gruntowych. W połączeniu z klimatem, litologia i rzeźba terenu generuje określony typ reżimu hydrologicznego, będący wyrazem

zmienności odpływu w rocznym cyklu hydrologicznym. Większe cieki zasilane z Pienin mają zlewnie, w których decydujące znaczenie ma fliszowa budowa geologiczna, a obszary zbudowane z wapieni, margli i skał wylewnych zajmują małe powierzchnie i tym samym w hydrologicznych materiałach obserwacyjnych dominują fliszowe cechy obiegu wody, jakimi są wybitnie niewyrównany odpływ, zgodność odpływu z przebiegiem opadów i małe zasoby wodne.

Pieniny to region z jedną wielką rzeką jaką jest Dunajec, który w Pieninach jest klasyczną rzeką tranzytową (Ziemońska 1973) o reżimie ukształtowanym w Tatrach. Zasilające Dunajec w Pieninach Niedziczanka, Rieka, Lipnik, Grajcarek i Krośnica to cieki o reżimie beskidzkim. Ciekami, które mogą mieć oryginalny, typowy tylko dla Pienin reżim hydrologiczny, są małe dopływy, takie jak Pieniński Potok, Macelowy Potok, na co wskazują publikowane przez Humnickiego (2007) wyniki pomiarów odpływu. W hydrologicznych podziałach dorzecza górnej Wisły Pieniny z reguły włączane są jednak do innych, sąsiednich

jednostek z uwagi na niewielki wpływ na główny ciek jakim jest Dunajec (Dynowska 1971, Punzet 1982, 1983).

Układ sieci hydrograficznej Dunajca w rejonie Pienin jest wybitnie niesymetryczny. Z południa (prawobrzeżne dopływy) Dunajec zasilany jest stosunkowo dużymi dopływami o nazwach: Niedziczanka, Rieka, Lipnik, Grajcarek i kilkoma drobnymi ciekami, często bez nazwy. Źródła Niedziczanki znajdują się w Słowacji, Rieka, Lipnik i Leśnicki Potok w całości odwadniają obszar Słowacji a Grajcarek płynie z terenu Polski. W przeciwieństwie do prawobrzeżnych dopływów, lewobrzeżne dopływy Dunajca to małe cieki odwadniające skaliste Pieniny. Największy w tej części dopływ Dunajca to Krośnica, uchodząca do Dunajca w Krościenku.

Największym ciekim, który zasila Dunajec w Pieninach jest Niedziczanka – 139,7 km² zlewni, jej źródła znajdują się na terenie Słowacji, na zachód od Osturni. Główny ciek ma długość 20,2 km i uchodzi do Zbiornika Sromowieckiego w Niedzicy. Od granicy polsko-słowackiej ciek nosi nazwę Kacwinianka a nazwa Niedziczanka stosowana jest od przyjęcia dużego, lewobrzeżnego dopływu o nazwie Łapszanka. Głównymi dopływami Niedziczanki są: Kremniak na Słowacji – 11,38 km² i Gajnik – 16,44 km². Na obszarze Polski główny ciek zasilany jest drobnymi dopływami a w Niedzicy przyjmuje z lewej strony Łapszankę – 52,42 km² o wybitnie niesymetrycznej zlewni. Niedziczanka odwadnia fliszowe pasma na granicy polsko-słowackiej, a w odcinku ujściowym jej dolina wycięta jest w wapiennych i kredowych marglach.

Krośnica jest lewobrzeżnym dopływem Dunajca, ma powierzchnię 37,94 km², odwadnia północny skłon Pienin. Jej zlewnia jest wybitnie asymetryczna z przewagą dopływów lewobrzeżnych. Pienińskie dopływy Krośnicy (Hałuszowski Potok, Biały Potok) są krótkie, mają duże spadki i są stosunkowo mało zasobne w wodę. Lewobrzeżne dopływy Krośnicy, Potok Lubański (6,58 km²), Czarna Krośnica (8,93 km²) odwadniają pasmo Lubania, są typowymi ciekami beskidzkimi. Koryto Krośnicy od wsi Hałuszowa jest silnie przekształcone przez człowieka. Liczne

są zaporki przeciwrumowiskowe a w Krościenku brzegi koryta tworzy kamienna obudowa.

WODY POWIERZCHNIOWE

Obserwacje hydrologiczne w Pieninach ograniczone są do Dunajca, na którym pierwsze stacje wodowskazowe założono w XIX wieku. Pierwsze wodowskazy założono w Czorsztynie i w Krościenku w 1898 roku. Wodowskaz w Czorsztynie zamykał zlewnię o powierzchni 1123 km² a w Krościenku 1580 km²; jest to posterunek podstawowy dla Dunajca. Prowadzone są obserwacje wodowskazowe na Niedziczance w Niedzicy, na Grajcarcu w Szczawnicy i Krośnicy w Krościenku. W trakcie budowy zespołu zbiorników uległ likwidacji wodowskaz na Dunajcu w Czorsztynie, posterunek pomiarowy przeniesiono do Sromowiec. Wymienione posterunki pozostają w dyspozycji Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Na małych ciekach pienińskich służba hydrologiczna nigdy nie instalowała stacji hydrometrycznych. Były lub są w dalszym ciągu punkty pomiarowe (Humnicki 2007), należące do instytutów naukowych realizujących własne programy badawcze (Uniwersytet Warszawski). Szczególnie interesujące są materiały dokumentujące odpływ z p. Macelowego, Białego i Głębokiego zamieszczone w monografii Humnickiego (2007), które mogą być podstawą do wyodrębnienia szczególnych cech hydrologicznych małych cieków pienińskich. Po słowackiej stronie w Czerwonym Klasztorze znajduje się wodowskaz z dobrą, długą serią pomiarową (Kravcik 1997). Jest to jedyny słowacki punkt hydrometryczny na Dunajcu.

