

## Dynamika piętrzenia wody w zespole zbiorników Czorsztyn–Sromowce Wyżne

*The dynamics of water level in the Czorsztyn–Sromowce Wyżne  
reservoir complex*

**ŁUKASZ WIEJACZKA**

Institut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania im. S. Leszczyckiego PAN  
31-018 Kraków, ul. św. Jana 22; wieja@zg.pan.krakow.pl

**Zarys treści.** W artykule przeanalizowano dynamikę stanów wody w zespole zbiorników Czorsztyn-Sromowce Wyżne na Dunajcu w ciągu pierwszego 15-lecia jego funkcjonowania. Wykorzystano dane archiwalne z lat 1998-2012 udostępnione przez Zespół Elektrowni Wodnych Niedzica SA. Zwrócono uwagę na podobieństwa i różnice dynamiki stanów wody pomiędzy dużym zbiornikiem Czorsztyn a małym, wyrównawczym zbiornikiem Sromowce Wyżne. Z przeprowadzonej analizy wynika, że zbiornik Czorsztyn odznacza się dużą dynamiką wahań poziomu wody w cyklu rocznym oraz wieloleciu. W ich rocznym rozkładzie zaznacza się wyraźny podział na okres wysokich stanów letnich oraz niskich zimowych. Przebieg stanów wody w zbiorniku Sromowce Wyżne w cyklu rocznym oraz wieloleciu jest bardziej wyrównany. Wahania poziomu wody w tym zbiorniku są w głównej mierze uzależnione od sposobu gospodarowania wodą. W zbiorniku Czorsztyn roczny przebieg stanów wody ściśle nawiązuje do wielkości zasilania oraz odpływu wody z zespołu zbiorników.

**Słowa kluczowe:** zbiornik Czorsztyn, zbiornik Sromowce Wyżne, Dunajec, stan wody.

### Wprowadzenie

Dynamika poziomu piętrzenia wody (*WLF – water level fluctuation*) w zbiornikach zaporowych ma istotny wpływ na ich ekosystemy, szczególnie w obrębie strefy litoralnej (np. Coops i inni, 2003; Gasith i Gafny, 1990). Zmiany poziomu piętrzenia wody wpływają m.in. na morfometrię oraz skład materiału dennego strefy brzegowej, jakość wody zmagazynowanej w zbiornikach, przebieg procesów termicznych zachodzących w zbiornikach, rozwój oraz skład gatunkowy i strukturalny zbiorowisk roślinnych w strefie brzegowej i bezpośrednim jej sąsiedztwie (m.in. Goldsby i inni, 1978; Gasith i Gafny,

1990; Hill i inni, 1998, Nowlin i inni, 2004; Wang i inni, 2004; Leira i Cantonati, 2008). Według M. Leiry i M. Cantonati (2008), większość badań dotyczących wahań poziomu wody w jeziorach oraz zbiornikach retencyjnych w ciągu ostatnich 25 lat zostało przeprowadzonych w Europie i Ameryce Północnej (73%). W literaturze światowej artykuły, w których poruszana jest analiza dynamiki stanów wody w zbiornikach zaporowych i jeziorach naturalnych różnych typów, dotyczą głównie funkcjonowania i ochrony ekosystemów wodnych oraz zarządzania zasobami wodnymi.

Problem wahań poziomu wody w zbiornikach zaporowych w polskiej literaturze był poruszany głównie w odniesieniu do zbiorników górskich (o dużej dynamice stanów wody). Szczegółową analizę dynamiki piętrzenia wody zawierają opracowania R. Soji (2002) dotyczące zbiornika Dobczyce na Rapie, Ł. Wiejaczki (2011) na temat zbiornika Klimkówka na Ropie oraz Ł. Wiejaczki i K. Wesoly (2012), w którym porównano przebieg stanów wody w zbiorniku Besko na Wisłoku i zbiorniku Klimkówka. W opracowaniach tych uwagę poświęcono głównie czasowej dynamice stanów wody w zbiornikach zaporowych oraz czynnikom warunkującym zmiany poziomu piętrzenia wody w ciągu roku. Powyższe opracowania dotyczą pojedynczych obiektów hydrotechnicznych. Problemem, któremu poświęcono dotychczas niewiele uwagi jest dynamika wahań poziomu piętrzenia wody w zespołach zbiorników retencyjnych o różnych parametrach i zadaniach. Informacje o wpływie wahań poziomu wody w karpackich zbiornikach retencyjnych na wybrane elementy środowiska przyrodniczego zawierają opracowania M. Barana i R. Gwiazdy (2006) oraz M. Wojtuszewskiej (2007).

Celem artykułu jest synteza dynamiki piętrzenia wody w dwóch górskich zbiornikach zaporowych jednego zespołu hydrotechnicznego. W analizie zestawiono dynamikę stanów wody w dużym zbiorniku retencyjnym, którego głównymi zadaniami są: ochrona przeciwpowodziowa, produkcja energii elektrycznej oraz podniesienie przepływów minimalnych rzeki, z dynamiką stanów wody w małym zbiorniku o podstawowej funkcji wyrównawczej. Zwrócono uwagę na rolę przyrodniczych uwarunkowań zlewni zbiorników oraz gospodarki człowieka w kształtowaniu dynamiki poziomu piętrzenia w tych zbiornikach zaporowych.

## **Przedmiot i metody badań**

Do badań wytypowano zespół dwóch zbiorników Czorsztyn–Sromowce Wyżne funkcjonujących na granicy górnego i środkowego biegu Dunajca. Zbiornik Czorsztyn został uruchomiony w 1997 roku. Zapora o wysokości 56 m oraz długości 404 m została usytuowana 173,3 km od ujścia Dunajca do Wisły. Pojemność całkowita zbiornika Czorsztyn wynosi 231,9 mln m<sup>3</sup>, powierzchnia sięga 12 km<sup>2</sup>. Długość zbiornika wynosi 10 km, a szerokość 0,4-2,0 km. Głębokość przy zaporze osiąga 50 m, a średnia przy maksymalnym poziomie piętrzenia – 17,6 m. Główną funkcją zbiornika jest ochrona przeciwpowodziowa doliny

Dunajca oraz podwyższenie jego minimalnych przepływów. Powstałe spiętrzenie wody umożliwia produkcję energii elektrycznej – elektrownia o mocy 92 MW produkuje w ciągu roku około 79,5 GWh energii elektrycznej (Kloss, 2003).

Zbiornik Sromowce Wyżne rozpoczął funkcjonowanie w 1994 roku i pełni rolę zbiornika wyrównawczego dla czorsztyńskiego. Zapora o wysokości 13 m i długości 460 m jest zlokalizowana w 171,4 km biegu rzeki Dunajec. Długość zbiornika wynosi około 2 km, szerokość 0,75 km, głębokość maksymalna 10 m, a powierzchnia 0,88 km<sup>2</sup>. Pojemność całkowita to 7,42 mln m<sup>3</sup>. Przy zaporze funkcjonuje elektrownia przepływowa o łącznej mocy 2,08 MW, zdolna do rocznej produkcji prądu na poziomie 7,6 GWh. Zlewnia zespołu zbiorników Czorsztyn–Sromowce Wyżne ma powierzchnię 1265 km<sup>2</sup>. Odpływ gwarantowany z zespołu zbiorników wynosi 12 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> w okresie od 1 kwietnia do 31 października oraz 9 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> w okresie 1 listopada do 31 marca (Kloss, 2003).

