

ANALIZA HYDROLOGICZNO-ŚRODOWISKOWA LOKALIZACJI MAŁEJ ELEKTROWNI WODNEJ NA RZECE BUDKOWICZANKA W MIEJSCOWOŚCI KRZYWA GÓRA

Mirosław Wiatkowski¹, Łukasz Gruss¹, Paweł Tomczyk¹

¹ Instytut Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, pl. Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław, e-mail: miroslaw.wiatkowski@upwr.edu.pl, lukasz.gruss@upwr.edu.pl, pawel.tomczyk@upwr.edu.pl

STRESZCZENIE

W niniejszym artykule Autorzy przedstawili analizę warunków hydrologiczno-środowiskowych w aspekcie lokalizacji małej elektrowni wodnej na rzece Budkowiczance. Zlewnia rzeki Budkowiczanka wynosi $A = 232 \text{ km}^2$ i znajduje się w południowo-zachodniej Polsce w województwie opolskim. Długość rzeki Budkowiczanka wynosi ok. 60 km. Autorzy zaproponowali lokalizację małej elektrowni wodnej na jazie w km 20,142 jej biegu w miejscowości Okoły-Kupi Las w gminie Murów. Badany przekrój zaliczono do jednolitej części wód powierzchniowych „Budkowiczanka od Wiszni do Stobrawy”. Planowany na cele małej energetyki wodnej jaz zlokalizowany jest w odległości około 1,7 km powyżej wodowskazu Krzywa Góra. Przeanalizowano warunki hydrologiczne w rzece Budkowiczance dla profilu wodowskazowego. Na potrzeby hydrotechniki, dla rzeki Budkowiczanka, w tym przekroju wodowskazowym Krzywa Góra, wyznaczono stany i przepływy charakterystyczne obejmujące okres 1981–2015. Dla poszczególnych rocznych sum opadów z wielolecia 1981–2015, dla stacji Opole, zlokalizowanej w pobliżu zlewni rzeki Budkowiczanka wyznaczono lata bardzo suche i suche. Dla tych lat wyznaczono miary odpływu takie jak: współczynnik odpływu, wysokość warstwy odpływu, objętość odpływu. Wyznaczono również moc teoretyczną elektrowni, w oparciu o przepływ średni w wybranych latach oraz przepływ najdłuższy trwający. W badanym cieku stwierdzono występowanie ośmiu gatunków ryb. Pod względem elementów: biologicznych, hydromorfologicznych i fizykochemicznych z lat 2012 i 2015, potencjał ekologiczny JCWP jest jedynie umiarkowany, a tym samym stan jednolitej części wód jest zły.

Słowa kluczowe: małe elektrownie wodne, odnawialne źródła energii, moc teoretyczna elektrowni, hydrologia, wskaźnik względnego opadu, odpływ, jakość wody, rzeka Budkowiczanka

HYDROLOGICAL AND ENVIRONMENTAL ANALYSIS OF THE LOCATION OF A SMALL HYDROPOWER PLANT ON THE BUDKOWICZANKA RIVER IN THE VILLAGE OF KRZYWA GÓRA

ABSTRACT

In this article, the Authors presented an analysis of hydrological and environmental conditions in the aspect of the location of a small hydropower plant on the Budkowiczanka River. The catchment of the Budkowiczanka-



SIEĆ NA RZECZ
INNOWACJI W ROLNICTWIE
I NA OBSZARACH WIEJSKICH



Krajowa Sieć
Obszarów Wiejskich



Program
Rozwoju
Obszarów
Wiejskich
na lata 2014-2020

„Europejski Fundusz Rolny na rzecz Rozwoju Obszarów Wiejskich: Europa inwestująca w obszary wiejskie”.

Artykuł opracowany na zlecenie Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie.

Artykuł współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach II Schematu Pomocy Technicznej

„Krajowa Sieć Obszarów Wiejskich” Program Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2014–2020.

Instytucja Zarządzająca Programem Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2014–2020

– Minister Rolnictwa i Rozwoju Wsi.

ka River is $A = 232 \text{ km}^2$ and it's located in south-western Poland in the Opolskie Province. The length of the Budkowiczanka River is about 60 km. The authors proposed the location of a small hydropower at 20,142 km of its run in Okoły-Kupi Las in the Murów commune. The analyzed cross-section should be included in the body of surface water „Budkowiczanka from Wisznia to Stobrawa”. The weir planned for the purposes of small hydropower is located approximately 1.7 km above the Krzywa Góra gauging station. Hydrological conditions were analyzed in the Budkowiczanka River for the Krzywa Góra profile. For the hydrotechnic purposes states and discharges were determined. Based on the annual sums of precipitations for the Opole station, from the multi-year period of 1981–2015, very dry and dry years have been designated. This station is located near the Budkowiczanka River catchment. For these years, outflow measures were determined such as: outflow coefficient, height of the outflow layer, outflow volume. The theoretically available power of the hydropower plant was also determined, based on the average flow and the longest running flow in the selected years. In the studied river, eight species of fish were found. In terms of biological, hydromorphological and physicochemical elements from year 2012 and 2015, the ecological potential of surface water body is only moderate, and thus the status of water body is bad.

Keywords: small hydro power, renewable energy sources, the mechanical power, hydrology, relative precipitation index, outflow, water quality, Budkowiczanka River

WPROWADZENIE

Zarówno w Polsce, jak i na całym świecie energia elektryczna w ogólnym bilansie energetycznym pełni bardzo istotną rolę ze względu na łatwość jej wykorzystania przez odbiorców [Bartnik i in. 2007, Mishra i in. 2011]. Polska w ramach wspólnej polityki energetycznej Unii Europejskiej jest zobowiązana do zwiększenia udziału energii odnawialnej w produkcji energii elektrycznej i ciepłej. Wynika to z potrzeby ochrony środowiska, ochrony klimatu w dobie występujących zmian klimatycznych na Ziemi [Wiatkowski i Rosik-Dulewska 2012, Wiatkowski i in. 2016]. Jak wynika z Polityki energetycznej Polski do 2030 r. [Polityka 2009], jednym z podstawowych kierunków polskiej polityki energetycznej jest rozwój wykorzystania odnawialnych źródeł energii (OZE). Na terenie województwa opolskiego wykorzystywane są wszystkie formy OZE (energia wiatru, słoneczna, geotermalna, wody, biomasy), jednak w produkcji energii elektrycznej dominującą rolę odgrywa mała energetyka wodna [Urząd Marszałkowski 2009].

