

PRACE ORYGINALNE ORIGINAL PAPERS

Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska nr 62, 2013: 363–373
(Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. 62, 2013)

Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences No 62, 2013: 363–373
(Sci. Rev. Eng. Env. Sci. 62, 2013)

Anna JAROSIEWICZ, Krystian OBOLEWSKI

Zakład Ekologii, Akademia Pomorska w Słupsku
Department of Ecology, Pomeranian University in Słupsk

Wpływ małych elektrowni wodnych na dynamikę zmian stanu, przepływu i temperatury wód powierzchniowych i gruntowych – studium przypadku w dolinie rzeki Słupi **Influence of small hydropower plants on the fluctuation of surface and ground water level, discharge and temperature – a case study of the Słupia River**

Słowa kluczowe: ekosystem rzeczny, elektro-
wnie wodne, antropopresja, poziom wód

Key words: river ecosystem, hydropower
plants, human impact, water level

Wprowadzenie

Od wielu już lat toczy się dyskusja na temat intensywności i rodzaju wpływu rzecznych elektrowni wodnych na środowisko. Zarówno zwolennicy pozyskiwania energii wodnej, jak i przeciwnicy budowy i eksploatacji urządzeń hydrotechnicznych służących celom energetycznym przytaczają wiele argumentów za i przeciw (Jarosiewicz 2006, Żelaziński i Wawręty 2007). Zdaniem zwolenników, rozwój hydroenergetyki pozwala na dostarczenie ekologicznie czystej energii, gwarantuje zmniejszenie

zużycia paliw kopalnych i pozwala uniknąć emisji zanieczyszczeń gazowych i pyłowych (Brown i Ulgiati 2001, Kalda i Kliś 2012), pozytywnie wpływa na stosunki wodne, zwiększa retencję wód powierzchniowych, tym samym przyczyniając się do poprawy warunków upraw roślin oraz dostępu ludności i przemysłu do wody. Ponadto, sprzyja powstawaniu nowych siedlisk oraz wiąże się z poprawą warunków tlenowych, co intensyfikuje proces samooczyszczania wód (Czech 2001, Chudy 2004). Inną wymienianą zaletą elektrowni wodnych jest ich łatwość w dostosowywaniu się do raptownych zmian mocy, a prostota techniczna małych elektrowni wodnych (MEW) wpływa na ich żywotność i niezawodność (Sikora i Miller 2004). Z kolei przeciwnicy hydroenergetyki wskazują, że już samo wybudowanie poprzecznej

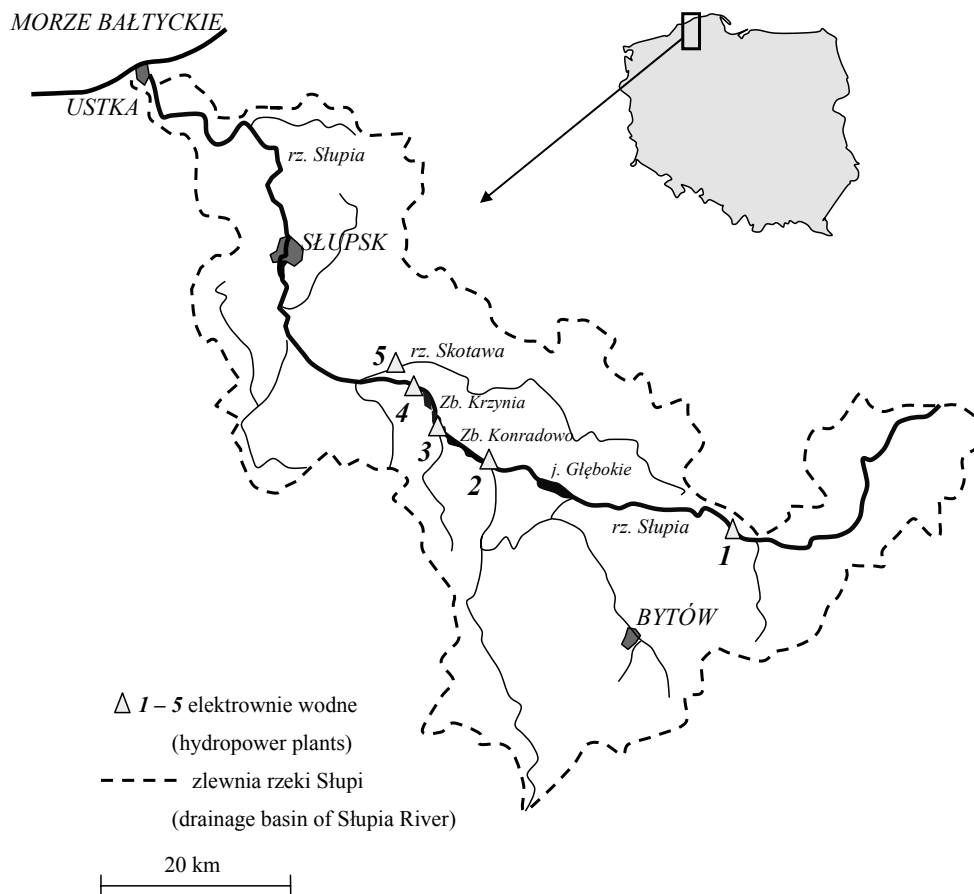
przegrody na swobodnie płynącej rzece powodować może wiele niekorzystnych zmian zarówno w funkcjonowaniu, jak i strukturze całego ekosystemu (Adynkiewicz-Piragas i Lejcuś 2009, Kowalczak i in. 2009, Witek 2012), zaburzając ekologiczną ciągłość ekosystemu rzeki (tzw. river continuum). Ponadto zmiany te dotyczą zarówno koryta rzeki, jak i całej doliny rzecznej, nie tylko w bezpośrednim sąsiedztwie budowli, ale również na dalszych odcinkach rzeki poniżej zapory.