W analizie wykorzystano dane dotyczące dobowych wysokości piętrzenia wody w omawianych zbiornikach retencyjnych oraz dane o dopływie i odpływie wody z całego zespołu (z godz. 6.00 UTC), udostępnione przez Zespół Elektrowni Wodnych Niedzica SA.

### **Dynamika piętrzenia wody w zbiornikach karpackich**

R. Soja (2002) przeprowadził analizę średnich, maksymalnych oraz minimalnych rocznych stanów wody w zbiorniku Dobczyce dla wielolecia 1988-1998. Zwrócił uwagę na związek pomiędzy wysokością piętrzenia wody w zbiorniku w poszczególnych latach wielolecia a wielkością jego zasilania. Przebieg średnich, minimalnych i maksymalnych rocznych stanów wody w zbiorniku Dobczyce w wieloleciu jest podobny. Tylko w latach z wysokimi wezbrzeniami można zauważyć wzrost stanów maksymalnych, natomiast w latach, w których wystąpiły głębokie niżówki na Rabie obserwuje się niższe stany minimalne. Różnice pomiędzy rocznym maksymalnym a minimalnym stanem wody w zbiorniku Dobczyce zamykały się w przedziale od 1,34 m do 15,52 m, a średnia wartość amplitudy dla całego wielolecia wyniosła 5,09 m. Istotną rolę w kształtowaniu poziomu piętrzenia wody w zbiorniku Dobczyce odgrywają wezbrania, w czasie których w ciągu 2-3 dni poziom wody może wzrosnąć nawet o 2,5 m. Maksymalny wzrost stanu wody w ciągu jednego dnia w omawianym wieloleciu wyniósł 1,5 m (8/9 lipca 1997).

Analiza rocznej dynamiki stanów wody w zbiorniku Klimkówka wykonana w opracowaniu Ł. Wiejaczki (2011), dotyczy wielolecia 1995-2006. Autor zauważa, że roczne amplitudy stanów wody w badanym zbiorniku są zdecydowanie większe od analogicznych obserwowanych w zbiorniku Dobczyce (o trzykrotnie większej pojemności niż Klimkówka), przedstawionych w opracowaniu Soji (2002). Roczne amplitudy stanów wody w zbiorniku Klimkówka mieściły się

w przedziale 5,54-17,14 m, a średnia roczna amplituda obliczona dla całego wie-  
lolecia wyniosła 10,36 m.

Z opracowania Ł. Wiejaczki i K. Wesoły (2012) wynika, że zbiorniki reten-  
cyjne Besko i Klimkówka, pomimo że funkcjonują w obrębie tej samej jednost-  
ki fizycznogeograficznej, odznaczają się różną dynamiką stanów wody w ciągu  
roku. Wynika to głównie z odmiennego reżimu hydrologicznego rzek w ich bie-  
gach powyżej zapór wodnych. Przebieg stanów wody w ciągu roku w zbiornikach  
retencyjnych jest warunkowany gospodarką wodną, ale przede wszystkim wiel-  
kością zasilania. Zbiornik Besko wykazuje zdecydowanie mniejszą dynamikę  
stanów dobowych niż Klimkówka. W tym ostatnim okresy o wysokich dobowych  
stanach wody w ciągu roku są znacznie dłuższe w porównaniu do Besko, gdzie  
dobowe stany wody wykazują większą stabilizację. Roczna dynamika (wzrost  
i obniżenie) stanów wody w zbiorniku Besko jest dosyć jednostajna, na skutek  
równomiernego rozłożenia w czasie zasilania zbiornika w wodę. Zmienność  
stanów wody w zbiorniku Klimkówka w cyklu rocznym jest stabilna w okresie  
zwiększonego zasilania oraz bardzo gwałtowna na przełomie zimy i wiosny, kie-  
dy po okresie słabego zasilania zbiornika w wodę następuje szybki wzrost wielko-  
ści dopływu spowodowany roztopami i zasilaniem podziemnym.

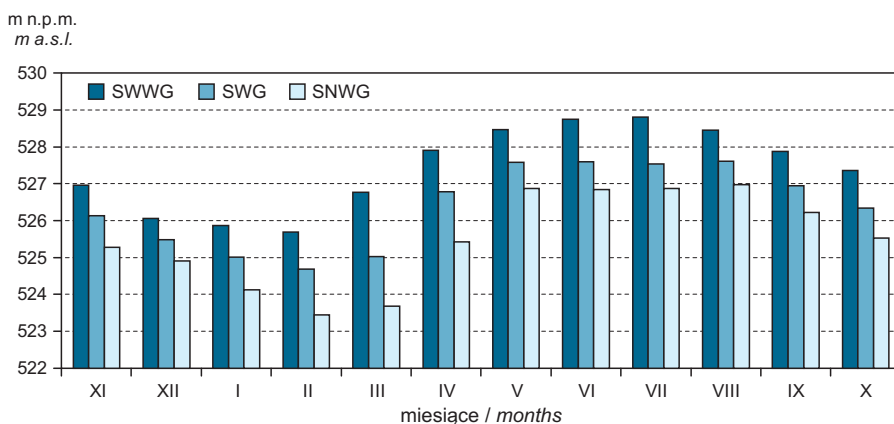
Problem zmian piętrzenia wody w karpackich zbiornikach zaporowych został  
także podjęty przez A. Łajczaka (1995). Autor zauważa, że wahania stanów wody  
w płytkich zbiornikach na rzekach karpackich (funkcjonujących jako wyrów-  
nawcze), podlegają zniekształceniom w wyniku oddziaływania górnego zbiorn-  
nika kaskady, a także na skutek wewnętrznej gospodarki wodnej prowadzonej  
w układzie dwóch zbiorników. Zbiorniki te cechują się szybkimi zmianami  
napełnienia, a sezonowe wahania poziomu wody nie przekraczają na ogół 2 m.

### **Synteza dynamiki piętrzenia wody w zbiornikach Czorsztyn oraz Sromowce Wyżne**

Zgodnie z instrukcją gospodarowania wodą na zbiorniku Czorsztyn w warun-  
kach normalnej eksploatacji stan wody w zbiorniku utrzymywany jest między  
minimalnym (510,00 m n.p.m.) a normalnym (529,00 m n.p.m.) poziomem pię-  
trzenia, w obrębie tak zwanej pojemności użytkowej, wykorzystywanej do wyrów-  
nywania przepływów Dunajca (podniesienie przepływów minimalnych) oraz  
celów energetycznych. Pomiędzy normalnym a maksymalnym (534,50 m n.p.m.)  
poziomem piętrzenia stan wody w zbiorniku zawiera się w zakresie pojemności  
powodziowej, która stanowi formę rezerwy napełnianej w krótkich okresach  
redukcji fal wezbraniowych. Poniżej minimalnego poziomu piętrzenia położona  
jest pojemność martwa, przy której zbiornik przestaje spełniać swoje podstawo-  
we funkcje (Kloss i Fiedler-Krukowicz, 2003).