Jednym z parametrów dobrze opisujących środowisko zlewni jest gęstość sieci rzecznej. W zlewniach o małej przepuszczalności podłoża mamy najczęściej dużą gęstość sieci rzecznej, a w zlewniach o dużej przepuszczalności gęstość sieci jest z reguły niższa. Dla obszaru Pienin obliczono gęstość sieci rzecznej na podstawie materiałów topograficznych w skali 1: 10 000 i wyrażono w jednostkach kilometr długości cieków w zlewni na jeden kilometr powierzchni (km/km²). Najniższą gęstość sieci hydrograficznej w Pieninach ma zlewnia p. Pienińskiego i wynosi ona tylko 1,71 km/km². Najwyższy wskaźnik

Tabela I. Parametry zlewni cieków w Pieninach.
Catchment basins in Pieniny Mts.

Zlewnia Catchment area	Powierzchnia Surface area [km ²]	Gęstość sieci rzecznej Density of the river network [km/km ²]
Macelowy Potok	4,71	2,28
p. Sobczański	1,29	1,80
p. Gorczyński	1,75	1,67
Pieniński Potok	2,43	1,71
Limbargowy Potok	1,13	3,40
Straszny Potok	0,83	2,43
Głęboki Potok	2,40	2,47
Biały Potok	2,78	2,36
Potok Groń (d. Kozi)	1,39	2,22
Łonny Potok	1,96	2,29

gęstości stwierdzono dla zlewni p. Limbargowego i wynosi on 3,40 km/km². W sześciu innych zlewniach gęstość sieci rzecznej zamyka się w granicach 2,2–2,5 km/km² i taką wartość można przyjąć jako typową dla obszaru Pienin (Tab. I). Wyjątkowa niska gęstość sieci rzecznej w zlewni p. Pienińskiego wynika z nietypowej jak na Pieniny budowy geologicznej. Cała zlewnia wycięta jest w skałach węglanowych, stosunkowo łatwiej przepuszczalnych.

Dla obszarów sąsiadujących z Pieninami gęstość sieci rzecznej podaje Kostrakiewicz (1982). Materiał ten jest trudno porównywalny z danymi dla Pienin, z uwagi na różne skale map topograficznych użytych do obliczeń. Według Kostrakiewicza (1982) Dunajec do Czorsztyna ma gęstość sieci rzecznej 1,55 km/km², Niedziczanka do Niedzicy 1,17 km/km², Grajcarek w Szczawnicy 2,07 km/km², Krośnica w Krościenku 1,92 km/km². Dane dotyczące gęstości sieci odwadniającej podawane przez Humnickiego (2007), Kostrakiewicza (1982) i innych autorów różnią się z uwagi na wykorzystywanie do pomiarów mniej lub bardziej szczegółowych map i różną metodykę pomiarów.

Źródła w Pieninach są liczne, ale cechuje je mała wydajność i bardzo duża zmienność. Humnicki (2007) zarejestrował w Pieninach (polskich i słowackich) 470 źródeł, a obliczony wskaźnik krenologiczny wynosi 6,5 źr./km², dla źródeł stałych jest nieco niższy i wynosi 5,8 źr./km².

Przeważają źródła o wydajności do 0,5 l/s. Szczegółowe dane dotyczące wydajności źródeł, składu chemicznego znajdują się w monograficznym opracowaniu Humnickiego (2007). Na stokach występują obszary podmokłe – młaki, związane z przesączaniem się wód podziemnych na powierzchnię. Na obszarze PPN powierzchnia obszarów podmokłych, głównie młak, w latach 60. ubiegłego stulecia wynosiła ok. 21 hektarów. Współcześnie jest to obszar znacznie mniejszy. Proces zaniku młak wiązany jest ze zmianami użytkowania ziemi w ostatnich latach. Młaki występują najczęściej w obszarach zbudowanych z łupków, rzadko na wapieniach. Sporadycznie wydajność młak przekracza 1 l/s, jednak rzadko zasilają cieki tworząc na stokach interesujące siedliska z wilgociolubną roślinnością.

W Pieninach brak naturalnych zbiorników wód powierzchniowych. Zbiornik Czorsztyński i Sromowiecki to sztucznie utworzone zbiorniki retencyjne. W zagłębieniach na terasie Dunajca pozostałych po eksploatacji żwirów utrzymują się wody gruntowe, a jeden z takich obiektów w Sromowcach przystosowany został do ochrony płazów. Na Krośnicy, przed zaporami przeciwrumiskowymi, tworzą się niewielkie zastoiska wody, zmieniające się po każdym wezbraniu.

REŻIM HYDROLOGICZNY DUNAJCA

Wśród wszystkich rzek polskich Karpat Dunajec wyróżnia się reżimem hydrologicznym określonym przez I. Dynowską (1971) jako „reżim niewyrównany z wezbraniem letnim i wiosennym oraz gruntowo – deszczowo – śnieżnym zasilaniem”. Skrajnie niewyrównany przebieg dobowych przepływów jest wynikiem intensywności procesów spływu po stromych stokach. W literaturze hydrologicznej reżim Dunajca bywa nazywany „tatrzańskim” z uwagi na to, że region tatrzański w największej mierze decyduje o wielkości wezbrań i rocznym rytmie odpływów.