Najczęściej wysuwany argument przeciwko rozwojowi zabudowy hydrotechnicznej jest ograniczenie bądź całkowite uniemożliwienie swobodnej migracji ryb, powodujące odcięcie gatunkom wędrownym drogi na tarliska, co ogranicza, a w skrajnych przypadkach eliminuje, możliwość reprodukcji (Dębowski 2005, Obolewski 2007, Adynkiewicz-Piragas i Lejcuś 2009, Kowalczak i in. 2009). Budowle piętrzące powodują zmiany w krajobrazie dolin rzecznych, a w przypadku dużych budowli zmiany te wykraczają daleko poza zasięg ich konstrukcji (Adynkiewicz-Piragas 2008). Funkcjonowanie elektrowni wodnych wywoływać może raptowne zmiany wielkości przepływu oraz stanu wód. Różnice dobowe w ilości odprowadzanej wody mogą być na tyle duże, że mogą powodować wahania poziomu wód poniżej spiętrzenia przekraczające 1 metr na dobę (Dębowski 2005), co z kolei przekłada się na ograniczenie bioróżnorodności flory i fauny (Ward i in. 1999). Zmiany prędkości przepływu wody mają również wpływ na zmiany transportu rumowiska oraz przebieg procesów erozyjnych i sedymentacyjnych.

Biorąc pod uwagę fakt, że zabudowa hydrotechniczna rzek jest ciągle tematem spornym, a samo funkcjonowanie małych elektrowni wodnych trudno jednoznacznie zdefiniować jako pozytywne czy negatywne, celem niniejszego artykułu była próba określenia wpływu MEW i obiektów towarzyszących na dynamikę zmian przepływu, stanu oraz temperatury wód powierzchniowych i gruntowych poniżej systemu elektrowni wodnych na rzece Słupi.

Material i metodyka badań

Rzeka Słupia (138,6 km) zaliczana do rzek Przymorza ma swoje źródło na Pojezierzu Kaszubskim w pobliżu Sierakowskiej Huty, uchodzi zaś do Bałtyku w Ustce (rys. 1). Zlewnia Słupi (1623 km²) charakteryzuje się silnie urozmaiconym hipsograficznie krajobrazem polodowcowym, porozcinanym siecią rynien i dolin erozyjnych. Powierzchnie wysoczyznowe urozmaicone są licznymi zagłębieniami powstałymi na skutek nierównomiernej akumulacji lodowcowej i wytapiania się brył lodu zagrzebane go w osadach (Florek 1991). Sieć hydrograficzną zlewni Słupi tworzą ciekii koncentrujące się zwłaszcza w jej górnym i środkowym odcinku. Ze względu na swoje unikatowe cechy przyrodnicze dolina rzeki została objęta ochroną obszarową. W 1981 roku utworzono Park Krajobrazowy Dolina Słupi, obejmujący obszar środkowego i dolnego biegu rzeki i jej zlewni (37 040 ha), w 2004 roku z kolei został powołany obszar specjalnej ochrony ptaków Dolina Słupi w ramach europejskiej Sieci Natura 2000 (obszar PLB 220002, ranga europejska E10) – Gotkiewicz (2009).



RYSUNEK 1. System elektrowni wodnych na rzece Słupia
 FIGURE 1. Hydropower plants system on the Słupia River

Sama zlewnia rzeki charakteryzuje się umiarkowanym poziomem antropopresji, związanym głównie z rolniczym wykorzystaniem gruntów (użytki rolne to ok. 65% powierzchni zlewni) oraz punktowymi źródłami zanieczyszczeń. Jednakże dolina rzeczna pozostaje pod dużym wpływem różnego typu zabudowań hydrotechnicznych, takich jak: zapory, jazy, kanały, progi czy rzeczone elektrownie wodne.

