

ŚRODOWISKO

CZASOPISMO TECHNICZNE  
TECHNICAL TRANSACTIONS

ENVIRONMENTAL ENGINEERING

WYDAWNICTWO

POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

2-Ś/2012

ZESZYT 23

ROK 109

ISSUE 23

YEAR 109

ZBIGNIEW ŚLUSARCZYK, ANNA CZAPLICKA-KOTAS\*

WPŁYW POWODZI W ROKU 2010 NA JAKOŚĆ WÓD  
ZBIORNIKA GOCZAŁKOWICETHE IMPACT OF FLOOD IN 2010 ON THE WATER  
QUALITY OF THE GOCZAŁKOWICE RESERVOIR

## Streszczenie

Badano wpływ trzech fal powodziowych w maju, czerwcu i wrześniu 2010 r. na jakość wód Zbiornika Goczałkowice. Dla każdej próbki oznaczano poziom 22 wskaźników jakości wód. Większość wskaźników było mierzonych w ciągu roku 42–48 razy. Uzyskane dane poddano analizie statystycznej. Wykazano, że analiza skupień unormowanych wskaźników jakości wód umożliwia wyodrębnienie wyraźnie rozdzielonych grup pomiarów z okresu powodzi i okresów poza nią. Przebadano oddzielnie zróżnicowanie rozkładów wskaźników jakości wód i dokonano ich porównania w okresach: w czasie powodzi i w okresach bez powodzi w 2010 r., w czasie powodzi w latach 2010 i 1997, jak również w czasie powodzi i w wieloletniu 1994–2009. Wykazano, że powódź charakterystycznie wpływa na rozkład wartości wskaźników jakości wód – bez względu na porę roku, a także upływ czasu.

*Słowa kluczowe:* Zbiornik Goczałkowice, powódź, bakteriologiczne wskaźniki jakości wód, fizykochemiczne wskaźniki jakości wód

## Abstract

The influence of three waves of the flood in May, June and September 2010 on the water quality in the Goczałkowice reservoir has been studied. For each sample, levels of 22 indicators of water quality were determined. Most amongst all indicators were measured 42–48 times per year. The data were statistically analyzed. It has been shown that cluster analysis of standardized indicators of water quality may be used to distinguish clearly separated groups of measurements from the period of floods and periods beyond. Distribution diversities in the water quality indicators were tested separately, and were compared including the following periods: during and beyond floods in 2010, during the floods in 2010 and 1997, as well as during the floods, and month-corresponding multi-year period 1994–2009. It has been shown that flood characteristically affects the distribution of the indicators of water quality – regardless of season, and also the passage of time.

*Keywords:* Goczałkowice Reservoir, flood, bacteriological water quality indicators, physicochemical water quality indicators

\* Dr Zbigniew Ślusarczyk, dr inż. Anna Czaplicka-Kotas, Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Krakowska.

## 1. Wstęp

Meteorologiczną przyczyną powodzi w maju 2010 r. był wyż azorski, który kształtował pogodę w zachodniej części kontynentu europejskiego oraz wyż z centrum nad Rosją, który obejmował północno-wschodni i wschodni obszar kontynentu. Pomiędzy tymi wyżami przemieszczały się niż z rejonu Morza Śródziemnego nad Skandynawię. Za wystąpienie silnych opadów deszczu na terytorium Polski, na przełomie maja i czerwca 2010 r., odpowiadały dwa ośrodki rozległego i rozbudowanego pionowo układu niżowego. Z jednym z nich były związane opady deszczu zarówno jednostajne, jak i konwekcyjne. Drugi ośrodek sprowadził nad Polskę masę ciepłego i wilgotnego powietrza, co dało początek bardzo silnym opadom konwekcyjnym [15]. Największe opady zanotowano na obszarach Pogórza Śląskiego oraz Beskidu Śląskiego i Beskidu Małego. W niektórych częściach tych regionów opady stanowiły około 500% średniej sumy opadów dla maja z lat 1971–2000 [1].