W rocznym cyklu hydrologicznym odpływ Dunajca w Krościenku tworzy bardzo charakterystyczną, typową dla Dunajca krzywą, obrazującą wpływ zasilania tatrzańskiego i beskidzkiego (Tab. II, III). Średni roczny przepływ Dunajca w Krościenku wynosi 31,6 m³/s (Baścik,

Siwek 2006). Przepływ średni Dunajca w Krościenku obliczony dla lat 1951–1998 wynosi 30,8 m³/s przy stanie 198 cm. Wzmożony odpływ wiosenny z tających w Beskidach śniegów rozpoczyna się w marcu a maksimum roczne przypada na kwiecień. W maju w całych Beskidach przepływy średnie miesięczne utrzymują się na wysokości przepływu średniego rocznego lub znacznie poniżej. Niżówka majowa w rzekach zasilanych wyłącznie z fliszu jest bardzo wyraźna. W Dunajcu, w maju, występuje tylko niewielkie, rzędu 10% w stosunku do kwietnia, obniżenie średnich miesięcznych przepływów. Już w czerwcu pojawia się drugorzędna kulminacja generowana deszczami rozlewnymi i ciągle dużym zasilaniem z Tatr, gdzie taje śnieg w wyższych partiach masywu górskiego.

Lipiec i sierpień są miesiącami o zmniejszających się, nie mniej jednak bardzo wysokich przepływach średnich. Roczna zmienność przepływów w lipcu i sierpniu jest bardzo duża. Jeżeli nie ma wezbrań z opadów rozlewnych, to już w tych miesiącach zaczyna formować się niżówka. O wysokich wartościach przepływów średnich lipca i sierpnia decydują wielkie wezbrania, o prawdopodobieństwie wystąpienia rzędu 10%. Miesiące od kwietnia do sierpnia mają przepływy średnie zdecydowanie powyżej średniej rocznej. We wrześniu rozpoczyna się drugi w rocznym cyklu okres hydrologiczny niskich stanów wody, trwający do lutego. Od września do listopada przepływy utrzymują się na jednakowym poziomie. Minimum roczne przypada na

styczeń, w grudniu formuje się na rzekach zwarta pokrywa lodowa.

Przedstawiony schemat przebiegu średnich miesięcznych przepływów wody Dunajca w Krościenku (także na całym jego biegu do Zbiornika Rożnowskiego) należy traktować jak fakt historyczny. Działanie zespołu zbiorników retencyjnych przekształciły reżim naturalny w antropogeniczny. W ocenach wpływu planowanego zespołu zbiorników na reżim hydrologiczny było to oczywistością, pisali o tym Stachnal-Talanda (1965) i Kostrakiewicz (1965, 1982), ale stopień rzeczywistego przekształcenia nie jest już tak jednoznaczny. Poprawna ocena wymaga kilkunastu lat zbierania danych. Już dzisiaj wiemy, że wpływ zbiornika jest bardzo silny odnośnie zmian termiki wody i transportu materiału wleczzonego i zawieszonego.

Kwestią otwartą pozostaje wieloletnia tendencja zmian odpływu w zlewni Dunajca, która była przedmiotem studiów m. in. Kravcika (1997). Twierdzenia o udokumentowanych i w pełni wiarygodnych dodatnich lub ujemnych tendencjach zmian odpływu Dunajca nie znajduje potwierdzeń. Badano ciąg przepływów Dunajca w Nowym Sączu z lat 1951–1995. Zmienność średnich rocznych przepływów zamyka się między 40 a 90 m³/s. Tendencja zmian przepływów jest wyraźnie dodatnia, wynosi ok. 0,09 m³/s, ale jest nieistotna statystycznie, podobnie jak nieistotne statystycznie są tendencje przepływów kolejnych miesięcy roku czy półroczy hydrologicznych. Przy wielkiej zmienności odpływu wynikającej

Tabela II. Dunajec – Krościenko, charakterystyczne stany wody [cm] 1961–2000 (Baścik, Siwek 2006).
Monthly water stages [cm] of the Dunajec River at Krościenko 1961–2000 (Baścik, Siwek 2006).

Stan wody Water stage	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Najniższy niski The lowest of the low	143	149	153	154	156	161	177	170	159	153	151	155
Średni niski Mean low	180	179	185	186	187	199	200	198	190	185	183	181
Średni Mean	191	195	203	202	212	224	222	221	215	207	200	194
Średni wysoki Mean high	219	235	237	239	272	269	276	298	307	283	248	225
Najwyższy wysoki The highest of the high	333	335	330	470	370	362	496	545	540	434	400	387

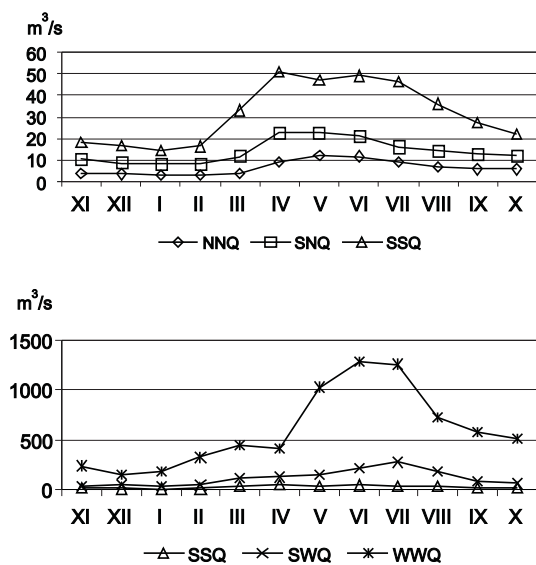
Tabela III. Dunajec – Krościenko, charakterystyczne przepływy [m^3/s] 1961–2000 (Baścik, Siwek 2006).
Monthly water discharges [m^3/s] of the Dunajec River at Krościenko 1961–2000 (Baścik, Siwek 2006).