Historia rozwoju energetyki wodnej na terenach zlewni rzeki Słupia sięga

przełomu XIX i XX wieku. Był to okres początków rozwoju hydroenergetyki w Polsce (Bajkowski i Górnikowska 2013). Decyzja o tak znaczącej ingerencji człowieka w koryto rzeki Słupia spowodowana była zapewne występującymi w XIX wieku ekstremalnymi wezbrzeniami (najpoważniejsza powódź w 1898 r.), będącymi prawdopodobnie wynikiem podjętych w połowie XVIII wieku dużych projektów odwadniających (Florek i in. 2008). Liczne powodzie spowodowały podjęcie kolejnych prac melioracyjnych

i regulacyjnych, takich jak: pogłębianie koryta, usuwanie naturalnych przeszkód w postaci głazów, pni i piaszczystych łąch czy budowanie jazów (Florek 1991). Działania realizowane na początku XX wieku, polegające przede wszystkim na odcinaniu najbardziej rozwiniętych zakoli, doprowadziły do skrócenia długości rzeki o około 20 km oraz zwiększenie spadku podłużnego, a w konsekwencji prędkości przepływu (Florek i in. 2008). Najbardziej znaczące zmiany zaszły w środkowym biegu Słupi, a wynikały one z budowy ciągu małych elektrowni wodnych (rys. 1) i towarzyszących im zbiorników zaporowych, kanałów, podziemnych sztolni oraz budynków technicznych. Elektrownie te, powstałe

w latach 1896–1926, funkcjonują do dzisiaj, a sama Słupia jest najlepiej wykorzystaną energetycznie rzeką Pomorza Środkowego. Wspomnieć należy, że elektrownia Struga w Soszycy (I – rys. 1) jest pierwszą elektrownią wodną wybudowaną na terenach obecnej Polski (1896) i najstarszą budowlą hydrotechniczną w Europie, działającą do dnia dzisiejszego. Trzy z pięciu czynnych MEW zlokalizowanych w zlewni rzeki (tab. 1) funkcjonuje na zasadzie energetycznych zbiorników retencyjnych (o powierzchni ok. 100 ha), które gromadzą wodę wykorzystywaną do produkcji energii w okresach największego na nią zapotrzebowania.

TABELA 1. Charakterystyka elektrowni wodnych w zlewni rzeki Słupi
TABLE 1. Characteristic of hydropower plants of the Słupia River catchment

Wyszczególnienie Specification		Struga – – Soszyca	Gąskowo – – Gałąźnia Mała	Strzegomino	Krzynia	Skarszów Dolny
Lokalizacja/Location		Słupia	Słupia	Słupia	Słupia	Skotawa
Rok budowy/Year		1896	1914	1924	1926	1922*
Typ/Type		P	S	S	S	P
Zbiornik/ /Reservoir	nazwa/name	–	jezioro Głębokie	Zbiornik Konradowo	Zbiornik Krzynia	–
	powierzchnia/ /surface [ha]		107	100	75	
	pochodzenie/ /history		zaporą piętrząca wody Słupi i Bytowy – skierowanie ich do jeziora i dalej do elek- trowni wodnej	zalanie terenów spiętrzonymi wodami Słupi	zalanie terenów spię- trzonymi wo- dami Słupi	
Spad/Head [m]		3	38,5	12	7	7,8
Moc instalowana/ /Capacity [kW]		250	3500	2310	830	180
Przepływ instalowany/ /Installed flow [m ³ ·s ⁻¹]		2,7	13,0	27,0	17,0	3,6

P – elektrownia przepływowa/(flow-through hydropower plant.

S – elektrownia szczytowa/dam (reservoir) hydropower plant.

*Elektrownia wzniesiona na fundamentach papierni zasilanej energią wodną z 1868 r./power plant build on the foundation of the former paper mill – from 1868.

Dwie pozostałe to elektrownie przepływowe wyposażone w obwałowane groblą kanały robocze, łączące jaz regulacyjny z budynkiem siłowni.

W celu określenia wpływu systemu elektrowni wodnych rzeki Słupi na dynamikę krótkookresowych zmian podstawowych cech hydrologicznych wód w samej rzece, jak również w jej zlewni, przeanalizowano ich dobową zmienność stanu, natężenia przepływu i temperatury.

Pomiary dobowych zmian poziomu lustra wody i natężenia przepływu oraz zmian temperatury w rzece pochodzą z posterunku wodowskazowego, funkcjonującego w ramach działalności IMGW w Słupsku. Wodowskaz zlokalizowany jest w Słupsku, około 25 km poniżej systemu elektrowni wodnych ($54^{\circ}28'15''$ N, $17^{\circ}02'00''$ E) i zamyka zlewnię o powierzchni około $1450,4 \text{ km}^2$ (33,52 km biegu rzeki). W artykule przedstawiono dane z lat hydrologicznych 2004–2007. Zmiany poziomu wód gruntowych i ich temperatury rejestrowano od lipca 2011 do lipca 2012 roku z częstotliwością 24 razy na dobę, za pomocą rejestratora CTD-Diver (Eijkelkamp, Holandia), którego odczyty kompensowano o zmiany ciśnienia atmosferycznego za pomocą Baro-Diver (Eijkelkamp, Holandia) przy użyciu programu Diver-Office. Oba rejestratory umieszczono w odległości 13,5 km poniżej elektrowni w Krzyni. Lokalizację mierników wyznaczają współrzędne geograficzne: $54^{\circ}23'25''$ N, $17^{\circ}01'59''$ E.