Mała energetyka wodna (MEW) dotyczy małych rzek oraz różni się od dużej energetyki wielkością mocy zainstalowanej obiektu [Mishra i in. 2011]. Zainstalowana moc jest wielkością umowną ponieważ w Europie za górną granicę przyjęto następujące moce zainstalowane: 1,5 MW (Luksemburg, Szwecja), 5,0 MW (Polska, Austria, Grecja, Holandia, Niemcy) i 10 MW (Belgia, Hiszpania, Irlandia, Portugalia) [Kasperek i Wiatkowski 2014].

MEW pełni wiele pozytywnych zadań w środowisku, do których należy zaliczyć [Kowalewski 2005]: wytwarzanie taniej i czystej energii elektrycznej, brak wytwarzania zanieczyszczeń, regulowanie stosunków wodnych i zdolności retencyjnych obszaru przyległego, poprawę wilgotności gleb i poziomu wód gruntowych, tworzenie systemu zbiorników retencyjnych, możliwość dobrego wkomponowania w krajobraz. Tym bardziej, że nasilające się ekstremalne zjawiska przyrodnicze takie jak gwałtowne powodzie i długotrwałe susze zwiększają znaczenie budowli hydrotechnicznych [Wiatkowski i Gruss 2017]. Jak podają Mishra i in. [2011] budowle hydrotechniczne takie jak zbiorniki retencyjne są wykorzystane do ochrony przeciwpowodziowej, a różnica poziomów i odpływ wód ze zbiornika są potrzebne do wytwarzania mocy. Również sztuczne kanały wykonane do nawodnień zlokalizowane na terenach, gdzie występują różnice w spadkach terenu są wykorzystywane na potrzeby małych elektrowni wodnych.

Do negatywnych skutków funkcjonowania MEW Kowalewski [2005] zaliczył: ograniczone możliwości przemieszczania się zwierząt wodnych przez przegrodzone rzeki, zwiększenie piętrzenia wody w cieku, co powoduje zalanie części doliny i likwidację miejsca bytowania określonych gatunków zwierząt, w przypadku MEW zlokalizowanych na zbiornikach wodnych może wystąpić na jego brzegach wskutek gwałtownych zmian piętrzenia lub falowania abrazja, a w korycie poniżej zbiornika erozja jego dna. W szczególnych przypadkach budowa obiektu MEW może stanowić element niekorzystny w krajobrazie, a jej budowa (głównie hałas) może

negatywnie wpływać na środowisko. Z powodu wzrastającego zapotrzebowania na energię elektryczną, ważne jest oszacowanie przyszłego potencjału energii wodnej [Hoffman 1992, Mishra i in. 2011, Wiatkowski i Rosik Dulewska 2012]. W tym celu należy wykonać pomiary hydrometryczne i właściwe obliczenia inżynierskie. Podstawą rozważań i analiz energetycznego wykorzystania zasobów wodnych rzek, powinno być przeprowadzenie na podstawie wieloletnich wyników pomiarów hydrologicznych (stanów wody, natężenia przepływów, oraz pomiarów rumowiska rzeczno) oceny wielkości i zmienności zasobów wodnych rzek. Oceny stosunków hydrologicznych w projektowaniu elektrowni wodnych powinny się odbywać z ustaleniem wielkości przepływów wody, ich wahania, częstotliwość i czasów trwania przepływów w latach mokrych, średnich i suchych [Hoffman 1992, Wiatkowski i Rosik Dulewska 2012].

Przy projektowaniu inwestycji jaką jest budowa MEW szczególną uwagę należy zwracać na przyjęcie właściwego sposobu regulacji koryta powyżej i poniżej obiektu. Oprócz uwzględnienia oddziaływania prędkości przepływu, falowania, zamarzania, działania sił pochodzących od wód gruntowych, należy brać pod uwagę aspekty przyrodnicze takie jak utrzymanie biocenozy przekształconego koryta cieków w stanie porównywalnym z korytem nieuregulowanym [Hachol i Bodnar-Nowakowska 2010]. Ponieważ każda ingerencja techniczna w korycie cieków ma wpływ na jego biocenozę, należy pamiętać, że odpowiednio zaprojektowane i wykonane roboty regulacyjne cieków, uwzględniające wymagania ekologiczne, pozwolą zachować

funkcje cieków wodnych nie powodując przy tym znaczących strat w ekosystemie [Bondar-Nowakowska 2000, 2013].

Jak podają Wiatkowski i Rosik Dulewska [2012], Wiatkowski i in. [2013], Kasperek i Wiatkowski [2014] na ciekach wodnych w województwie opolskim są jeszcze miejsca, w których można zlokalizować elektrownie wodne.

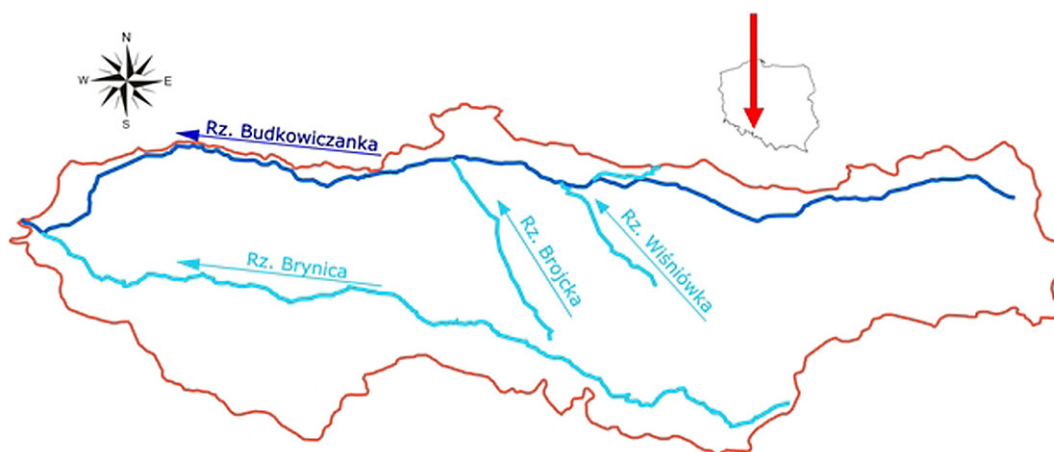
Na rzece Budkowiczance, na odcinku od Starych Budkowic do Krzywej Góry, istnieje 6 budowli, które piętrzą wodę. Jedynie jedna wykorzystywana jest hydroenergetycznie. W pracy dokonano oceny wielkości i zmienności zasobów wodnych rzeki Budkowiczanki oraz przeanalizowano aspekt środowiskowy, co stanowiło podstawę rozważań i analiz energetycznego wykorzystania jazu w miejscowości Okoły – Kupi Las.