Przepływ Flow	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Najniższy niski The lowest of the low	3,70	3,45	3,00	3,20	4,00	8,83	12,2	11,8	9,48	6,61	5,78	5,78
Średni niski The lowest of the low	10,7	8,71	8,43	8,55	11,8	22,9	22,5	21,3	16,3	14,3	13,1	12,2
Średni Mean	18,5	17,0	14,6	16,4	33,1	50,7	46,8	49,1	46,2	36,1	27,5	22,2
Średni wysoki Mean high	47,2	51,0	39,6	49,5	126	131	157	226	278	190	95,6	64,9
Najwyższy wysoki The highest of the high	245	153	193	328	452	422	1030	1290	1260	728	577	522

z przyczyn naturalnych, oddziaływania antropogeniczne są maskowane przez czynniki naturalne, głównie klimatyczne.

W tabelach II i III oraz na rycinie 1 zamieszczono dane obrazujące stany i przepływy charakterystyczne Dunajca w Krościenku dla

czterdziestoletniego okresu. W tej serii pomiarowej ujęto także lata po uruchomieniu zespołu zbiorników w 1997 roku, co nie wpływa na wartości średnie. Amplituda stanów wody w Krościenku wynosi ponad 400 cm. Amplituda przepływów zamyka się między $3 \text{ m}^3/\text{s}$ i $1290 \text{ m}^3/\text{s}$ a współczynnik nieregularności wynosi 430. W porównaniu do innych rzek karpacczych współczynnik nieregularności przepływów nie jest wysoki, o czym decyduje w miarę stałe zasilanie z obszaru Tatr w okresach letnich i jesiennych niżówek. Powodzie w pienińskim odcinku Dunajca występują wyłącznie od maja do sierpnia włącznie, w pozostałych miesiącach przepływy maksymalne nie przekraczają $600 \text{ m}^3/\text{s}$. Zasoby wodne Dunajca opisane odpływem jednostkowym wynoszą ok. 20 l/s/km^2 i są największe w Polsce dla rzek o zbliżonej wielkości powierzchni zlewni. Nieco niższe są zasoby wodne Grajcarka, rzędu 18 l/s/km^2 a najniższe zasoby wykazuje zlewnia Niedziczanki ok. 15 l/s/km^2 .



Ryc. 1. Przepływy charakterystyczne Dunajca w Krościenku (wg Tab. III): NNQ – najniższy niski przepływ, SNQ – średni niski stan przepływ, SSQ – średni przepływ, SWQ – średni wysoki przepływ, WWQ – najwyższy wysoki przepływ.
Mean monthly discharges of the river Dunajec at Krościenko (after Table III): NNQ – the lowest monthly discharge, SNQ – mean of the monthly low discharge, SSQ – mean monthly discharge; B: SWQ – mean of the monthly highest discharge, WWQ – the highest monthly discharge.

ZMIANY HYDROLOGICZNE W PIENINACH

Zbiorniki retencyjne są trwałym elementem w krajobrazach na całym świecie a historia ich budowy i funkcjonowania sięga tysiącleci. Wraz z rosnącym zapotrzebowaniem na wodę i energię elektryczną człowiek sięga do obszarów podlegających ochronie, jeśli tylko są tam możliwości techniczne budowy zbiorników. Powoduje to daleko idące konsekwencje w środowisku, które reaguje na zmiany. W każdym przypadku zbiornik

jest nowym elementem a jego funkcjonowanie zawsze powoduje zmianę reżimu hydrologicznego rzeki. Zmiana reżimu rzeki to tylko jeden z wielu skutków, stosunkowo łatwy do prognozowania, jeśli chodzi o parametry odpływu. Mniej wymierne są oddziaływania zbiornika na biotyczne składowe środowiska, które ocenić można dopiero po wielu latach. Równie trudne i dyskusyjne są skutki oddziaływania zbiorników na klimat, który jest wybitnie zmienny w czasie i w przestrzeni. Prognozy oddziaływania zbiorników są najczęściej oparte na analogiach z już działającymi obiektami i prawidłowościach wynikających z fizycznych zależności między składowymi środowiska.

Elementem decydującym o zmianie reżimu rzeki jest użytkowa pojemność zbiornika. Z funkcją zbiornika wiąże się także stopień przekształcenia reżimu. W Polsce wszystkie zbiorniki wielkich i średnich rozmiarów są zbiornikami wielofunkcyjnymi z dominacją ochrony przeciwpowodziowej i energetyką. W przypadku Zbiornika Czorszyńskiego dochodzi jeszcze wyrównanie przepływów Dunajca od kwietnia do października dla celów turystycznych – zapewnienia dobrych warunków spływu tratw z pasażerami.

Zasadniczym celem każdego zbiornika jest regulacja odpływu, która może zaznaczać się w skali wielolecia, roku, sezonu lub doby. Regulacja w cyklu wieloletnim jest spotykana w skali światowej bardzo rzadko, dotyczy wyłącznie największych zbiorników w strefach półsuchych. Regulacja odpływu w cyklu rocznym jest typowa dla stref klimatycznych z wyraźnie zaznaczonym rocznym cyklem opadowym. W warunkach hydroklimatycznych Karpat wiosenne lub letnie wezbrania są przechwytywane w zbiornikach a długotrwała jesienna niżówka jest okresem, w którym przepływy rzeki są znacznie wyższe od naturalnych. Karpackie zbiorniki pracują z wyrównaniem rocznym, ale bardzo silnie zaznacza się sezonowa regulacja odpływu, przeniesienie wiosennego nadmiaru wody na lato i jesień.