W przebiegu średnich (SWG – średni stan wody górnej), średnich maksy-  
malnych (SWWG) oraz średnich minimalnych (SNWG) miesięcznych stanów

wody w zbiorniku Czorsztyn wyznaczonych dla wielolecia 1998-2012 zaznacza się w ciągu roku wyraźny podział na okres wysokich stanów letnich oraz niskich zimowych (ryc. 1). Jesień i wiosna są okresami przejściowymi. Najwyższe stany wody w zbiorniku Czorsztyn w cyklu rocznym notowane były pomiędzy majem a sierpniem. Poziom wody w tym okresie wahał się między 528,80 a 528,45 m n.p.m. w przypadku średnich maksymalnych, 527,61 a 527,53 m n.p.m. – średnich oraz 526,84 a 526,98 m n.p.m. – średnich minimalnych miesięcznych stanów wody. Od września rozpoczynał się wyraźny spadek wysokości piętrzenia wody w zbiorniku trwający aż do lutego, kiedy to obserwowano najniższe stany wody: SWWG – 525,70 m n.p.m., SWG – 524,68 m n.p.m. oraz SNWG 523,44 m n.p.m. W marcu rozpoczynał się wzrost wysokości stanów wody w zbiorniku Czorsztyn, trwający aż do letniego maksimum.



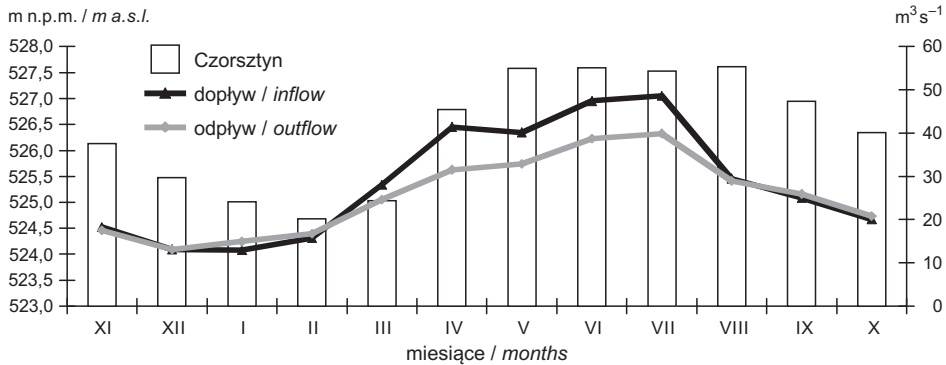
Ryc. 1. Średnie maksymalne (SWWG), średnie (SWG) oraz średnie minimalne (SNWG) miesięczne stany wody w zbiorniku Czorsztyn w latach 1998-2012

Opracowanie własne, podobnie jak pozostałe ryciny oraz tabele.

Average maximum (SWWG), average (SWG) and average minimum (SNWG) monthly water levels in the Czorsztyn Reservoir, 1998-2012

Author's own elaboration, as well as the other figures.

Roczna dynamika stanów wody w zbiorniku Czorsztyn, podobnie jak w przypadku innych zbiorników retencyjnych, jest ściśle uzależniona od wielkości dopływu wody do zbiornika w ciągu roku, warunkowanej czynnikami naturalnymi oraz od wielkości odpływu, o której decyduje gospodarka wodna prowadzona na zespole zbiorników Czorsztyn–Sromowce Wyżne. Zależności te są widoczne przy zestawieniu średnich miesięcznych wysokości piętrzenia wody w zbiorniku Czorsztyn ze średnimi wielkościami dopływu i odpływu wody z zespołu zbiorników w latach 1998-2012 (ryc. 2). Na początku okresu zwiększonego dopływu

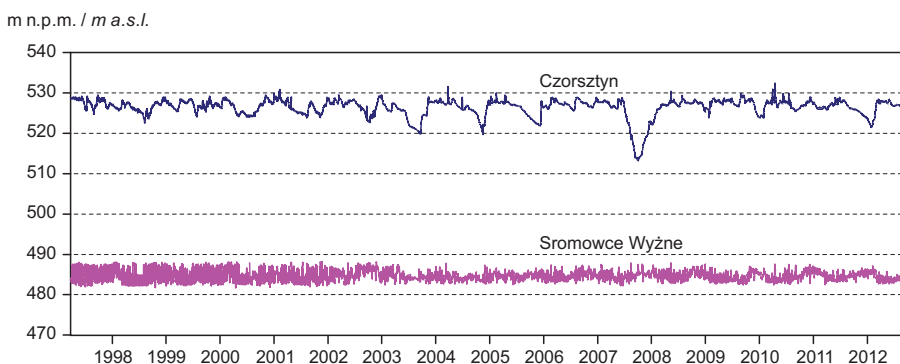


Ryc. 2. Średnie miesięczne stany wody w zbiorniku Czorsztyn na tle średnich miesięcznych wielkości dopływu i odpływu wody z zespołu zbiorników Czorsztyn–Sromowce Wyżne w latach 1998-2012

Average monthly water levels in the Czorsztyn Reservoir on the background of average monthly values for inflow and outflow at the Czorsztyn–Sromowce Wyżne reservoir complex in the years 1998-2012

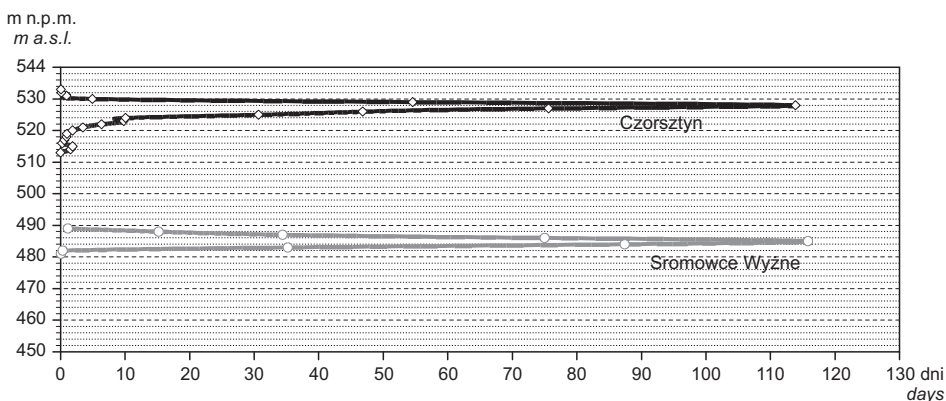
wody do zespołu zbiorników, rozpoczynającego się na przełomie marca i kwietnia, stan wody w zbiorniku Czorsztyn gwałtownie wzrastał. Utrzymywanie podwyższonego piętrzenia wody w zbiorniku na zbliżonym poziomie aż do lipca (magazynowanie wody) jest możliwe dzięki utrzymywaniu odpływu na znacznie niższym poziomie w porównaniu z wielkością dopływu. Od sierpnia, kiedy wielkości dopływu wody do zespołu zbiorników wyraźnie się zmniejszają, następuje powolne obniżanie stanu wody w zbiorniku powodowane z jednej strony słabnącym zasilaniem, a z drugiej utrzymywaniem odpływu na poziomie zbliżonym lub wyższym w stosunku do wielkości dopływu w celu niwelowania przepływów niskich na Dunajcu. Powtarzalność rocznego cyklu stanów wody w zbiorniku Czorsztyn jest zauważalna w wieloletnim rozkładzie dobowych wysokości piętrzenia (ryc. 3). Z analizy częstości stanów wody w zbiorniku Czorsztyn wynika, że w ciągu roku piętrzenie wody w zbiorniku najczęściej występuje pomiędzy 525 a 529 m n.p.m (ryc. 4). Przez 114 dni w roku woda w zbiorniku stagnuje na wysokości 528 m n.p.m.