MATERIAŁY I METODY

Charakterystyka obszaru badawczego

Zlewnia rzeki Budkowiczanki znajduje się w południowo-zachodniej Polsce w województwie opolskim. Budkowiczanka wykształciła długą i wąską zlewnię, o wyraźnej asymetrii na korzyść części południowej (rys. 1).

Długość rzeki Budkowiczanki wynosi ok. 60 km. Jest ona lewostronnym, najdłuższym dopływem rzeki Stobrawy. Do głównych dopływów należy zaliczyć ciek: Brynicę, Brojkę, Dobrą, Wierzchowinkę, Wiśniówkę. Oprócz tego w zlewni rzeki Budkowiczanki występuje liczna sieć rowów i młynówek. Rzeka Budkowiczanka płynie regularnie na zachód. Koryto rzeki o szerokości 3–8 m, wyposażone jest w liczne



Rys. 1. Schemat zlewni rzeki Budkowiczanki
Fig. 1. The scheme of the Budkowiczanka River catchment

urządzenia hydrotechniczne służące regulacji przepływu. Właśnie na jednej z takich budowli – na jazie w km 20,142 jej biegu w miejscowości Okoły – Kupi Las w gminie Murów Autorzy zaproponowali lokalizację małej elektrowni wodnej. Planowany do odtworzenia jaz zlokalizowany jest w odległości około 1,7 km powyżej wodowskazu Krzywa Góra. Na rysunkach 2-3 przedstawiono zdjęcia omawianej lokalizacji MEW na rzece Budkowiczanka w miejscowości Okoły-Kupi Las.

Obecnie na rzece Budkowiczance, w km 24,100 jej biegu, w przekroju Murów, zlokalizowana jest mała elektrownia wodna o mocy 0,0155 MW (Pozwolenie wodnoprawne 2017). Woś (1999) teren analizowanej zlewni zaklasyfikował do Regionu Dolnośląskiego Południowego (XXV).

Średni roczny opad z wielolecia 1981–2015 wynosi 589 mm (stacja Opole zlokalizowana jest około 18 km od analizowanej zlewni).

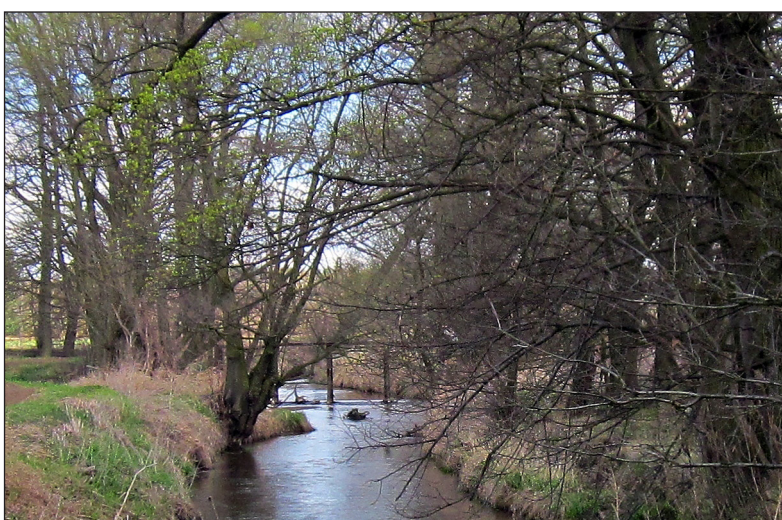
METODYKA BADAŃ

Warunki hydrologiczne rzeki Budkowiczanka

Przeanalizowano warunki hydrologiczne rzeki Budkowiczanki dla profilu wodowskazowego Krzywa Góra, zlokalizowanego w 18,430 km rzeki Budkowiczanki. Poziom zera wodowskazu – 152,45 m nad Kr [Rocznik hydrologiczny 1980]. Powierzchnia zlewni rzeki Budkowiczanki do analizowanego przekroju wynosi $A = 232 \text{ km}^2$. Na potrzeby hydrotechniki, dla rzeki Budkowiczanka, w przekroju wodowskazowym Krzywa



Rys. 2. Widok na nieczynny jaz i nieckę wypadową od wody dolnej (Fot. Ł. Gruss)
Fig. 2. A view on the closed weir and a stilling basin from the downstream (Photo: Ł. Gruss)



Rys. 3. Widok na nieczynny jaz od wody górnej. (Fot. Ł. Gruss)
Fig. 3. A view on the closed weir from the upstream. (Photo: Ł. Gruss)

Góra, wyznaczono stany i przepływy charakterystyczne obejmujące okres 1981–2015.

Dla poszczególnych rocznych sum opadów z wielolecia 1981–2015 dla stacji Opole wyznaczono wskaźnik względnego opadu. Na podstawie tego wskaźnika i klasyfikacji warunków wilgotnościowych podanych przez Zofię Kaczorowską [Gąsiorek i Musiał 2011] wyznaczono lata bardzo suche i skrajnie suche. Powodem wyboru tylko tych lat przez Autorów była analiza najmniej korzystnych warunków eksploatacji elektrowni.

Wyznaczono przepływ nienaruszalny stosując wzór [Byczkowski 1999, Ozga-Zielińska i Brzeziński 1994]:

$$Q_n = k \cdot SNQ \text{ [m}^3 \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$$

gdzie: k [-] – parametr, przyjęto dla małych rzek nizinnych $k = 1$.