Dobowy cykl zmian odpływu jest najczęściej generowany pracą hydroelektrowni, które są wykorzystywane do produkcji prądu w szczytowych okresach dobowego zapotrzebowania. Dobowe

wahania przepływów są wybitnie niekorzystne, wręcz szkodliwe dla życia biologicznego w rzece. Dobowym wahaniom przepływów mają przeciwdziałać budowane zbiorniki wyrównawcze, będą częścią wielkich obiektów. W przypadku Dunajca taką rolę spełnia Zbiornik Sromowiecki, Zbiornik Czchowski poniżej Zbiornika Rożnowskiego czy na Sanie Zbiornik Myczkowce poniżej Zbiornika Solińskiego. Na Dunajcu dobowe zmiany stanów wody sięgające 30–40 cm generowane są pracą elektrowni przepływowej w Sromowcach na zbiorniku wyrównawczym. Problem ten jest znany służbom Parku a jego rozwiązanie wydaje się być możliwe, przy założeniu nadrzędności celów przyrodniczych nad ekonomicznymi zyskami z pracy elektrowni.

Generalnie zbiorniki nie wpływają w żadnym stopniu na zmianę średniego rocznego przepływu w układzie wieloletnim. Ta oczywista prawidłowość nie jest postrzegana powszechnie, zwłaszcza w mediach. Zbiornik retencyjny to jedynie miejsce, w którym następuje czasowe przechowywanie wody, wprowadzanej do rzeki zgodnie z przyjętą strategią. Nieporozumienia wynikają z zauważalnego wzrostu przepływów niskich i braku możliwości oceny zmniejszenia przepływów wysokich.

– Wpływ zbiorników bywa dosyć często przedmiotem badań, ale najczęściej są to prace dotyczące wybranych elementów takich jak: zmniejszenie wahanias stanów wody, zmiany linii brzegowej, sedymentacji w zbiornikach (Babiński 1986; Chełmicki, Bieńkowski 2004; Głazik 1978; Lach, Deptuch 1988; Szubert 1992; Ziętara 1992, 1994). Zdecydowanie rzadsze są prace ujmujące zagadnienia wpływu syntetycznie (Gutry-Korycka 1993; Szczerkowska-Majchrzak, Grzybkowska 2008). Skutkiem działania zbiornika są zmiany reżimu hydrologicznego, obejmujące w skrótowej formie takie elementy jak:

- Redukcja fal powodziowych
- Podniesienie przepływów minimalnych
- Wydłużenie czasu trwania niskich i średnich przepływów i skrócenie czasu trwania przepływów wysokich
- Zmiana termiki rzeki i wynikająca z tego zmiana długości czasu trwania i formy zjawisk lodowych

- Zmiana wielkości transportu rumowiska
- Zmiana parametrów fizykochemicznych wody.

Redukcja fal powodziowych

Redukcja fal wezbraniowych jest głównym celem, jeśli chodzi o ochronę przeciwpowodziową doliny poniżej zbiornika. Dla Dunajca jest wiele opracowań wskazujących na skuteczne w tej mierze działanie Zbiornika Rożnowskiego (m.in. Punzet 1982) i dla Zbiornika Czorsztyńskiego od pierwszej, wielkiej powodzi w 1997 roku (Drezińska i in. 1997; Fiedler-Krukowicz, Łaniewski-Wołk 1998; Krakowski, Niedbała 1997; Zespół Zbiorników... 2003).

Rezerwa przeciwpowodziowa, czyli wydzielona z całkowitej pojemności zbiornika część przeznaczona do wypełnienia w czasie wezbrania, jest narzędziem pozwalającym na skuteczne działania. Gospodarowanie rezerwą powodziową wymaga dobrej znajomości stanu zlewni, który może zapewnić tylko sprawnie funkcjonująca sieć informacyjna, składająca się z automatycznie i autonomicznie działających stacji hydrometeorologicznych. Drugim elementem decydującym o skutecznym obniżeniu wezbrania są dobre, zweryfikowane modele dopływu wody ze zlewni do zbiornika. Po każdej powodzi w południowej Polsce pojawiają się zarzuty złego sterowania rezerwą powodziową na zbiornikach, co skutkuje nawet doniesieniami do prokuratury o popełnieniu przestępstwa na szkodę obywateli. Wynika to najczęściej z niezajomości zasad działania zbiornika lub świadomego przerzucania odpowiedzialności na kogoś innego.

Są znane i opisane przypadki (Punzet 1982), kiedy zrzut wody ze zbiornika wykonywany przed nadejściem fali głównej powodował podtopienia w dolinie poniżej, ale w każdym przypadku były to działania świadome, oparte na wiedzy o stanie zlewni i na prognozie. Reakcja zlewni, zwłaszcza w czasie zdarzeń rzadkich, jest trudna do przewidzenia i zakres błędu w tej mierze jest duży. Redukcja fal wezbraniowych małej i średniej wielkości jest prosta, zbiornik przechwytuje całą objętość a przepływ poniżej zapory może nie ulec zmianie. Komplikacje zaczynają się w czasie wezbrań o prawdopodobieństwie pojawiania się

rzędu 5% i więcej procent. Jeśli zbiornik zostanie wypełniony w całości, to każda następna fala nie ulegnie redukcji i z takimi sytuacjami mieliśmy do czynienia w czasie powodzi w 2010 roku w Karpatach.