Rozkład charakterystycznych stanów wody w zbiorniku Czorsztyn obliczonych dla poszczególnych lat wielolecia 1998-2012 jest wyrównany (ryc. 5). Pomędzy poszczególnymi latami różnice wartości stanów średnich maksymalnych, średnich oraz średnich minimalnych sięgają ok. 2 m i zamykały się w przedziałach - odpowiednio 526,55-528,75 m n.p.m., 525,57-527,50 m n.p.m. oraz 524,63-526,57 m n.p.m. Wyjątkiem jest rok 2008, w którym stan wody w zbiorniku Czorsztyn stagnował przez pierwszą część roku hydrologicznego na bardzo niskim poziomie. Wynikało to bezpośrednio z przewidzianego raz na 10 lat obniżenia stanu wody w zbiorniku do poziomu umożliwiającego sprawdzenie stanu



Ryc. 3. Dobowe wysokości piętrzenia wody w zespole zbiorników Czorsztyn–Sromowce Wyżne w latach 1998-2012

Daily impoundment heights for the Czorsztyn–Sromowce Wyżne reservoir complex in the years 1998-2012



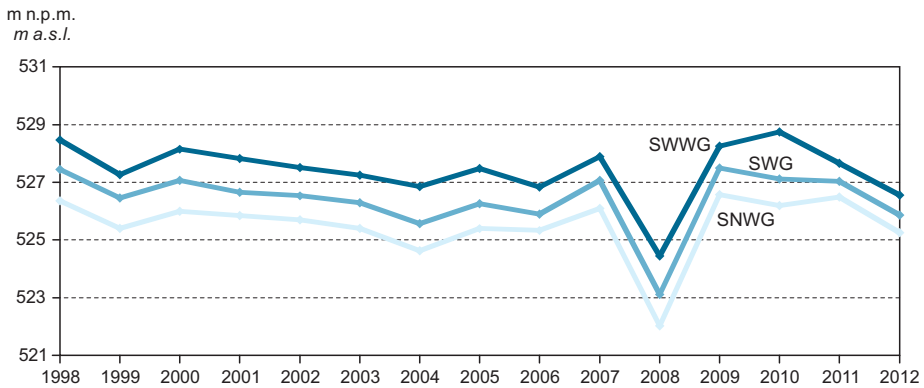
Ryc. 4. Krzywa częstości stanów wody w ciągu roku w zbiornikach Czorsztyn i Sromowce Wyżne w latach 1998-2012

Curves for water-level frequencies during the year in the Czorsztyn and Sromowce Wyżne Reservoirs in the years 1998-2012

technicznego zapory oraz przeprowadzenie prac konserwatorskich. W efekcie średnie, średnie maksymalne oraz średnie minimalne wysokości piętrzenia wody w zbiorniku w tym roku były o około 2 m niższe w porównaniu do najniższych wartości charakterystycznych stanów wody wyznaczonych dla pozostałych lat omawianego wielolecia.

Średnie miesięczne amplitudy stanu wody w zbiorniku Czorsztyn w latach 1998-2012 wykazywały duże zróżnicowanie w cyklu rocznym nawiązujące do przebiegu zasilania i odpływu wody ze zbiornika (ryc. 6). Największe wahania

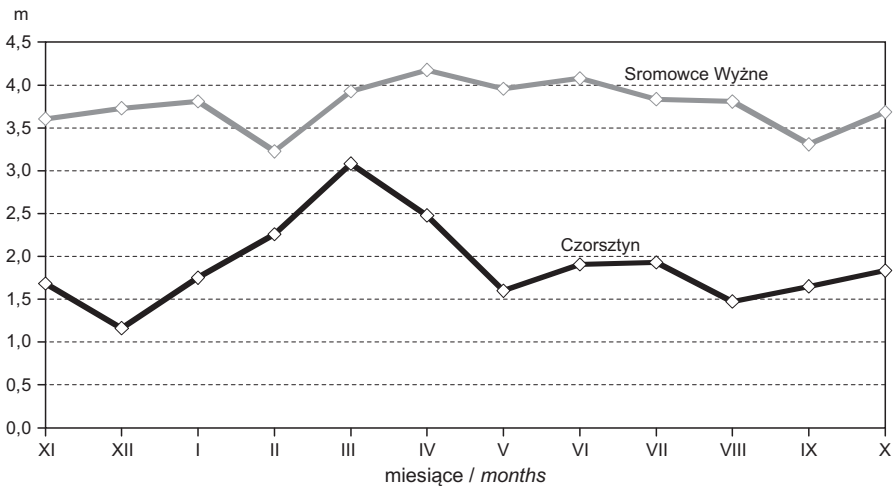




Ryc. 5. Średnie maksymalne (SWWG), średnie (SWG) oraz średnie minimalne (SNWG) roczne stany wody w zbiorniku Czorsztyn w latach 1998-2012

Average maximum (SWWG), average (SWG) and average minimum (SNWG) annual water levels in the Czorsztyn Reservoir in the years 1998-2012

poziomu wody w zbiorniku występowały w okresie zimowo-wiosennym przy zwiększonym w czasie roztopów dopływie wody do zbiornika. W marcu średnia amplituda stanu wody była najwyższa i wyniosła 3,08 m. Najniższe wahania poziomu wody obserwowano zwykle między latem a zimą, w czasie powolnego obniżania poziomu wody w zbiorniku. W grudniu amplituda stanu wody była