Przepływ nienaruszalny został wyznaczony w celu dalszego określenia przepływu instalowanego w elektrowni.

Dodatkowo autorzy wyznaczyli miary odpływu ze zlewni w analizowanym przekroju obliczając objętość odpływu i spływu jednostkowego, wysokość warstwy odpływu, współczynnik odpływu [Byczkowski 1999], w celu dokonania analizy porównawczej w wybranych latach.

Jeżeli objętość odpływu rozpatruje się w oderwaniu od powierzchni zlewni, a odnosi się ją tylko do przekroju poprzecznego cieku lub przewodu, to można mówić o objętości przepływu. Objętość odpływu V obliczono z zależności:

$$V = 86\,400 \cdot Q_{sr} \cdot d \text{ [m}^3\text{]}$$

gdzie: 86 400 – liczba sek. w ciągu doby,
 Q_{sr} — przepływ średni w danym okresie, przyjęto SQ z danego roku [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],
 d — liczba dni w roku.

Wskaźnik odpływu jest to wysokość w mm warstwy wody odpływającej w określonym czasie z rozpatrywanej zlewni – 232 km^2 . Miarę tę określono jako iloraz objętości odpływu z rozpatrywanej zlewni V [m^3] oraz powierzchni zlewni A [km^2]:

$$H = 10^{-3} \cdot \frac{V}{A} \text{ [mm]}$$

gdzie: V – objętość odpływu (odpływ) – ilość wody, jaka odpływa z określonego obszaru w pewnym czasie.

Współczynnik odpływu, który jest stosunkiem ilości wody odpływającej z obszaru zlewni

w rozpatrywanym okresie do ilości wody, jaka w postaci opadów atmosferycznych spadła na obszar zlewni w tym samym czasie, obliczono ze wzoru:

$$c = \frac{H}{P} \cdot 100\% \text{ [%]}$$

gdzie: P – wysokość warstwy opadu, przyjęto 589 mm z wielolecia 1981–2015.

H – wysokość warstwy odpływu, tzw. wskaźnik odpływu.

Analiza mocy energii dla proponowanej lokalizacji mew na rzece Budkowiczance

Moc teoretyczną elektrowni P_s [kW] dla wybranych przepływów występujących w rzece, jak i ustalonego spadku użytecznego określono ze wzoru [Mishra i in. 2011, Kasperek i Wiatkowski 2014]:

$$P_s = 9,81 \sum \eta H_u Q_i \text{ [kW]}$$

gdzie: H_u – ustalony spadek użyteczny, m; przyjęto $H_u = 1,25$ m

Q_i – wybrany przepływ instalowany elektrowni, $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; przyjęto SSQ i NTQ
 η – iloczyn sprawności poszczególnych urządzeń, tj. turbiny η_t , przekładni η_g , prądnic i transformatora blokowego η_{tr} .

Wartości poszczególnych sprawności wynoszą: $\eta_t = 0,88\text{--}0,93$; $\eta_g = 0,95\text{--}0,98$ i $\eta_{tr} = 0,97\text{--}0,995$. W efekcie iloczyn ww. sprawności wynosi 0,84–0,90.

Iloczyn sprawności poszczególnych elementów hydrozespołu (turbozespołu) tj. sprawności turbin, sprawności przekładni mechanicznych i sprawności prądnic (generatora) oraz sprawności urządzeń energetycznych i układu doprowadzającego wodę przyjęto na poziomie 0,90.

Ichtiofauna

Badania ichtiofauny w wodach rzeki Budkowiczanka były prowadzone w latach 2013 i 2014 przez Opolski Okręg Polskiego Związku Wędkarskiego. Dotyczyły one prac oceniających różnorodność biologiczną i stan ichtiofauny na wodach użytkowanych przez Okręg. Dane zostały zaczerpnięte z pracy [Hilwa i in. 2014].

Jakość wód

Jakość wód w odniesieniu do parametrów biologicznych, hydromorfologicznych i fizyko-

chemicznych została oceniona na podstawie wyników badań przeprowadzonych w latach 2012 i 2015 przez Wydział Monitoringu Środowiska Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Opolu [Wyniki badań 2013, 2016].

Klasyfikacja została przeprowadzona w oparciu o obowiązujące Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 21 lipca 2016 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych [Rozporządzenie 2016]. Podstawą do oceny stanu/potencjału ekologicznego były elementy biologiczne, natomiast elementy hydromorfologiczne i fizykochemiczne pełniły funkcję wspomagającą w odniesieniu do informacji o jakości wód powierzchniowych.

Sprawdzono, jaki typ cieków obowiązuje w charakteryzowanej jednolitej części wód według Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 9 listopada 2011 r. w sprawie klasyfikacji stanu ekologicznego, potencjału ekologicznego i stanu chemicznego jednolitych części wód powierzchniowych [Rozporządzenie 2011].

Analizowany punkt pomiarowo-kontrolny znajduje się w km 2,1 Budkowiczanki w miejscowości Stare Kolnie. Jest to jednolita część wód powierzchniowych „Budkowiczanka od Wiszni do Stobrawy”.

WYNIKI

Na potrzeby hydrotechniki, dla rzeki Budkowiczanki, w przekroju wodowskazowym Krzywa Góra, wyznaczono stany i przepływy charakterystyczne (tab. 1) oraz roczne sumy opadu obejmujące okres 1981–2015.

Na rysunku 4 przedstawiono przepływy główne I stopnia dla analizowanego wielolecia na tle opadów atmosferycznych. Największy przepływ wyniósł WWQ = 15 m³·s⁻¹

(10.07.1997 r.) a najniższy NNQ = 0,08 m³·s⁻¹ (11.08.2015 r.). Najwyższa wartość rocznej sumy opadu w analizowanym wieloleciu wystąpiła w 2010 r. i wyniosła 868 mm a najniższa wystąpiła w 2015 r. (358 mm).

Dalsze analizy prowadzono w oparciu o parametry hydrologiczne wyznaczone dla lat suchych i bardzo suchych. Przeprowadzone analizy wykazały, że lata skrajnie suche nie wystąpiły. Do lat suchych zaliczono lata: 1982, 1983, 1990, 1993, 2006, 2008, 2011, 2012 natomiast do lat bardzo suchych lata: 1989, 2015. Dla tych lat wyznaczono przepływ najdłużej trwający (NTQ) i przepływ średni (SQ). NTQ wyznaczono na podstawie skonstruowanego wykresu częstości przepływów wody. Przykładowe wykresy dla dwóch lat pokazano na rysunku 5.