Krótkie, kilkuletnie doświadczenia z pracy Zbiornika Czorsztyńskiego wskazują na dobre wypełnianie założeń redukcji fal wezbraniowych. Zbiornik pracuje powyżej Zbiornika Rożnowskiego, którego wpływ na obniżenie fali wezbraniowej Dunajca w ujściu do Wisły wynosi 0,5 m (Gutry-Korycka 1993). Współdziałanie obu obiektów winno dać jeszcze lepszy wynik. Należy przypuszczać, że po powodzi w 2010 r. winny pojawić się opracowania dokumentujące. Skuteczne działania wymagają jednak koordynacji, której podstawą jest znajomość stanu środowiska w całej zlewni w czasie powodzi.

Redukcja fal wezbraniowych powoduje obniżenie elewacji fali przepływającej przez przełom o 1 do 2 m. Poza zasięgiem fal wezbraniowych w nowych warunkach znalazły się powierzchnie skalne i terasy rzeczne z bytującą tam florą, uzależnioną od sporadycznych zalewów. Stan tych zbiorowisk wymaga monitorowania dla oceny skutków. Z całą pewnością w przełomie wysokie wezbrania będą osiągać znacznie niższy poziom, rzędu wspomnianych 1–2 m i nie powrócą do stanu poprzedniego.

Podniesienie przepływów minimalnych

Podniesienie przepływów minimalnych przez Zbiornik Czorsztyński wyraża się wzrostem przepływów minimalnych z obserwowanych 2,2 m³/s do 12 m³/s w okresie od kwietnia do października i z 1,5 m³/s do 8 m³/s w pozostałej części roku (Zespół Zbiorników... 2003). Jest to znaczące podniesienie przepływów ponad rejestrowane wcześniej wielkości wyrażające się 5–6-krotnym wzrostem.

Regulacja przepływów

Wydłużenie czasu trwania niskich i średnich przepływów i skrócenie czasu trwania przepływów wysokich to skutek regulowania odpływu. Dla Dunajca poniżej Zbiornika Czorsztyńskiego brak jest danych w tym zakresie. Opracowano pojedyncze lata, ale wiarygodne wyniki muszą być

oparte na serii wieloletniej. Proste obliczenia krzywej sumowej czasów trwania przepływów w dwu porównywalnych okresach dałoby dokładną i nie budzącą wątpliwości odpowiedź na pytanie o skalę zmiany reżimu odpływu w czasie całego zakresu stanów wody.

Zmiana termiki rzeki

Zmiana termiki rzeki i wynikająca z tego zmiana długości czasu trwania i formy zjawisk lodowych jest dostrzegalna bez prowadzenia badań szczegółowych. Termika wody to bardzo ważny element decydujący o życiu biologicznym w rzece. Zmiana termiki powoduje pojawienie się nowych zespołów i zanik lub zasadniczą zmianę dotychczas funkcjonujących zespołów. Termika wody w rzece uzależniona jest od dopływu energii słonecznej i warunków lokalnych, jakimi są np. stopień odsłonięcia koryta, grubość warstwy pływającej wody. Dotyczy to rzeki o niezaburzonym reżimie.

Poniżej zbiorników retencyjnych reżim termiczny wody jest wynikiem dopływu wód ze zbiornika o parametrach niezależnych od przebiegu pogody. Woda jest pobierana przez urządzenia przepustowe z warstwy przydennej o zupełnie innych parametrach. Są to wody chłodniejsze latem i cieplejsze zimą niż w warstwie powierzchniowej. Praca Wiejaczki (2010) dokumentuje rolę zbiornika retencyjnego w transformacji reżimu termicznego rzeki Ropy. Autor podaje, że amplituda temperatur wody zmniejszyła się o 5° po uruchomieniu zbiornika. Zmiana reżimu termicznego skutkuje także zmianą zlodzenia i zjawisk lodowych na rzece. Są to zmiany drastyczne, wyrażające się brakiem pokrywy lodowej na odcinku kilkunastu kilometrów poniżej zbiornika w czasie zim łagodnych i średnich pod względem temperatury powietrza. W przywoływanej pracy udokumentowano różnice pomiędzy zjawiskami lodowymi, porównując czas trwania, daty występowania pierwszych i ostatnich zjawisk lodowych powyżej i poniżej zbiornika Klimkówka. Takie opracowanie jest możliwe także dla Zbiornika Czorsztyńskiego, gdzie mogą być jeszcze bardziej drastyczne kontrasty. Świadczy o tym brak zwartej pokrywy lodowej w całym przełomie, co stwarza zupełnie nowe warunki

dla bytowania fauny w okresie zimowym. Jest to jeden z najbardziej widocznych skutków działania zbiornika.

Zmiana wielkości transportu rumowiska

Bezpośrednim skutkiem budowy zbiornika jest zmiana wielkości transportu rumowiska wleczonego, który zostaje całkowicie przerwany i akumulowany w cofce. Na ten temat nie ma żadnych doniesień naukowych, poza szacunkowymi obliczeniami wielkości transportu rumowiska składowanego w cofce zbiornika. Przerwanie dostawy piasku, żwirów i większych otoczków, musi skutkować zmianami procesów kształtujących koryto. Dunajec był jedynym liczącym się źródłem rumowiska wleczonego w Przełomie Pienińskim.

Transport rumowiska unoszonego można oszacować z dosyć dużą dokładnością na podstawie analogii z innymi zbiornikami. A. Łajczak (1999) określa skuteczność przechwytywania zawiesiny na 95%, co nie różni się istotnie od innych zbiorników a znaczy to, że tylko 5% zawiesiny jest transportowane przez Dunajec w przełomie. Skutkiem takiego stanu jest wzrost kompetencji rzeki. Zmniejszenie obciążenia zawiesiną fal wezbraniowych może skutkować wzrostem energii pływającej wody i wzmożeniem procesu pogłębiania koryta, a na pewno transportem drobniejszych frakcji rumowiska poza przełom. Tym samym musi nastąpić zmniejszenie powierzchni kamieńców, zmiana struktury koryta Dunajca. Takie sytuacje znane są z Wisły poniżej Zbiornika Włocławskiego, ale dla Dunajca brak jest jakichkolwiek, nawet symulacyjnych danych. Okolicznością sprzyjającą jest zmniejszenie wysokości objętości fal wezbraniowych w przełomie, ale wzajemne relacje są w tym przypadku trudne do prognozowania przy braku danych podstawowych.