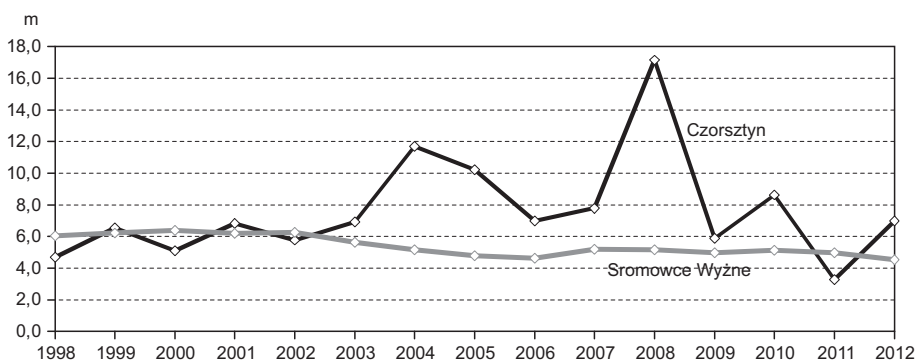
Ryc. 6. Średnie miesięczne amplitudy stany wody w zbiorniku Czorsztyn i Sromowce Wyżne w latach 1998-2012

Average monthly water-level amplitudes in the Czorsztyn and Sromowce Wyżne Reservoirs in the years 1998-2012



blisko 3-krotnie mniejsza w porównaniu do marca i wynosiła 1,16 m. Względna stabilizacja wahań poziomu wody w zbiorniku Czorsztyn następowała w czerwcu i lipcu, kiedy wahania poziomu piętrzenia wody kształtowały się na poziomie około 1,90 m. Na okres jesienny (sierpień-listopad) przypadał powolny wzrost amplitud stanu wody w zbiorniku, spowodowany jego stopniowym obniżaniem.

Roczne amplitudy piętrzenia wody w zbiorniku Czorsztyn wykazują duży zakres wahań od 3,28 m do 17,4 m (ryc. 7), co dobrze odzwierciedla dużą dynamikę stanu wody. Maksymalna amplituda wahań stanów wody w zbiorniku notowana w 2008 roku wynikała ze wspomnianego wyżej celowego obniżenia poziomu wody (prace konserwacyjne przy zaporze) do najniższego w rozpatrywanym wieloleciu poziomu (ryc. 5, 7).



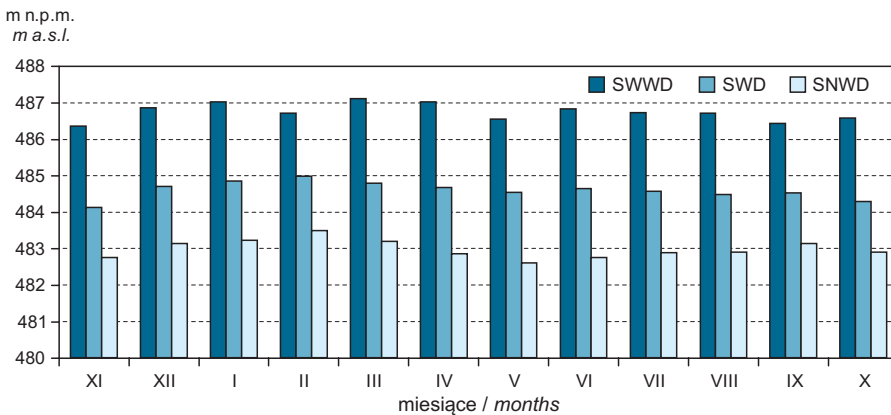
Ryc. 7. Roczne amplitudy stanu wody w zbiornikach Czorsztyn oraz Sromowce Wyżne w latach 1998-2012

Annual water-level amplitudes in the Czorsztyn and Sromowce Wyżne Reservoirs in the years 1998-2012

Dobowe amplitudy piętrzenia wody w zbiorniku Czorsztyn w analizowanym wieloleciu w czasie podwyższania stanu wody w zbiorniku wahały się między 1 cm a 301 cm (średnio 16 cm). Podczas obniżania stanu wody w zbiorniku dobowe amplitudy zawierały się w przedziale 1-316 cm (średnio 12 cm). Należy zaznaczyć, że największe dobowe wahania stanu wody w zbiorniku Czorsztyn miały miejsce w okresach wezbraniowych, kiedy następował szybki wzrost piętrzenia spowodowany przejściem fali wezbraniowej, a potem obniżenie związane z powiększaniem rezerwy powodziowej.

Według założeń gospodarki wodnej prowadzonej na zbiorniku Sromowce Wyżne, w normalnych warunkach eksploatacji zbiornika poziom piętrzenia wody utrzymywany jest w obrębie pojemności użytkowej pomiędzy 482,00 a 488,50 m n.p.m. (Kloss i Fiedler-Krukowicz, 2003).

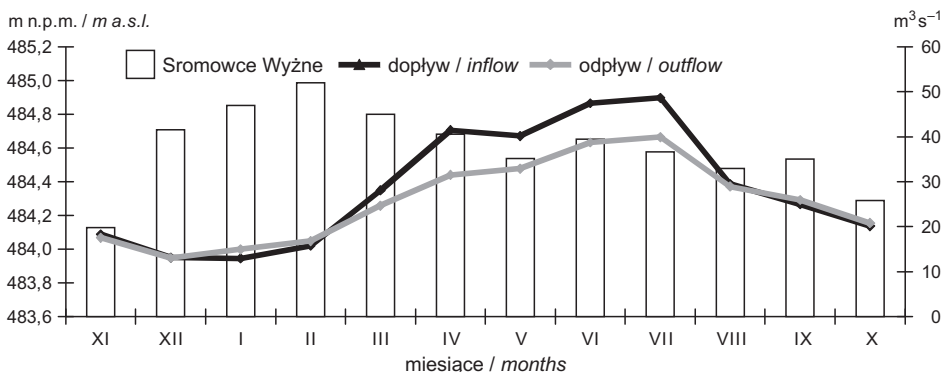
Przebieg średnich (SWD – średni stan wody dolnej), średnich maksymalnych (SWWD) oraz średnich minimalnych (SNWD) miesięcznych stanów wody w zbiorniku Sromowce Wyżne jest zdecydowanie bardziej wyrównany w ciągu roku w porównaniu do zbiornika Czorsztyn. Średnie maksymalne miesięczne stany wody w zbiorniku Sromowce Wyżne wyznaczone dla wielolecia 1998-2012 zawierają się w wąskim przedziale od 486,36 m n.p.m. (listopad) do 487,12 m n.p.m. (marzec). W ich rocznym cyklu zauważyć można 2-3-miesięczne okresy o wyższych stanach wody rozdzielone pojedynczymi miesiącami o nieco niższych wysokościach piętrzenia wody w zbiorniku (ryc. 8). Wahania średnich miesięcznych stanów wody w zbiorniku również nie przekraczają jednego metra i wynoszą od 484,13 m n.p.m. (listopad) do 484,99 m n.p.m. (luty), ale w ich cyklu rocznym można wyznaczyć okres wysokich wartości (zimowo-wiosenny) oraz niskich (letnio-jesienny). Podobną roczną dynamikę wykazują średnie minimalne miesięczne stany wody w zbiorniku Sromowce Wyżne wahające się między 482,60 m n.p.m. (maj) a 483,49 m n.p.m. (luty).