Wartości NTQ i SQ dla wybranych lat suchych i bardzo suchych przedstawiono w tabeli 2. Największa wartość NTQ wyniosła 1,10 dla roku 1982, a najniższa wartość NTQ wyniosła 0,10 w roku 2008. Spośród analizowanych lat najdłuższy czas trwania NTQ wyniósł 270 dni (tab. 2) i wystąpił w roku 2006, a najniższy wyniósł 104 dni i

Tabela 2. Wartości NTQ i SQ dla wybranych lat suchych i bardzo suchych

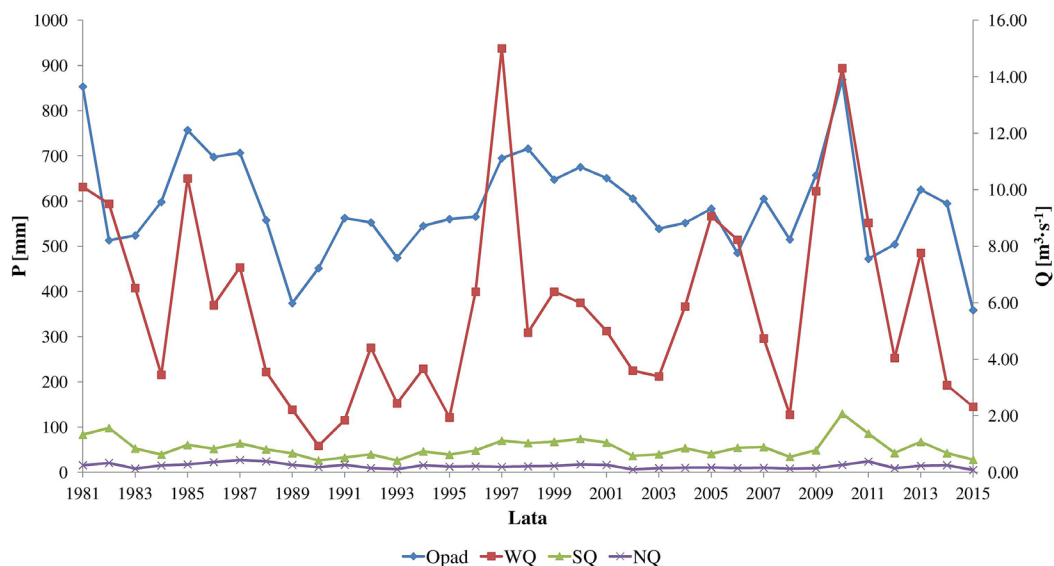
Table 2. NTQ and SQ values for selected dry and very dry years

| L.p. | Lata | NTQ | Czas trwania NTQ | SQ |
|------|------|---------------------------------|------------------|---------------------------------|
| | | m ³ ·s ⁻¹ | dni | m ³ ·s ⁻¹ |
| 1 | 1982 | 1,10 | 180 | 1,56 |
| 2 | 1983 | 0,43 | 203 | 0,84 |
| 3 | 1989 | 0,45 | 104 | 0,67 |
| 4 | 1990 | 0,45 | 127 | 0,42 |
| 5 | 1993 | 0,30 | 198 | 0,41 |
| 6 | 2006 | 0,56 | 270 | 0,87 |
| 7 | 2008 | 0,10 | 146 | 0,55 |
| 8 | 2011 | 0,82 | 209 | 1,37 |
| 9 | 2012 | 0,24 | 198 | 0,68 |
| 10 | 2015 | 0,20 | 186 | 0,45 |

Tabela 1. Stan wody i przepływy charakterystyczne rzeki Budkowiczanki, profil Krzywa Góra, wielolecie 1981–2015

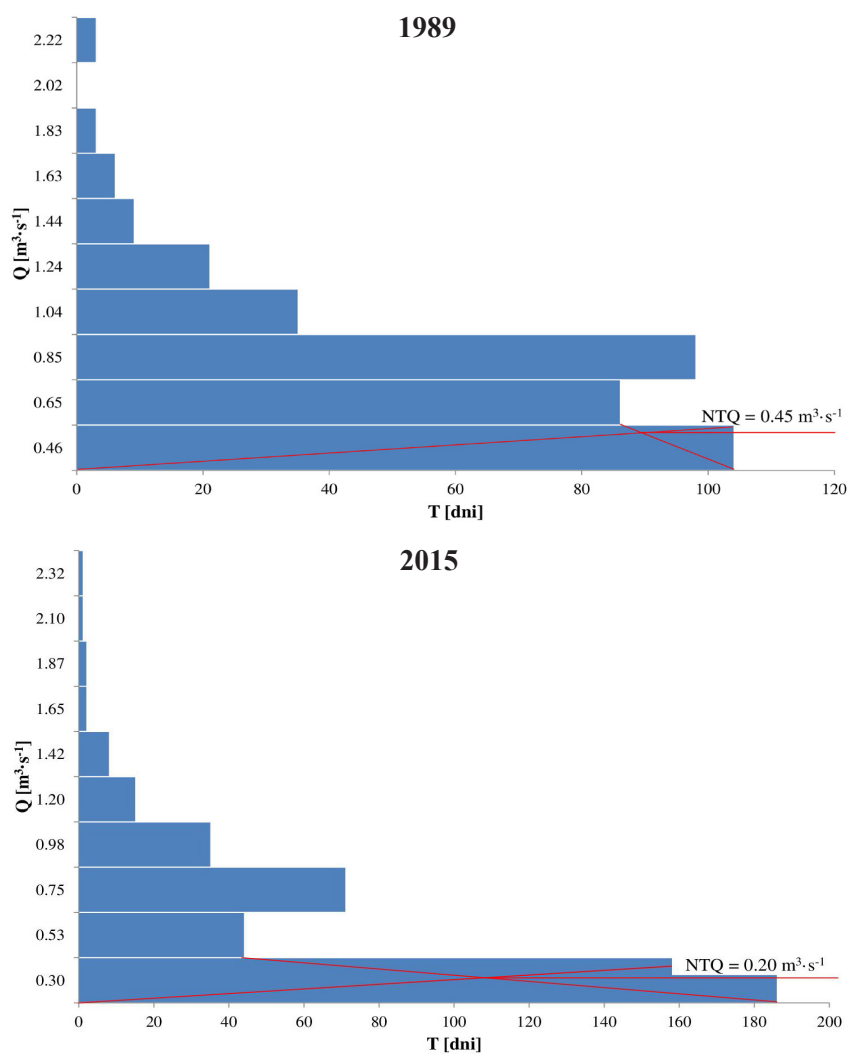
Table 1. Stages and discharges of the Budkowiczanka River, profile Krzywa Góra, from the multi-year period of 1981–2015