Zmiana parametrów fizykochemicznych wody

Zmiana tych parametrów jest konsekwencją szybkości wymiany wody w zbiorniku, która dla Zbiornika Czorsztyńskiego wynosi ok. 100 dni. Zbiornik modyfikuje cechy fizykochemiczne wody; jest to prawidłowość dotycząca wszystkich, nawet małych obiektów. Dla Dunajca brak

jest w tej mierze opracowań szczegółowych. Widoczna jest poprawa jakości wody, ale jest to raczej wynik podniesienia przepływów niskich i średnich, skutkujących większym rozcieńczeniem dopływających do rzeki ścieków. Przyjmując za słuszne wyniki badań Wiejaczki (2007, 2010) na zbiorniku Klimkówka na Ropie można ocenić, że odczyn wody (pH) poniżej zbiornika ulega niewielkim zmianom, a przewodność właściwa wody, będąca jednym ze wskaźników ilości soli rozpuszczonych w wodzie, nieznacznie maleje.

PODSUMOWANIE

Środowisko na obszarze Pienińskiego Parku Narodowego podlega szczególnie rygorystycznej ochronie, co nie znaczy, że nie ulega zmianom. Zmiany mogą być zaplanowane przez człowieka. Takimi są działania służące utrzymaniu określonych zespołów roślinnych czy faunistycznych. Zmiany zachodzą także jako skutek istnienia człowieka w środowisku, a są nimi np. zaburzenia wywołane napływem zanieczyszczeń atmosferycznych z dalekiego transportu czy ruchem turystycznym.

W Pieninach mamy do czynienia ze szczególnym przypadkiem zaburzeń spowodowanych powstaniem zespołu zbiorników retencyjnych i pracą elektrowni. Na obszar Parku, w imię wyższych celów, wprowadzono zupełnie nowy, obcy element w postaci zbiorników wodnych. Argumenty ochrony przeciwpowodziowej i korzyści ekonomiczne zadecydowały o realizacji inwestycji. Nie jest to sytuacja wyjątkowa, podobne obiekty funkcjonują na obszarach chronionych na świecie. Wywołuje to protesty najczęściej organizacji pozarządowych, ale należy podkreślić, że inwestorzy i konstruktorzy obiektów hydrotechnicznych zdają sobie sprawę z zagrożeń, jakie powoduje budowa i eksploatacja obiektów hydrotechnicznych.

– W Deklaracji Międzynarodowej Komisji Wielkich Zapór (Deklaracja... 1996) wyraźnie sformułowano zalecenia wymagające prowadzenia monitoringu zmian środowiska po oddaniu obiektu do eksploatacji i porównywaniu stanu bieżącego z wyjściowym. Szczególnie uważnie należy śledzić zmiany w obszarach podlegających ochronie.

W przypadku Pienin zalecenia te są realizowane w minimalnym stopniu, a podstawowym problemem jest brak środków finansowych. Badania monitoringowe realizowane w Pieninach wykonywane są z reguły ze środków instytucji naukowych, dlatego mają najczęściej wyrwykowy, wręcz incydentalny charakter, obejmują zagadnienia będące we własnych planach badawczych. Taki stan rzeczy jest przyczyną braku odpowiedzi na wiele fundamentalnych pytań o zakres i skalę przekształceń wywołanych funkcjonowaniem zbiorników.

PIŚMIENNICTWO

- Babiński Z. 1986. Zmiany warunków hydrologicznych i morfologicznych Wisły poniżej stopnia wodnego „Włocławek”. [W:] J. Szczupryczyński (red.) Zbiornik wrocławski – niektóre problemy z geografii fizycznej. — Dokumentacja Geograficzna, 5: 41–52.
- Baścik M., Siwek J. 2006. Komentarz do mapy hydrograficznej w skali 1: 50 000. Arkusz M-34-89 D Szczawnica. — Główny Geodeta Kraju, Gokart-International, Rzeszów.
- Chelmiński W., Bieńkowski T. 2004–2005. Przepływy niżówkowe w dorzeczu górnego Dunajca w 2003 r. na tle wielolecia 1951–2003. — Folia Geographica, Series Geographica Physica, 25–26: 65–75.
- Deklaracja ICOLD/CIGB. Zapory wodne a środowiska. — Polski Komitet Międzynarodowej Komisji Wielkich Zapór, IMGW, Warszawa 1996.
- Drezińska B., Kruszewski A., Hołda I. 1997. Przebieg powodzi i osłony hydrologicznej w dorzeczu górnej Wisły, lipiec 1997. [W:] Powódź 1997, Forum Naukowo – Techniczne, Ustroń k/Wisły. — T. 3: 27–44.
- Dynowska I. 1971. Typy reżimów rzecznych w Polsce. — Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne, 28: 1–153.
- Fiedler-Krukowicz H., Łaniewski-Woźń J. 1998. Przepływy Dunajca w Pienińskim Parku Narodowym w warunkach normalnej i powodziowej eksploatacji Zespołu Zbiorników Wodnych Czorsztyn – Niedzica i Sromowce Wyżne. — Pieniny Przyroda i Człowiek, 6: 111–124.
- Glazik R. 1978. Wpływ zbiornika wodnego na Wiśle we Włocławku na zmiany stosunków wodnych w dolinie. — Dokumentacja Geograficzna, 2–3: 1–119.
- Gutry-Korycka M. 1993. Naturalne i antropogeniczne zmiany obiegu wody. [W:] I. Dynowska (red.) Przemiany stosunków wodnych w Polsce w wyniku procesów naturalnych i antropopresji. — Kraków, ss. 273–392.