Sytuację hydrologiczną w dorzeczu Wisły w maju, przed wystąpieniem wysokich opadów deszczu, charakteryzował wysoki stan wód powierzchniowych oraz gruntowych, a także niewielka retencja gruntowa. Czynniki te mogły być przyczyną wystąpienia wezbrania, nawet przy znacznie mniejszych opadach deszczu.

W dniach od 16 do 18 maja intensywne opady deszczu dały początek gwałtownym wzrostom stanów wody w dopływach Wisły, co spowodowało wystąpienie fali powodziowej na Wiśle [13]. Zbiorniki retencyjne usytuowane w zlewni Wisły w znacznym stopniu zredukowały falę powodziową. Zbiornik Goczałkowice przy kulminacji dopływu w dniu 17 maja 2010 r. o wartości 544 m<sup>3</sup>/s zredukował przepływ o 319 m<sup>3</sup>/s, co stanowiło 58,64% objętości fali powodziowej wejściowej. Następną falę powodziową dotarła do zbiornika 2 czerwca. Dopływ kulminacyjny wynosił 200 m<sup>3</sup>/s, a zbiornik zredukował go o 140 m<sup>3</sup>/s, co stanowi 70% objętości fali powodziowej wejściowej [14]. W pierwszym dniu września do zbiornika dopłynęła kolejna fala powodziowa. Była to zarazem ostatnia i najmniejsza fala powodziowa jaką zaobserwowano w zbiorniku w 2010 r.

Celem niniejszego artykułu jest przeanalizowanie wskaźników jakości wód w Zbiorniku Goczałkowice podczas kolejnych fal powodziowych w 2010 r. oraz porównanie wskaźników jakości wód w okresach powodzi i bez powodzi. Dodatkowym celem jest porównanie wyników pomiarów wykonywanych w trakcie powodzi w 2010 r. z okresem wielolecia 1994–2009 oraz z okresem powodzi w 1997 r.

## 2. Materiały i metody

Próbki wody pobierano w miejscu ujęcia wody pitnej dla Stacji Uzdatniania Wody z głębokości 6 m, w okresie od początku stycznia do końca grudnia 2010 roku. Próbki pobrano zgodnie z wytycznymi zawartymi w normach PN-ISO 5667-5: 2003 (Wytyczne dotyczące pobierania próbek wody do picia i wody używanej do produkcji żywności i napojów) oraz PN-EN ISO 19458: 2007 (Pobieranie próbek do badań mikrobiologicznych). Oznaczenia wskaźników jakości wód wykonano w Górnośląskim Przedsiębiorstwie Wodociągów zgodnie z zasadami zawartymi w normach zamieszczonych w tabeli 1.

W celu porównania wyników pomiarów wykonywanych w trakcie powodzi w 2010 r. wykorzystano wyniki pomiarów wskaźników jakości wody z lat 1994–2009 z tego samego punktu pomiarowego.

Tabela 1

**Metody badań poszczególnych wskaźników jakości wód**

Wskaźnik zanieczyszczenia	Metoda badań
Azot amonowy	PN-C-40576-4: 1994
Azot azotanowy	PN-82/C-40576/08
Azot azotynowy	PN-EN 26777: 1999
Barwa	PN-EN ISO 7887: 2002
CO <sub>2</sub> agresywny	PN-74/C-04547/03
CO <sub>2</sub> wolny	PN-74/C-04547/01
Glin	PN-92/C-04605/02
Liczba mikroorganizmów po 48 h	PN-EN ISO 6222: 2004
Liczba mikroorganizmów po 72	PN-EN ISO 6222: 2004
Mangan	PN 92/C-04590/03
Miano <i>Coli</i>	PN-EN ISO 9308-1: 2004
Miano <i>E. Coli</i>	PN-EN ISO 9308-1: 2004
Mętność	PN-EN ISO 7027: 2003
OWO	PN-EN 1484: 1999
Odczyn	PN-90C-04540/01
Przenikalność	PN-84/C-04572
Przewodność	PN-EN 27888: 1999
Temperatura	PN-74/C-04584
Zasadowość ogólna	PN-EN ISO 9963-1:2001 + Ap1:2004
Żelazo ogólne	PN-73/C-04586/03