| Stany H [cm] | | | | |
|--|------|------|------|------|
| WWW | SSW | NNW | SWW | SNW |
| 300 | 110 | 26 | 219 | 72 |
| Przepływy Q [m ³ ·s ⁻¹] | | | | |
| WWQ | SSQ | NNQ | SWQ | SNQ |
| 15,00 | 0,87 | 0,08 | 5,86 | 0,22 |



Rys. 4. Zmienność przepływów wód rzeki Budkowiczanki, w profilu Krzywa Góra na tle opadów atmosferycznych w okresie 1981–2015

Fig. 4. Variability of the discharges of the Budkowiczanka River, in the Krzywa Góra profile, in relation to the background of precipitation from the period of 1981–2015



Rys. 5. Wykres częstości przepływów wody dla lat bardzo suchych (1989, 2015)

Fig. 5. Frequency diagram of water discharges for very dry years (1989, 2015)

Tabela 3. Miary odpływu ze zlewni w analizowanym przekroju rzeki Budkowiczanki
Table 3. Measures of outflow from the catchment in the analyzed cross-section of the Budkowiczanka River

| L.p. | Lata | SQ | V | H | P | c |
|------|---------------|---------------------------------|--------------------|-------|-------|------|
| | | m ³ ·s ⁻¹ | mln m ³ | mm | mm | % |
| 1 | 1982 | 1,56 | 49,2 | 212 | 513,1 | 41,3 |
| 2 | 1983 | 0,84 | 26,5 | 114 | 523,6 | 21,8 |
| 3 | 1989 | 0,67 | 21 129 120 | 91 | 374 | 24,4 |
| 4 | 1990 | 0,42 | 13,2 | 57 | 451,3 | 12,7 |
| 5 | 1993 | 0,41 | 13,0 | 56 | 474,5 | 11,7 |
| 6 | 2006 | 0,87 | 27,4 | 118 | 484,8 | 24,4 |
| 7 | 2008 | 0,55 | 17,4 | 75 | 514,8 | 14,6 |
| 8 | 2011 | 1,37 | 43,2 | 186 | 472,2 | 39,4 |
| 9 | 2012 | 0,68 | 21,5 | 93 | 504 | 18,4 |
| 10 | 2015 | 0,45 | 14 191 200 | 61 | 358,4 | 17,1 |
| 11 | SSQ 1981–2015 | 0,87 | 27 436 320 | 118,0 | 589 | 20,0 |

wystąpił w roku 1989 (rys. 5). Najwyższą wartość SQ wyznaczono dla roku 1982 (SQ = 1,56 m³·s⁻¹), a najniższą dla roku 2015 (SQ = 1993 m³·s⁻¹).

Przepływ nienaruszalny wyniósł Q_n = 0,22 m³·s⁻¹. Ilość dni w wieloleciu 1981-2015, podczas, których przepływ był niższy niż Q_n wyniosła 971 dni.

W analizowanych latach najwyższe wartości miar odpływu ze zlewni zanotowano w roku 1982. Wówczas c wyniósł 41,3%, H = 212 mm, V = 49,2 mln m³. Natomiast najniższe wartości zanotowano w roku 1993 (c = 11,7%, H = 56 mm, V = 13,0 mln m³) (tab. 3).

Średni odpływ jednostkowy zasobów wodnych rzeki Budkowiczanki w analizowanym okresie wyniósł 3,74 dm³·s⁻¹·km⁻¹.

Tabela 4. Moc teoretyczna elektrowni P_s [kW] wyznaczona w oparciu o wartość SQ

Table 4. The mechanical power P_s [kW] of the plant based on the SQ value

| L.p. | Lata | Q _i =SQ-Q _n | P _s |
|------|------|-----------------------------------|----------------|
| | | m ³ ·s ⁻¹ | [kW] |
| 1 | 1982 | 1.56 | 14.20 |
| 2 | 1983 | 0.84 | 6.57 |
| 3 | 1989 | 0.67 | 4.77 |
| 4 | 1990 | 0.42 | 2.12 |
| 5 | 1993 | 0.41 | 2.01 |
| 6 | 2006 | 0.87 | 6.89 |
| 7 | 2008 | 0.55 | 3.50 |
| 8 | 2011 | 1.37 | 12.18 |
| 9 | 2012 | 0.68 | 4.87 |
| 10 | 2015 | 0.45 | 2.44 |

Dalsze analizy parametrów MEW przeprowadzono w oparciu o spad użyteczny H_u=1,20 m, który przyjęto po weryfikacji w terenie. Spośród analizowanych lat suchych i bardzo suchych, w oparciu o przepływ instalowany Q_i przyjęty jako przepływ średni (SQ) pomniejszony o przepływ biologiczny (Q_n), największą moc teoretyczną elektrownia uzyskałaby w roku 1982 (14,20 kW), a najniższą w roku 1993 (2,01 kW) (tab. 4).

Natomiast w oparciu o przepływ instalowany przyjęty jako NTQ, pomniejszony o przepływ biologiczny (Q_n), największą moc teoretyczną elektrownia uzyskałaby w roku 1982 (9,32 kW). W latach 2008 i 2015 nie osiągnęła by mocy teoretycznej (tab. 5).