- Humnicki W. 2007. Hydrogeologia Pienin. — Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa, 239 s.
- Kostrakiewicz L. 1965. Hydrografia Pienin. — *Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne*, **117**(12): 77–111.
- Kostrakiewicz L. 1982. Hydrografia. [W:] K. Zarzycki (red.) *Przyroda Pienin w obliczu zmian*. — *Studia Naturae*, ser. B, **30**: 70–93.
- Krakowski W.M., Niedbała J. 1997. Efekty redukcji fali powodziowej przez ZZW Czorsztyn – Niedzica i Sromowce Wyżne. [W:] *Powódź 1997, Forum Naukowo – Techniczne, Ustroń k/Wisły*, — T. 3: 313–324.
- Kravicik M. 1997. Hydroekologiczna charakteristika prietokov Dunajca z definovanimn vplyvov prevadzky vodnych nadrzi Czorsztyn – Niedzica a Sromowce Wisne na niecne ekosystemy Dunajca [Referat wygłoszony na sesji naukowej „Badania Naukowe w Pieninach 97” w Czerwonym Klasztorze na Słowacji. — *Mimovladna organizacija „Ludia a voda”, Koszyce, [msk.]*, 11 s.
- Lach J., Deptuch U. 1988. Wpływ zbiornika Besko na zmiany ustroju wodnego Wisłoka. — *Folia Geographica, Series Gographica Physica*, **20**: 85–99.
- Łączak A. 1999. Współczesny transport i sedymentacja materiału unoszonego w Wiśle i głównych dopływach. — *Monografie Komisji Gospodarki Wodnej PAN*, **15**: 1–213.
- Punzet J. 1982. Charakterystyka hydrologiczna dorzecza Dunajca. — *Rocznik Sądecki*, **17**: 369–399.
- Punzet J. 1983. Zasoby wodne dorzecza górnej Wisły. Przepływy średnie – rozkład sezonowy oraz zmienność w czasie i przestrzeni. — *Roczniki Nauk Rolniczych*, ser. D., **192**: 84–92.
- Stachnal-Talanda D. 1965. Stosunki wodne wschodniej części Kotliny Nowotarskiej oraz prognoza zmian w środowisku geograficznym w przypadku budowy zapory na Dunajcu w Czorsztynie. — *Ochrona Przyrody*, **31**: 203–232.
- Szczerkowska-Majchrzak E., Grzybkowska M. 2008. Piętrzenia rzek i energia wodna: za i przeciw. — *Kosmos, Problemy Nauk Biologicznych*, **57**(3–4): 295–303.
- Szibert M. 1992. Budowa geologiczna strefy brzegowej zbiornika retencyjnego na Rabie w Dobczycach. — *Rocznik Naukowo Dydaktyczny WSP w Krakowie*, **151**, *Prace Geograficzne*, **14**: 19–31.
- Wiejaczka Ł. 2007. Relacje pomiędzy temperaturą wody w rzece a temperaturą powietrza (na przykładzie rzeki Ropy). — *Folia Geographica, Series Gographica Physica*, **37–38**: 95–105.
- Wiejaczka Ł. 2010. Wpływ zbiornika wodnego „Klimkówka” na abiotyczne elementy środowiska przyrodniczego w dolnie Ropy [rozprawa doktorska] — *Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, Kraków*, 178 s.
- Zespół Zbiorników Wodnych Czorsztyn-Niedzica i Sromowce Wyżne im. Gabriela Narutowicza. *Monografia, [seria:] Monografie budowli hydrotechnicznych w Polsce*. — *Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Krakowie, Warszawa 2003*, 203 s.
- Ziemońska 1973. Stosunki wodne w Polskich Karpatach Zachodnich. — *Prace Geograficzne*, **103**: 1–124.
- Ziętara T. 1992. Wstępne wyniki badań i prognozy dotyczące przebiegu niszczenia brzegów zbiornika w Dobczycach. — *Rocznik Naukowo Dydaktyczny WSP w Krakowie*, **151**, *Prace Geograficzne*, **14**: 95–107.
- Ziętara T. 1994. Niszczenie brzegów zbiornika „Besko” przez współczesne procesy geomorfologiczne. — *Rocznik Naukowo Dydaktyczny WSP w Krakowie*, **170**, *Prace Geograficzne*, **15**: 167–180.

SUMMARY

The operation of water reservoirs built on the Dunajec river has resulted in some changes in the environment of the national park. The most vivid changes may be observed in hydrological regime of the Dunajec river. The amplitude of water stages, maximum discharges and minimum discharges have decreased. The minimum discharges have increased 10 times which is forced by the existence of the water tourist route, one of the main attractions of the Pieniny Mts.

Water temperature during winter time is higher, the ice phenomena in the canyon of the Dunajec have almost disappeared and in the summer time water is a little bit cooler. Water reservoirs keep 90% of suspended load and 100% of bed load. The lack of data does not allow the assessment of changes in the river channel. The significant 24 hours fluctuations of water stages have appeared as a result of hydro-electric power plants operation on a compensative reservoir which is of a great importance for water ecosystems. The influence of water reservoirs is restricted to the bottom of the valley and the changes on its slopes are due to the changes of land cover.