Wyniki badań i dyskusja

Średni stan wód rzeki Słupi na wodowskazie poniżej systemu elektrowni wodnych w omawianym okresie czasu wyniósł 13,88 m n.p.m. Roczna amplituda wahań stanu wód w latach hydrologicznych 2004–2007 wyniosła średnio 1,6 m i zmieniała się w zakresie od około 1 m (2005/2006) do około 2,2 m (2004/2005). Średnie natężenie przepływu rzeki kształtowało się na poziomie $15,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Przepływ Słupi charakteryzował się wyraźną zmiennością sezonową. Miesięczne współczynniki przepływu powyżej 100% odnotowywane były w miesiącach listopad–kwiecień. Należy jednak zaznaczyć, że przebieg wartości miesięcznych współczynników przepływu był dość wyrównany i mieścił się w zakresie od 85% (sierpień/wrzesień) do 130% (styczeń/luty). Współczynnik nieregularności przepływu wyniósł około 4. Słupia zaliczana jest do rzek o zimnym typie reżimu termicznego (Bogdanowicz 2004). Średnia roczna temperatura wody w Słupi na wodowskazie w Słupsku wyniosła $9,2^{\circ}\text{C}$ i zmieniała się w poszczególnych latach w zakresie od $8,9$ do $9,9^{\circ}\text{C}$. Średnia roczna amplituda temperatury kształtowała się na poziomie $8,4^{\circ}\text{C}$, przy czym odnotowywano pięć miesięcy w roku o średnich wartościach miesięcznych temperatury wynoszących powyżej 10°C . Okresy przejścia przez progi poniżej i powyżej 10°C to odpowiednio październik i maj. Sezonowa zmienność parametrów

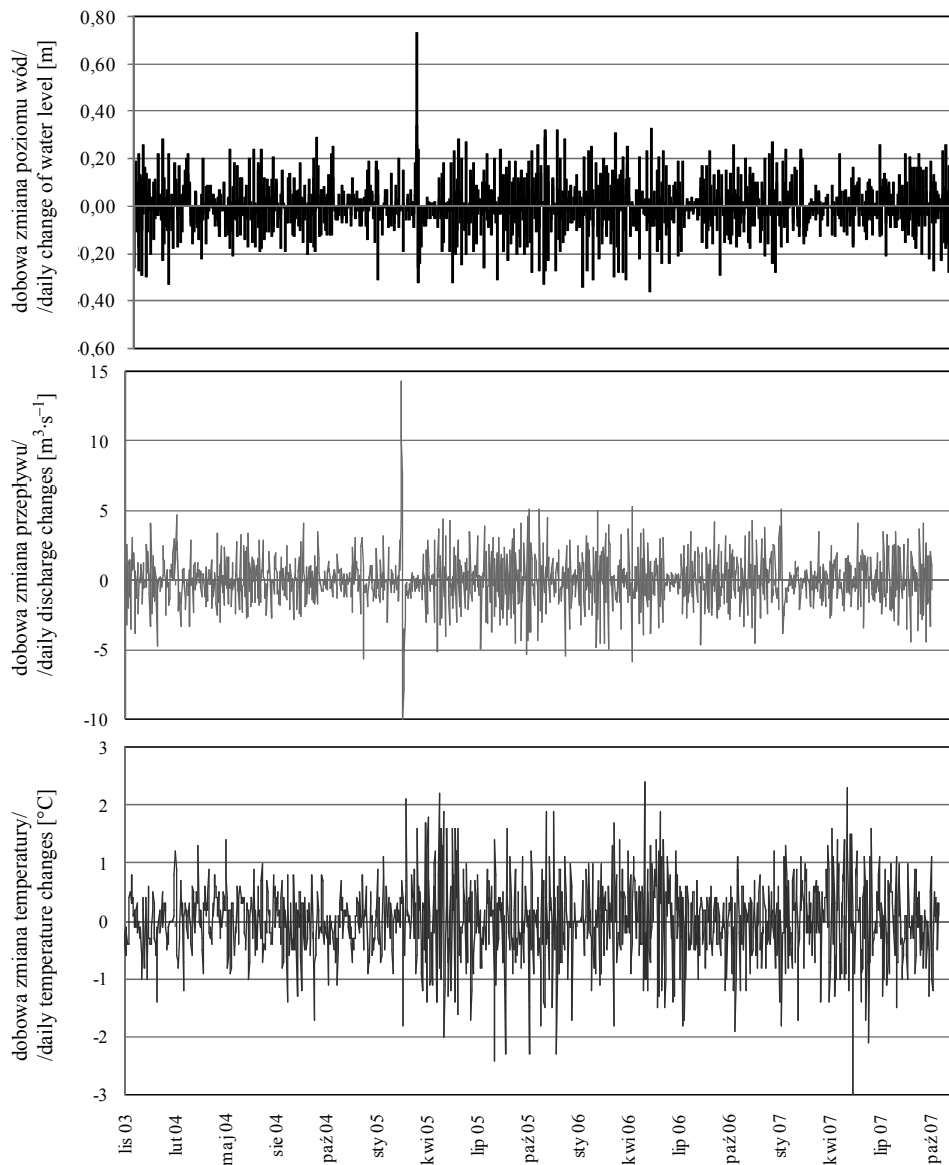
hydrologicznych rzek jest naturalnym zjawiskiem, które nie ma destrukcyjnego wpływu na ekosystem. Niekorzystne efekty środowiskowe związane są z raptownymi zmianami cech hydrologicznych i fizykochemicznych rzeki. Z tego też względu szeregi danych stanu wód w rzece, natężenia przepływu i temperatury wód zostały przeliczone na ciągi dobowych różnic między kolejnymi ich pomiarami. Na podstawie uzyskanych wyników ustalono, że średni dobowy wzrost stanu wód Słupi na wodowskaziu w Słupsku (rys. 2a) w omawianym czasie wyniósł 0,09 m. Maksymalny dobowy wzrost stanu wód odnotowany jednoznacznie 18.03.2005 roku wyniósł 0,73 m. Wartość bezwzględna średniego dobowego spadku stanu wód Słupi była zbliżona do wartości średniej wzrostu i wynosiła 0,08 m. Maksymalny dobowy spadek stanu wód (jego wartość bezwzględna), odnotowany 08.05.2006 roku, był o połowę mniejszy niż maksymalny wzrost i wyniósł 0,36 m. Udział procentowy dobowych pomiarów ze spadkiem stanu wód wyniósł w omawianym przedziale czasowym około 49%, przy udziale dobowych wzrostów stanu wód rzędu 44% (7% przypadków to brak dobowej zmiany stanu wód). Analiza dobowych zmian natężenia przepływu (rys. 2b) wskazuje na to, że z reguły zmiany te nie przekraczały $5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (ok. 1% zmian przepływu $>5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). W ciągu analizowanych czterech lat hydrologicznych średni dobowy wzrost natężenia przepływu wód rzeki Słupi poniżej systemu elektrowni wodnych wyniósł $1,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (maksymalnie $14,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Udział procentowy dobowych pomiarów ze wzrostem natężenia przepływu wyniósł 44%. Wartość średniego dobowego spadku przepływu