Tabela 5. Moc teoretyczna elektrowni P_s [kW] wyznaczona w oparciu o wartość NTQ

Table 5. The mechanical power P_s [kW] of the plant based on the NTQ value

| L.p. | Lata | Q _i =NTQ-Q _n | P _s |
|------|-----------------|------------------------------------|----------------|
| | | m ³ ·s ⁻¹ | kW |
| 1 | 1982 | 0.88 | 9.32 |
| 2 | 1983 | 0.21 | 2.22 |
| 3 | 1989 | 0.23 | 2.44 |
| 4 | 1990 | 0.23 | 2.44 |
| 5 | 1993 | 0.08 | 0.85 |
| 6 | 2006 | 0.34 | 3.60 |
| 7 | 2008 | 0 | 0 |
| 8 | 2011 | 0.60 | 6.36 |
| 9 | 2012 | 0.02 | 0.21 |
| 10 | 2015 | 0 | 0 |
| 11 | SSQ (1981-2015) | 0.65 | 6.89 |

Z uwagi na lokalizację MEW na terenie parku krajobrazowego oraz warunki hydrologiczne panujące w rzece autorzy proponują małą elektrownię wodną ze śrubą Archimedesa. Przyjęty typ turbiny pozwala na dużo wyższą sprawność przy założonym do analizy spadzie i wyznaczonych przepływach wody niż inne typy turbin [Wiatkowski i inni 2013]. W ramach inwestycji należałoby wykonać odbudowę jazu kłapowego, budowę małej elektrowni wodnej, roboty elektryczne oraz prace regulacyjne koryta rzeki Budkowiczanki.

Ichtiofauna

W wyniku analiz monitoringowych w badanym cieku stwierdzono występowanie ośmiu gatunków ryb (lin, ciernik, koza, minóg strumieniowy, okoń, pstrąg potokowy, śliz i kiełb) z siedmiu rodzin (przy złowionej liczbie osobników 614). Wszystkie gatunki, poza linem, są charakterystyczne dla ekosystemów rzecznych, zaś trzy spośród nich (koza, śliz i minóg strumieniowy) objęte są ochroną gatunkową. W polowach kontrolnych nie stwierdzono gatunków obcych. Różnorodność biologiczną ichtiofauny w cieku oceniono jako względnie dużą, zaś wody rzeki Budkowiczanki jako czyste [Hilwa i in. 2014].

Jakość wód

Jednolita Część Wód Powierzchniowych jest ciekim o typie 19, tj. rzeką nizinną piaszczysto-glinianą. Oznacza to, że ciek nie jest zatorfiony, a jego szerokość jest niższa niż 30 metrów.

Dla analizowanych lat (2012 i 2015) klasa elementów fizykochemicznych zaliczona została jako poniżej potencjału dobrego (PPD) – przekroczenia wartości granicznych nastąpiły we wszystkich latach w stężeniach azotu azotynowego (przyczyną takiego stanu są najczęściej spływy nawozów z terenów rolniczych), w roku 2012 – ogólnego węgla organicznego, a także w stężeniach tlenu rozpuszczonego, BZT₅ i azotu Kjeldahla (rok 2015).

Klasa elementów hydromorfologicznych jest dobra (II) ze względu na silne przekształcenie analizowanej jednolitej części wód powierzchniowych (m.in. przez funkcjonowanie elektrowni wodnej w miejscowości Murów, ale też utworzony w wyniku piętrzeń kompleks stawów między Kamieńcem a Szumiradem) i nie uległa

ona zmianie na przestrzeni lat. II klasa stanu hydromorfologicznego na potrzeby monitoringu oznacza, że w ujęciu obowiązującej metody Hydromorfologicznego Indeksu Rzecznego (HIR), Wskaźnik Różnorodności Hydromorfologicznej (WRH) jest niższy niż Wskaźnik Przekształcenia Hydromorfologii (WPH). Taka sytuacja występuje, kiedy sumaryczny stopień przekształceń antropogenicznych cieku i doliny rzecznej jest wyższy niż stopień różnorodności naturalnych elementów hydromorfologicznych cieku (koryto i strefa przybrzeżna) oraz doliny rzecznej.

Elementy biologiczne, które odgrywają decydującą rolę przy ocenie potencjału ekologicznego oraz samej JCWP, w latach badań zostały ocenione jako II klasa, to jest dobra. Fitobentos, oceniany na podstawie Indeksu Okrzemkowego zaliczony został do I klasy, natomiast makrofity – na podstawie Makrofitowego Indeksu Rzecznego – do II klasy. Oznacza to, zgodnie z wyżej opisanymi elementami świata ożywionego, że charakteryzowany ciek w badanym punkcie pomiarowo-kontrolnym charakteryzuje się dużą różnorodnością biologiczną.

Jednakże w ocenie łącznej, to jest biorąc pod uwagę klasę wyżej opisanych elementów: biologicznych, hydromorfologicznych i fizykochemicznych, potencjał ekologiczny (jako że jest to silnie zmieniona JCWP) jest jedynie umiarkowany, a tym samym stan jednolitej części wód – zły. Oznacza to, że w celu poprawy stanu JCWP należałoby podjąć pewne działania naprawcze (zwłaszcza w odniesieniu do elementów fizykochemicznych o stężeniach charakterystycznych dla klas niższych od dobrej), które ustala zarządca cieku.

PODSUMOWANIE

Z przeprowadzonych badań terenowych na rzece Budkowiczanka wynika, że istnieje możliwość lokalizacji MEW przy projektowanym piętrzeniu 1,20 m umożliwiające budowę MEW. Obliczenia mocy elektrowni wodnej dla proponowanej lokalizacji wskazują na to, że dla najmniej korzystnych lat suchych i bardzo suchych są one rzędu odpowiednio 2,01–14,20 kW (wyznaczone w oparciu o SQ), 0,21–9,32 kW (wyznaczone w oparciu o NTQ), 6,89 kW (wyznaczone w oparciu o SSQ z wielolecia 1981–2015).

W badanym cieku stwierdzono występowanie ośmiu gatunków ryb. Pod względem elementów:

biologicznych, hydromorfologicznych i fizykochemicznych z lat 2012 i 2015, potencjał ekologiczny JCWP jest jedynie umiarkowany, a tym samym stan jednolitej części wód – zły.