Ryc. 8. Średnie maksymalne (SWWD), średnie (SWD) oraz średnie minimalne (SNWD) miesięczne stany wody w zbiorniku Sromowce Wyżne w latach 1998-2012

Average maximum (SWWD), average (SWD) and average minimum (SNWD) monthly water levels in the Sromowce Wyżne Reservoir in the years 1998-2012

Porównanie dynamiki średnich miesięcznych stanów wody w zbiorniku Sromowce Wyżne ze średnimi miesięcznymi wielkościami dopływu i odpływu z badanego zespołu zbiorników dowodzi, że roczny cykl stanów wody w zbiorniku nie jest zgodny z rocznym przebiegiem dopływu i odpływu wody (ryc. 9). Podczas gdy najwyższe wartości średnich miesięcznych wartości dopływu i odpływu wody z zespołu zbiorników przypadają na okres wiosenno-letni (kwiecień-lipiec), najwyższe średnie miesięczne wysokości piętrzenia wody w zbiorniku Sromowce Wyżne występują w okresie zimowo-wiosennym (grudzień-kwiecień). Nie-

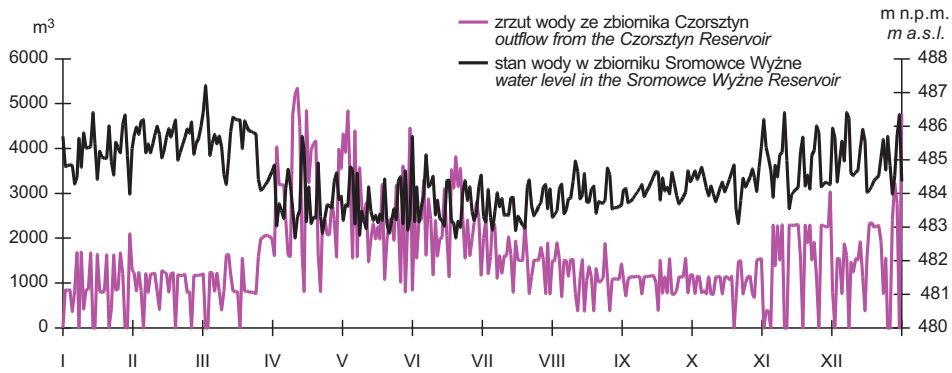


Ryc. 9. Średnie miesięczne stany wody w zbiorniku Sromowce Wyżne na tle średnich miesięcznych wielkości dopływu i odpływu wody z zespołu zbiorników Czorsztyn-Sromowce Wyżne w latach 1998-2012

Average monthly water levels in the Sromowce Wyżne Reservoir on the background of average monthly values for inflow and outflow at the Czorsztyn-Sromowce Wyżne reservoir complex in the years 1998-2012

zgodność w rocznej dynamice rozpatrywanych zmiennych wskazuje na fakt, że wahania poziomu wody w zbiorniku Sromowce Wyżne są w głównej mierze uzależnione od sposobu gospodarowania wodą, a w mniejszym stopniu od sytuacji hydrologicznej panującej w zlewni zespołu zbiorników. Jest to odwrotna sytuacja niż w zbiorniku Czorsztyn, w którym roczny przebieg stanów wody nawiązywał ściśle do wielkości zasilania oraz odpływu wody ze zbiorników. W wieloletnim rozkładzie dobowych stanów wody w zbiorniku Sromowce Wyżne w całym wieloleciu 1998-2012 (ryc. 2), można zauważyć dużą dynamikę wahań poziomu wody między 1998 a 2003 rokiem (praca elektrowni szczytowo-pompowej przy zaprzeze zbiornika Czorsztyn) oraz nieco słabszą w latach kolejnych (wyłącznie zrzuty wody ze zbiornika Czorsztyn, bez ponownego pompowania). W zbiorniku Czorsztyn można wyodrębnić naprzemienne, dłuższe okresy wysokich i niskich stanów wody, układających się w dość regularny cykl roczny, natomiast w zbiorniku Sromowce Wyżne czas trwania wysokich i niskich stanów wody jest bardzo krótki i wynosi kilka dni. Dynamika dobowych stanów wody w zbiorniku Sromowce Wyżne jest ściśle uzależniona od wielkości zrzutów wody ze zbiornika Czorsztyn potrzebnych do produkcji energii elektrycznej. Rozkład zrzutów wody, a tym samym (ryc. 10) dynamika dobowych stanów wody w zbiorniku wyrównawczym, wykazuje cykl tygodniowy. W ciągu roku poziom wody w zbiorniku wyrównawczym stagnował najczęściej (przez 116 dni) na wysokości 485 m n.p.m. (ryc. 4).

Analizując rozkład charakterystycznych, rocznych stanów wody w zbiorniku Sromowce Wyżne w rozpatrywanym wieloleciu, zauważyć można wzrostową tendencję średnich minimalnych wartości rocznych (ryc. 11) – w 2012 r. wysokość średniego minimalnego piętrzenia wody była o 0,49 m wyższa w porówna-

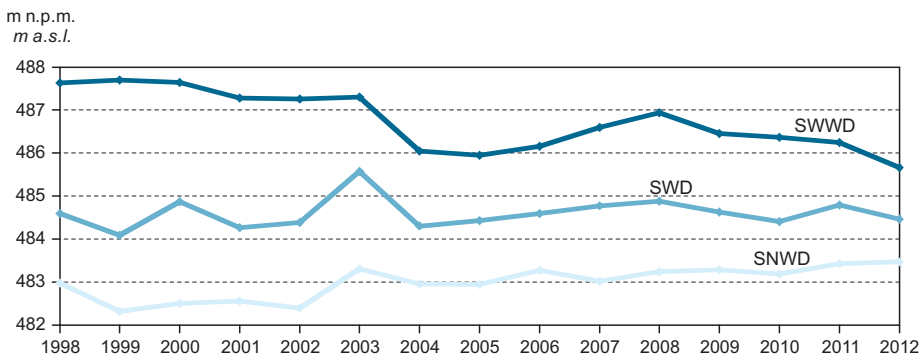


Ryc. 10. Dobowe wielkości zrzutów wody ze zbiornika Czorsztyn oraz wysokości piętrzenia wody w zbiorniku Sromowce Wyżne w 2012 roku

Daily discharge values from the Czorsztyn Reservoir and water impoundment heights in the Sromowce Wyżne Reservoir in 2012

niu do 1998 r. Z kolei średnie maksymalne roczne poziomy piętrzenia wykazują w tym czasie wyraźny spadkowy trend: z 487,63 do 485,66 m n.p.m.