na wodowskaziu w Słupsku wyniosła $1,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, przy maksymalnym spadku równym $-10,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (20.03.2005). Dobowy współczynnik zmienności przepływu (C_v) dla badanego okresu wyniósł z kolei około 20%. Zarówno wzrost, jak i spadek średnich dobowych zmian temperatury wody w Słupi (rys. 2c) wyniósł około $0,5^\circ\text{C}$. Najwyższy dobowy wzrost temperatury ($2,4^\circ\text{C}$) odnotowano 22.05.2006 roku, najwyższy spadek zaś (3°C) odnotowano 30.05.2007 roku.

Biorąc pod uwagę, że zabudowa hydrotechniczna może wywierać wpływ nie tylko na samo koryto rzeczne, ale także na całą dolinę rzeczną, sprawdzono zmienność dobową stanu położenia zwierciadła wód podziemnych poziomu gruntowego oraz dobowe zmiany temperatury wód gruntowych (rys. 3). Analiza zmienności położenia wód gruntowych w punkcie kontrolnym zasadniczo odpowiadała schematowi wahań poziomu wód w rzece. Średni dobowy wzrost stanu wód gruntowych w dolinie rzeki (rys. 3) w omawianym czasie wyniósł 0,09 m. Maksymalny dobowy wzrost stanu wód gruntowych był równy 0,42 m. Średni dobowy spadek stanu wód gruntowych wyniósł natomiast 0,08 m (minimalny dobowy spadek 0,28 m).

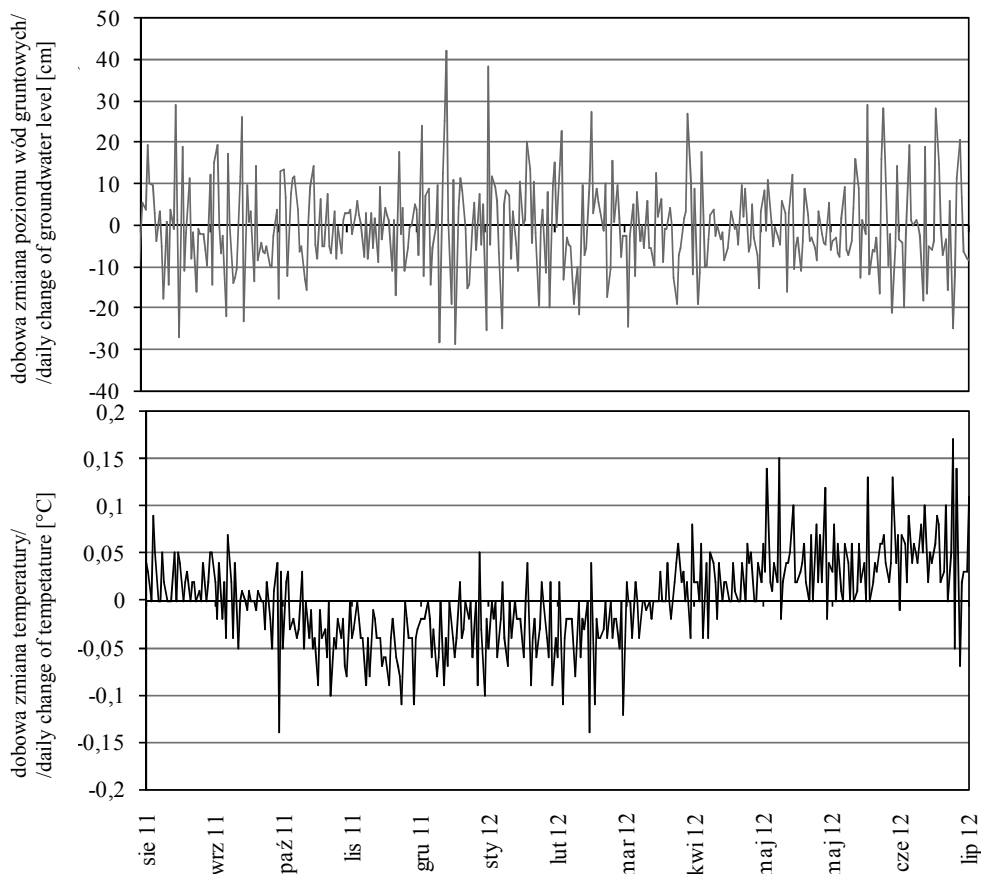
Dobowe zmiany temperatury wód gruntowych były niewielkie i średnio wynosiły niecałe $0,04^\circ\text{C}$. Maksymalny dobowy wzrost temperatury wyniósł $0,17^\circ\text{C}$, maksymalny spadek zaś $0,14^\circ\text{C}$ (rys. 3).