Podziękowania

Podziękowania dla Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy za udostępnienie stanów i przepływów wód rzeki Budkowiczanka w profilu Krzywa Góra z okresu 1981–2015 oraz sum dobowych opadów dla stacji Opole z okresu 1981–2015. Źródłem pochodzenia danych jest Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy. Dane Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego zostały przetworzone.

Podziękowania dla Państwowego Gospodarstwa Wodnego Wody Polskie Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej we Wrocławiu za udostępnienie mocy elektrowni wodnej Murów na rzece Budkowiczanka.

Podziękowania dla Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie umożliwienie opublikowania artykułu.

BIBLIOGRAFIA

1. Bartnik W., Majewski W., Lapuszek M., Ratomski J. 2007. Ocena równowagi hydrodynamicznej Dolnego Dunajca w warunkach pracy elektrowni wodnych. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 4(1), 21–37.
2. Bondar-Nowakowska E. 2000. Oddziaływanie robót konserwacyjnych na florę i faunę wybranych cieków nizinnych. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu*. Rozprawy nr 173(391).
3. Bondar-Nowakowska E. 2013. Roboty regulacyjne i konserwacyjne na ciekach jako czynnik kształtujący zbiorniki roślin wodnych. W: *Retencja wodna na obszarach wiejskich – wybrane zagadnienia*. Monografia pod red. Mirosława Wiatkowskiego, Wydawnictwo Uniwersytet Opolski, Opole, 203–218.
4. Byczkowski A. 1999. *Hydrologia*. Warszawa. Wydaw. SGGW.
5. Gąsiorek E., Musiał E. 2011. Porównanie i klasyfikacja warunków opadowych na podstawie wskaźnika standaryzowanego opadu i wskaźnika względnego opadu. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 11 (4), 107–119.
6. Hachoł J., Bondar-Nowakowska E. 2010. Aspekty przyrodnicze w ochronie przeciwpowodziowej na terenach wiejskich na przykładzie cieków Dobra i Śleza. W: *Zarządzanie kryzysowe - ograniczanie skutków zjawisk ekstremalnych*, W. Czamara, M. Wiatkowski (red.), Uniwersytet Opolski, Opole, 147–154.
7. Hilwa P., Król J., Gomułka P., Kozłowski K., Stańczak K., Ziomek E. 2014. Ocena bioróżnorodności ichtiofauny wód Opolszczyzny oraz uwarunkowania racjonalnej gospodarki rybacko-wędkarskiej. Raport z badań monitoringowych w sezonie 2013/2014, Olsztyn.
8. Hoffmann M. 1992. *Małe elektrownie wodne - poradnik*. Wyd. II popr. Gdańsk. Towarzystwo Rozwoju Małych Elektrowni Wodnych.
9. Kasperk R., Wiatkowski M. 2014. Hydropower generation on the Nysa Klodzka river. *Ecol Chem Eng S*. 21(2), 327–336, doi: 10.2478/eces-2014-0025.
10. Kowalewski Z. 2005. Wykorzystanie energii wodnej jako elementu rozwoju energetyki odnawialnej. *Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie*, Nr 2, 87–91.
11. Mishra S., Singal S.K., Khatod D.K. 2011. Optimal installation of small hydropower plant – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 3862–3869.
12. Ozga-Zielińska M., Brzeziński J. 1994. *Hydrologia stosowana*. PWN Warszawa.
13. *Polityka Energetyczna Polski do 2030 r.* 2009. Ministerstwo Gospodarki 2009. Dokument przyjęty przez Radę Ministrów 10 listopada 2009 r. [online]. Warszawa. [Dostęp 10.09.2018]. https://www.gov.pl/documents/33372/436746/DE_Polityka_energetyczna_ost_2030.pdf/78b689ec-62ec-af88-b0d7-decf95abdb70.
14. *Rocznik Hydrologiczny Wód Powierzchniowych Dorzecze Odry i rzeki Przymorza między Odrą i Wisłą*. 1980. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa.
15. *Pozwolenie wodnoprawne dla elektrowni wodnej Murów na rzece Budkowiczanka, województwo opolskie 2017*.
16. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 21 lipca 2016 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych [Dz.U. 2016 poz. 1187].
17. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 listopada 2011 r. w sprawie klasyfikacji stanu ekologicznego, potencjału ekologicznego i stanu chemicznego jednolitych części wód powierzchniowych – załącznik nr 6 [Dz.U. 2011 nr 258 poz. 1549].
18. *Urząd Marszałkowski Województwa Opolskiego. Departament Rolnictwa i Rozwoju Wsi 2009. Vademecum inwestora energetycznego w województwie opolskim* [online]. Opole. [Dostęp 10.09.2018], <http://opolskie.ksow.pl/fileadmin/>

- user_upload/opolskie/pliki/Vademecum-opolskie-221209-5.pdf.
19. Wiatkowski M., Rosik-Dulewska Cz. 2012. Stan obecny i możliwości rozwoju energetyki wodnej w województwie opolskim. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 12 (2), 313-327.
 20. Wiatkowski M., Ciesielczuk T., Sitko J. 2013. Energia wody. W: *Odnawialne źródła energii w województwie opolskim – aspekt techniczny, ekonomiczny i przyrodniczy*, J. Sitko, K. Szwedziak, M. Wiatkowski, Wyd. OODR Łosiów, 89-111.
 21. Wiatkowski M., Rosik-Dulewska Cz., Tomczyk P. 2016. Hydropower structures in the Natura 2000 site on the river Radew: an analysis in the context of sustainable water management. *Annual Set The Environment Protection/Rocznik Ochrona Środowiska*, 19, 65-80.
 22. Wiatkowski M., Gruss Ł. 2017. Hydrological and hydraulic analysis of a small lowland watercourse flow capacity and its functioning in the region of Silesian Lowlands in the context of rainfall water management. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW. Land Reclamation*, 49 (3), 153–166. DOI: 10.1515/sggw-2017-0013.
 23. Woś A. 1999. *Klimat Polski*. PWN Warszawa.
 24. Wyniki badań wód w punktach pomiarowo-kontrolnych w województwie opolskim w 2012 roku. 2013. Wydział Monitoringu, WIOŚ Opole.
 25. Wyniki badań wód powierzchniowych w punktach pomiarowo-kontrolnych w województwie opolskim w 2015 roku. 2016. Wydział Monitoringu WIOŚ Opole.