Średnie miesięczne amplitudy stanu wody w zbiorniku Sromowce Wyżne są wyższe w porównaniu do amplitud poziomu piętrzenia wody w zbiorniku Czorsztyn ale ich roczny przebieg jest bardziej ustabilizowany (ryc. 6). Najniższa średnia miesięczna amplituda wynosi 3,23 m i przypada na luty, natomiast najwyższa – 4,17 m – występowała w rozpatrywanym wieloleciu średnio w kwietniu. W rocznej dynamice średnich miesięcznych amplitud zaznacza się wolny trend



Ryc. 11. Średnie maksymalne (SWWD), średnie (SWD) oraz średnie minimalne (SNWD) roczne stany wody w zbiorniku Sromowce Wyżne w latach 1998-2012

Average maximum (SWWD), average (SWD) and average minimum (SNWD) annual water levels in the Sromowce Wyżne Reservoir in the years 1998-2012

wzrostowy od grudnia do kwietnia, a następnie spadkowy trwający do listopada. W rozkładzie rocznych amplitud wody w zbiorniku Sromowce Wyżne zauważa się, w przeciwieństwie do zbiornika Czorsztyn, dużą stabilizację ich wartości zamykających się w przedziale 4,63-6,26 m (ryc. 7).

Dobowe wahania stanów wody na zbiorniku Sromowce Wyżne, zgodnie z założeniami wynikającymi z gospodarowania wodą na obiekcie mogą dochodzić do 6,5 m (Kloss i Fiedler-Krukowicz, 2003). Analizując dobowe wahania poziomu piętrzenia wody na tym zbiorniku w latach 1998-2012 można stwierdzić, że dobowe amplitudy piętrzenia wody w zbiorniku w czasie podwyższania stanu wody w zbiorniku wahały się między 1 cm a 564 cm (średnio 0,75 cm), podczas obniżania stanu wody zaś w przedziale 1-533 cm (średnio 0,81 cm). Dobowe wahania poziomu wody w zbiorniku Sromowce Wyżne w rozpatrywanym wieloleciu były większe niż w zbiorniku Czorsztyn.

Dobowa, roczna oraz wieloletnia dynamika piętrzenia wody w zbiorniku Czorsztyn jest zbliżona do przebiegu stanów wody w innych, dużych zbiornikach karpaccich, w których głównym czynnikiem warunkującym przebieg poziomu piętrzenia jest reżim hydrologiczny rzeki, natomiast rola człowieka jest drugorzędna. Okresy zwiększonego zasilania zbiegają się z występowaniem wysokich stanów wody w zbiornikach, a utrzymujące się zmniejszone zasilanie powoduje obniżenie poziomu piętrzenia wody. Różnice dynamiki piętrzenia wody w poszczególnych zbiornikach karpaccich przejawiają się w zakresie rocznych i miesięcznych wahań oraz występowaniu ekstermów w cyklu rocznym, uzależnionym od przebiegu zasilania typowego dla reżimu hydrologicznego danej rzeki. Zbiornik Czorsztyn ma zauważalnie wyższą amplitudę wahań stanów wody w odniesieniu do zbiornika Dobczyce oraz niższą w stosunku do znacznie mniejszego zbiornika Klimkówka. Mały zbiornik Sromowce Wyżne, którego głównym zadaniem jest wyrównywanie zrzutów wody ze zbiornika Czorsztyn, odznacza się większym zakresem wahań dobowych, miesięcznych oraz rocznych stanów wody. Podobna dynamika może dotyczyć innych zbiorników wyrównawczych, takich jak Czchów czy Myczkowce. Szczegółowe rozpoznanie podobieństw i różnic dynamiki piętrzenia wody w karpaccich zbiornikach retencyjnych wymaga dalszych studiów porównawczych.

Sygnalizowana we wprowadzeniu rola dynamiki poziomu wody w zbiornikach zaporowych w kształtowaniu zjawisk i procesów przyrodniczych może być duża, zwłaszcza w przypadku zbiornika Czorsztyn. Wyniki dotychczasowych badań na tym obiekcie dowodzą, że wahania piętrzenia wody w zbiorniku mają wpływ m.in. na rozwój strefy brzegowej oraz przekształcanie morfologii zboczy doliny Dunajca (Kozielska-Sroka i inni, 2010), przemiany fauny w rejonie zbiornika (Knutelski, 2010), czy zmiany morfometrii koryta Dunajca powyżej cofki zbiornika (Liro, 2014). Wpływ wahań poziomu wody w zbiorniku Sromowce Wyżne na środowisko przyrodnicze powinien być słabszy, ze względu na mniejsze rozmiary oraz sztuczne umocnienie brzegów płytami betonowymi i narzutem kamiennym.

## Wnioski

W opracowaniu podjęto tematykę dynamiki piętrzenia wody dwóch współpracujących ze sobą zbiorników zaporowych. Analizę oparto na 15-letniej serii obserwacyjnej codziennych stanów wody w zespole zbiorników Czorsztyn–Sromowce Wyżne. Przeprowadzona analiza wskazuje na zróżnicowaną dynamikę poziomu piętrzenia wody w dwóch rozpatrywanych zbiornikach, wchodzących w skład zespołu hydrotechnicznego. Zbiornik Czorsztyn odznacza się dużą dynamiką wahań poziomu wody w cyklu rocznym oraz wieloleciu. Wysokość piętrzenia jest zależna głównie od sytuacji hydrologicznej w zlewni zbiornika. W rocznym rozkładzie stanów wody w zbiorniku zaznacza się wyraźny podział na okres wysokich stanów letnich oraz niskich zimowych. Jesień i wiosna są okresami przejściowymi. Przebieg wahań stanu wody w zbiorniku Sromowce Wyżne w cyklu rocznym oraz wieloleciu jest wyrównany, ale ich zakres jest większy niż w zbiorniku Czorsztyn. Wynika to z istotnej roli człowieka w sterowaniu poziomem piętrzenia wody w tym zbiorniku. Miesięczne amplitudy stanu wody w zbiorniku Czorsztyn wykazują duże zróżnicowanie w cyklu rocznym nawiązujące do przebiegu zasilania i odpływu wody ze zbiornika. Największe wahania poziomu wody w zbiorniku Czorsztyn występują w miesiącach zimowo-wiosennych (średnio 3,08 m), a najmniejsze między latem a zimą (1,16 m). Miesięczne amplitudy stanu wody w zbiorniku Sromowce Wyżne (średnio 3,20-4,23 m) są wyższe w porównaniu do notowanych w zbiorniku Czorsztyn, ale ich roczny przebieg jest bardziej ustabilizowany. Dobowe amplitudy piętrzenia wody w zbiorniku Czorsztyn są najwyższe w okresach wezbraniowych i sięgają około 3 m. Dobowe wahania poziomu wody w zbiorniku Sromowce Wyżne wykazują zdecydowanie większy zakres – do około 5,5 m.