Na podstawie zebranych wyników można stwierdzić, że Słupia poniżej ciągu elektrowni Struga – Gałąźna – Strzegomino – Krzynia charakteryzuje się wyrównanym stanem wód i stabilnym przepływem, a zmienność temperaturowa



RYСУNEK 2. Dobowe zmiany: stanu, natężenia przepływu i temperatury wód rzeki Słupi na wodowskazie poniżej systemu elektrowni wodnych

FIGURE 2. Daily changes of: water level, discharge and water temperature of the Słupia River below the hydropower plants system



RYSUNEK 3. Dobowe zmiany poziomu i temperatury wód gruntowych w dolinie Słupii poniżej systemu elektrowni wodnych (dane od sierpnia 2011 do lipca 2012 r.)
 FIGURE 3. Daily changes of level and temperature of groundwater in the Słupia River valley, below the hydropower plants system (September 2011 – July 2012)

spowodowana jest przede wszystkim czynnikami klimatycznymi. Dla porównania, w przypadku innych rzek Przymorza również wykorzystywanych dla celów energetycznych, współczynniki dobowej zmienności przepływu (dla lat 1989–1998) były większe od współczynnika C_v dla Słupii i wyniosły odpowiednio około 34% dla Wieprzy, 35% dla Łeby, 46% dla Parsęty, 76% dla Pasłęki (Bogdanowicz 2004). Szumiń-

ska (2010) podaje natomiast, że współczynnik nieregularności przepływu we Wdzie, poniżej kaskady hydroenergetycznej, wynosi 790 (dla Słupii ok. 4), a wskutek pracy hydroelektrowni wartość przepływu wzrasta w ciągu kilku godzin o kilka m^3 na sekundę. W przypadku większych inwestycji hydrotechnicznych zmiany naturalnego reżimu hydrologicznego ekosystemów wodnych są jeszcze bardziej widoczne. Augustyn

(2010) podaje, że na skutek funkcjonowania hydroelektrowni w Czorsztynie-Niedzicy w okresie od maja do października przepływ zmieniał się w zakresie od 9 (w nocy) do 25–45 m³·s⁻¹ (w dzień), a w ciągu kilku zaledwie minut poziom lustra wody zmieniał się o kilkadziesiąt centymetrów. Wojtuszczyńska (2007) podaje, że dobowe maksymalne wahania wód na skutek działalności elektrowni wodnej Solina w przypadku Zbiornika Myczkowice wynosiły do 3,5 m. Habel (2010) opisuje natomiast, że w latach 1970–2002 funkcjonowanie stopnia wodnego we Włocławku zakłócało reżim hydrologiczny Wisły, prowadząc do drastycznych zmian natężenia przepływu poniżej stopnia wodnego i dobowych zmian stanów wód o amplitudzie od 2 do 3 m.