## Piśmiennictwo / References

- Baran M., Gwiazda R., 2006, *Siewkowiec Charadrii Zbiornika Dobczyckiego – dynamika przelotu, struktura gatunkowa i liczebność w zależności od poziomu wody*, *Chrońmy Przyrodę Ojczystą*, 62, 4, s. 11-25.
- Coops H., Beklioglu M., Crisman T.L., 2003, *The role of water-level fluctuations in shallow lake ecosystems – workshop conclusions*, *Hydrobiologia*, 506, 1-3, s. 23-27.
- Gasith A., Gafny S., 1990, *Effects of water level fluctuation on the structure and function of the littoral zone*, [w:] M.M. Tilzer, C. Serruya (red.), *Large Lakes – Ecological Structure and Function*, Springer, Berlin-Heidelberg, s. 156-171.
- Goldsby T.L., Bates A.L., Stanley R.A., 1978, *Effect of water level fluctuation and herbicide on Eurasian Watermilfoil in Melton Hill Reservoir*, *Journal of Aquatic Plant Management*, 16, s. 34-38.

- Hill N.M., Keddy P.A., Wisheu I.C., 1998, *A hydrological model for predicting the effects of dams on the shoreline vegetation of lakes and reservoirs*, Environmental Management, 22, 5, s. 723-736.
- Kloss A. (red.), 2003, *Zespół zbiorników wodnych Czorsztyn–Niedzica i Sromowce Wyżne im. Gabriela Narutowicza. Monografia*, RZGW w Krakowie, Hydroprojekt Warszawa, IMGW, Warszawa.
- Kloss A., Fiedler-Krukowicz H., 2003, *Gospodarka wodna w normalnych warunkach eksploatacji i obliczenia hydroenergetyczne*, [w:] A. Kloss (red.), *Zespół zbiorników wodnych Czorsztyn–Niedzica i Sromowce Wyżne im. Gabriela Narutowicza. Monografia*, RZGW w Krakowie, Hydroprojekt Warszawa, IMGW, Warszawa, s. 63-69.
- Knutelski S., 2010, *Przemiany fauny rejonu Zespołu Zbiorników Wodnych Czorsztyn-Niedzica i Sromowce Wyżne od stanu przed ich powstaniem do czasu napętnienia wodą oraz ocena przyczyn tego zjawiska*, Pieniny-Zapora-Zmiany. Monografie Pienińskie, 2, s. 173-184.
- Kozielska-Sroka E., Michalski P., Zydróż T., 2010, *Uwarunkowania geotechniczne i hydrodynamiczne transformacji północnej strefy brzegowej zbiornika Czorsztyn-Niedzica w trakcie jego eksploatacji*, Pieniny-Zapora-Zmiany. Monografie Pienińskie, 2, s. 63-82.
- Leira M., Cantonati M., 2008, *Effects of water-level fluctuations on lakes: an annotated bibliography*, [w:] *Ecological Effects of Water-Level Fluctuations in Lakes*, Springer, Netherlands, s. 171-184.
- Liro M., 2014, *The experimental use of a statistical algorithm and GIS for detecting the spatial reach of the impact of a dam reservoir on the development of a river channel. The case of the Dunajec and the Bialka rivers, the Polish Carpathians*, EGU General Assembly Conference Abstracts, 16, s. 7993.
- Łajczak A., 1995, *Studium nad zamulaniem wybranych zbiorników zaporowych w dorzeczu Wisty*, Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej PAN, 8.
- Nowlin W.H., Davies J.M., Nordin R.N., Mazumder A., 2004, *Effects of water level fluctuation and short-term climate variation on thermal and stratification regimes of a British Columbia reservoir and lake*, Lake and Reservoir Management, 20, 2, s. 91-109.
- Soja R., 2002, *Regime of the water level oscillations of the Dobczyce Reservoir*, Prace Geograficzne IGiP UJ, 109, s. 11-20.
- Wang Y., Wu J.Q., Huang H.W., Liu S.B., 2004, *Quantitative analysis of plant communities in water-level-fluctuation zone within Three Gorges reservoir area of Changjiang River*, Journal of Wuhan Botanical Research, 22, 4, s. 307-314.
- Wiejaczka Ł., 2011, *Wpływ zbiornika wodnego „Klimkówka” na abiotyczne elementy środowiska przyrodniczego w dolinie rzeki Ropy*, Prace Geograficzne, IGiPZ PAN, 229.
- Wiejaczka Ł., Wesoly K., 2012, *Differentiation of temporal water level dynamics in the Besko and Klimkówka reservoirs (the Low Beskids, Poland)*, Geographia Polonica, 85, 4, s. 35-46.
- Wojtuszczyńska K., 2007, *Dynamika zmian stanu wód powierzchniowych i podziemnych w rejonie zbiorników wodnych Solina-Myczkowce*, Gospodarka Surowcami Mineralnymi, 23, 3, s. 119-134.

[Wpłynęło: czerwiec; poprawiono: listopad 2014 r.]



LUKASZ WIEJACZKA

## THE DYNAMICS OF WATER LEVEL IN THE CZORSZTYN-SROMOWCE WYŻNE RESERVOIR COMPLEX

The current paper discusses the water impoundment dynamics of two co-existing reservoirs in Poland. The Czorsztyn-Sromowce Wyżne complex of two reservoirs, which operates on the boundary of the upper and middle courses of the River Dunajec, was chosen for analysis based around daily observations of water levels through a period of 15 years. The archival data in question are from the years 1998-2012, and have been made available by the Niedzica SA Hydroelectric Power Plant Complex.

The work had as its objective the characterisation of impoundment dynamics in the two mountain reservoirs forming a single hydrotechnical complex. Information was collated on the dynamics characterising water levels in a large storage reservoir whose main functions are flood control, electricity generation and increasing the minimal flow values of its river, along with a small reservoir whose main function is to balance the outflow from the main Czorsztyn Reservoir. The role of the natural conditions of the reservoir's catchment area and human activities in shaping the impoundment dynamics in these reservoirs is highlighted, with the analysis pointing to highly diversified dynamics where of water impoundment levels in the Czorsztyn and Sromowce Wyżne Reservoirs are concerned. Czorsztyn Reservoir is characterised by marked fluctuations in water levels through the annual cycle, as well as over multi-annual periods. The level of impoundment mainly depends on the hydrological situation in the reservoir's catchment area. There is a clear division in annual water-level changes into high water levels in summer and low levels in the winter months. Autumn and spring are transitional periods. On the other hand, changes in water levels in the Sromowce Wyżne Reservoir are very limited, both through the annual cycle and over multi-annual periods, with limited dynamics displayed as compared with Czorsztyn. These differences reflect human activity controlling the impoundment level in the reservoir. Monthly amplitudes in water levels in the Czorsztyn Reservoir vary greatly in relation to changes in water supply and outflow. The most major fluctuations of water levels in the Czorsztyn Reservoir occur in the winter and spring months (up to 3.08 meters on average), while change is most limited in the winter months (1.16 metres). In contrast, monthly amplitudes in water levels at Sromowce Wyżne (3.20-4.23 metres on average) are larger than those characterising water impoundment at Czorsztyn, albeit with a more balanced annual change pattern. When it comes to daily water impoundment levels, these are highest at Czorsztyn during times of high water swell and may reach 3 metres. Daily water levels in the Sromowce Wyżne Reservoir vary still more, (across a range of up to some 5.5 m).

A more detailed determination of the differences and similarities in water levels characterising all the Carpathian reservoirs will require further comparative studies.