Wnioski

Dolina rzeki Słupi została bezspornie na przełomie XIX i XX wieku zmieniona, ale ciągła praca elektrowni wodnych pozwoliła na osiągnięcie pewnej stabilizacji ekosystemów. Florek i inni (2008) twierdzą, na podstawie zobrazowania rzeźby dna doliny Słupi na odcinku Krzynia – Gałąźna Mała, że na usytuowanie elektrowni i zbiorników zaporowych wybrano optymalne lokalizacje. Same zbiorniki zaś, mimo tego iż były tymi elementami zabudowy, które w stosunku do stanu pierwotnego wprowadziły największe zmiany, powstały przez spiętrzenie i zalanie doliny bez uprzednich ingerencji w jej ukształtowanie (Florek i in. 2008). Brzegi zbiorników są ustabilizowane, porośnięte sta-

rodzawem i wzmocnione formacjami roślinności trawiastej, zjawisko erozji brzegów właściwie nie występuje (Florek i Łęczyński 2007). Ponadto, niewielkie (ok. 0,2 m) wahania stanu wód w zbiornikach zaporowych (Florek i Łęczyński 2007) chronią system zlewni rzeki przed erozją, tworzą się miejsca łęgowe dla ptactwa wodnego oraz siedliska przyrodnicze (Obolewski 2007). Istotne dla osiągnięcia stabilizacji ekosystemów w dolinie rzeki Słupi jest również to, iż elektrownie od momentu uruchomienia pracują nieprzerwanie oraz że zbiorniki nie były przepłukiwane ani bagrowane (Florek i in. 2008). Poniżej zbiorników powstały przegłębienia jako efekt nadwyżki potencjału energetycznego rzeki, poniżej Krzyni obserwowana jest również erozja boczna, której tempo wynosi około 0,4–0,8 m na rok (Florek 1991). Niemniej jednak ekosystem środkowej Słupi (poniżej elektrowni) jest na tyle atrakcyjny i cenny przyrodniczo (m.in. stwierdzone występowanie około 750 gatunków roślin naczyniowych, 11 gatunków płazów, 153 gatunków ptaków oraz 46 gatunków ssaków), że w jego obszarze ustanowiono obszar specjalnej ochrony ptaków (PLB220002 2011, www.dolinaslupi.pl). Obszar charakteryzuje się występowaniem wielu cennych, dobrze zachowanych typów siedlisk tworzących mozaikę (PLB220002 2011), a jego cechą charakterystyczną jest duża lesistość (ok. 70%) oraz obecność różnego typu torfowisk i lasów łęgowych. Co więcej, sama infrastruktura techniczna siłowni wodnych, zbiorniki przyzaporowe, kanały i budowle piętrzące dobrze wkomponowały się w krajobraz i stanowią ciekawą atrakcję turystyczną.

Literatura

- ADYNKIEWICZ-PIRAGAS M. 2008. Kompensacja negatywnego oddziaływania budowli hydrotechnicznych na ekosystem rzeczny. *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich* 9: 7–18.
- ADYNKIEWICZ-PIRAGAS M., LEJCUŚ I. 2009. Ocena ciągłości ekologicznej koryta rzecznoego na przykładzie Nysy Łużyckiej na odcinku Porajów-Sobolice. *Nauka Przyr. Technol.* 3: 1–10.
- AUGUSTYN L. 2010. Wpływ hydroelektrowni w Czorsztynie-Niedzicy i Sromowcach Wyżnych na ichtiofaunę Dunajca w Pieninach. *Monografie Pienińskie* 2: 227–239.
- BAJKOWSKI S., GÓRNIKOWSKA B. 2013. Hydroenergetyka na tle produkcji energii z innych źródeł odnawialnych. *Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ.* 59: 77–87.
- BOGDANOWICZ R. 2004. Hydrologiczne uwarunkowania transportu wybranych związków azotu i fosforu Odrą i Wisłą oraz rzekami Przymorza do Bałtyku. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk.
- BROWN M.T., ULGIATI S. 2001. Energy evaluations and environmental loading of electricity production systems. *J. Clean. Prod.* 10: 321–334.
- CHUDY Ł. 2004. Małe elektrownie wodne w środowisku i gospodarce. *Gosp. Wod.* 7: 272–277.
- CZECH J. 2001. Biała energia. *Ekopartner* 12: 29.
- DĘBOWSKI P. 2005. Wpływ zabudowy rzek na ichtiofaunę. Gospodarka wodna dorzecza Słupi i Łupawy. Zasady ochrony i zrównoważonego gospodarowania zasobami wód. Red. W. Lipczyński. Grawipol, Słupsk: 170–177.
- FLOREK E., ŁĘCZYŃSKI L. 2007. Akumulacja i procesy brzegowe w zbiornikach energetycznych Konradów i Krzynia na środkowej Słupi. *Słupskie Prace Geograficzne* 3: 121–140.
- FLOREK W. 1991. Postglacjalny rozwój dolin rzek środkowej części północnego skłonu Pomorza. WSP, Słupsk.
- FLOREK E., FLOREK W., ŁĘCZYŃSKI L. 2008. Funkcjonowanie zbiorników zaporowych na Słupi jako czynnik rzeźbotwórczy. *Landform Analysis* 7: 12–22.
- GOTKIEWICZ W. 2009. Obszary prawnie chronione w dolinie Słupi. W: Krótkoterminowe ekologiczne efekty renaturyzacji niewielkich rzek nizinnych na przykładzie rzeki Kwaczy. Red. K. Obolewski. BoxPol, Słupsk: 49–63.
- HABEL M.J. 2010. Zasięg oddziaływania stopnia wodnego we Włocławku na wahania stanów wód dolnej Wisły. *Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN* 1 (69): 251–261.
- JAROSIEWICZ A. 2006. Hydroenergia drogą do poprawy stanu jakości środowiska przyrodniczego. *Słupskie Prace Biologiczne* 3: 13–23.
- KALDA G., KLIŚ K. 2012. Rozwój małej energetyki wodnej na Podkarpaciu. *Budownictwo i Inżynieria Środowiska* 59: 91–102.
- KOWALCZAK P., NIEZNAŃSKI P., STAŃKO R., MAS F.M., BERNUES SANZ M. 2009. Natura 2000 a gospodarka wodna. Ministerstwo Środowiska, Warszawa.
- OBOLEWSKI K. 2007. Elektrownie wodne a środowisko. W Energia odnawialna na Pomorzu Zachodnim. Wykorzystanie energii odnawialnej – szanse i zagrożenia. Red. P. Lewandowski. Hogben, Szczecin: 315–325.
- PLB220002 2011. Natura 2000. Formularz danych Dolina Słupi.
- SIKORA B., MILLER M. 2004. Wpływ elektrowni wodnych na ekosystem rzeczny. W Wykorzystanie niekonwencjonalnych źródeł energii. Red. L. Kukiełka. Słupsk.
- SZUMIŃSKA D. 2010. Przekształcenia warunków hydrologicznych w dolinie dolnej Wdy wskutek budowy stopni wodnych. *Krajobraz Kulturowe Dolin Rzecznych. Potencjał i Wykorzystanie. Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego* 13: 110–121.
- WARD J.V., TOCKNER K., SCHIEMER F. 1999. Biodiversity of floodplain river ecosystems: ecotones and connectivity. *Regulated Rivers: Research and Management* 15: 125–139.
- WITEK M., 2012. Wpływ zabudowy hydrotechnicznej na współczesne kształtowanie rzeźby koryt rzek ziemi kłodzkiej. *Landform Analysis* 19: 91–102.
- WOJTUSZEWSKA K. 2007. Dynamika zmian stanu wód powierzchniowych i podziemnych w rejonie zbiorników wodnych Solina – Myczkowice. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* 23: 119–134.

ŻELAZIŃSKI J., WAWRĘTY R. 2007. Cele wybranych przedsięwzięć hydrotechnicznych i możliwości ograniczenia ich negatywnego wpływu na środowisko. Jak skutecznie chronić przyrodę dolin rzecznych? WFOŚiGW, Kraków: 38–52.

Streszczenie

Wpływ małych elektrowni wodnych na dynamikę zmian stanu, przepływu i temperatury wód powierzchniowych i gruntowych – studium przypadku w dolinie rzeki Słupia. Celem pracy było określenie wpływu systemu czterech elektrowni wodnych na dynamikę zmian przepływu, stanu i temperatury wód powierzchniowych i gruntowych w zlewni rzeki Słupia. Przeanalizowano dobowe zmiany poziomu lustra wody, prędkości przepływu i temperatury wód rzeki Słupia na wodowskaziu zlokalizowanym około 25 km poniżej systemu elektrowni. Określono również zakres dobowych zmian poziomu i temperatury wód gruntowych w dolinie rzeki. Na podstawie przeprowadzonych analiz ustalono, że rzeka Słupia poniżej ciągu elektrowni wodnych charakteryzuje się wyrównanym stanem wód (średnie dobowe zmiany z wielolecia poniżej 0,1 m) i stabilnym przepływem (dobowy współczynnik zmienności przepływu około 20%), a zmienność temperaturowa (średnio 0,5°C przez 24 h) spowodowana jest przede wszystkim czynnikami klimatycznymi. Średnie dobowe stany wód gruntowych, wyniosły poniżej 0,1 m, a zmiany temperatury nie przekroczyły 0,2°C. Mimo tego iż dolina rzeki Słupia została bezspornie zmieniona na skutek powstających zabudowań hydrotechnicznych, to po około 100 latach sprzyjające warunki pozwoliły na osiągnięcie pewnej stabilizacji ekosystemów.

Summary

Influence of small hydropower plants on the fluctuation of surface and ground water level, discharge and temperature – a case study of the Słupia River. The aim of this study was to determine the effect of four hydropower plants systems on the Słupia River. Authors analyzed the daily changes in the water levels, discharge and temperature on the station located about 25 km below the hydropower plants system. Moreover authors determined the daily changes in the levels and temperature of groundwater in the river valley. Based on the measurements it was found that the Słupia River below the hydropower plants system is characterized stable water level (on average, daily changes were less than 0.1 m) and water flow (daily flow variability coefficient about 20%), and the temperature variability (0.5°C during 24 h) was mainly due by climatic factors. Daily changes in groundwater levels averaged out at less than 0.1 m, and the changes in temperature did not exceed 0.2°C. Despite the significant changes in the river valley as a result of hydropower plant construction, after 100 years the favourable conditions allowed to achieve some stability of the ecosystem.

Authors' address:

Anna Jarosiewicz, Krystian Obolewski
Akademia Pomorska w Słupsku
Zakład Ekologii
ul. Arciszewskiego 22b, 76-200 Słupsk
e-mail: jarosiewiczza@poczta.onet.pl
e-mail: obolewsk@apsl.edu.pl