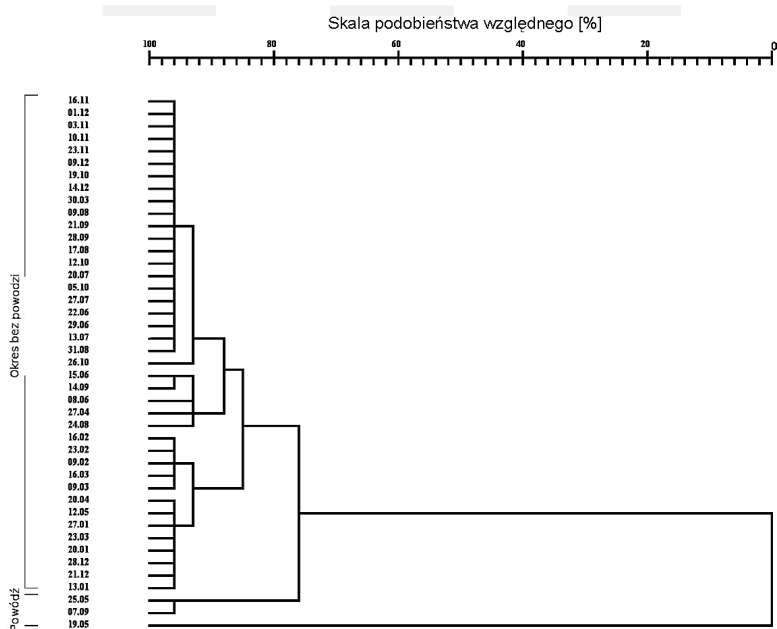
Ze względu na zróżnicowane rozkłady badanych wskaźników jakości wody do oceny istotności różnic pomiędzy rozkładami wartości pochodzących z porównywanych grup użyto nieparametrycznego testu U Manna-Whitney'a (dla wszystkich wskaźników jednakowo). Klasyfikację danych opisanych wektorami o składowych wypełnionych wartościami wybranych wskaźników jakości wody i identyfikowanych przez datę pomiaru wykonano z użyciem Hierarchicznej Analizy Skupień oraz Metody *k*-średnich (obliczenia własne i program Statistica v. 10).

### 3. Wyniki

W 2010 r. wykonano analizy fizykochemiczne i bakteriologiczne 22 wskaźników jakości wód, pobierając próbki wody z punktu pomiarowego położonego w obrębie Zbiornika Goczałkowice. Próbkę były pobierane nieregularnie w okresie całego roku. Do najczęściej badanych wskaźników (60 pomiarów) należały mętność, barwa, pH, a także temperatura wody. Należy zwrócić uwagę na fakt, że w okresie powodzi oprócz wymienionych wyżej mętności, barwy, pH i temperatury zdecydowanie częstsze pomiary dotyczyły wskaźników bakteriologicznych jakości wody. Najrzadziej oznaczane były fosfor ogólny i ortofosforany – odpowiednio 8 i 11 pomiarów. Wszystkie inne wskaźniki pomierzono od 42 do 48 razy.

Zbadano, czy powódź ma istotne znaczenie dla wielkości powyższych wskaźników jakości wód. Na początek zbadano, jak grupują się fizykochemiczne wskaźniki jakości wód w trakcie powodzi i w okresie poza powodzią. Do tego celu użyto testu  $k$ -średnich oraz hierarchicznej analizy skupień. Aby zapobiec dominacji wskaźników o dużych wartościach absolutnych, do testów użyto unormowanych wielkości. Z testu wyłączono fosfor ogólny oraz ortofosforany ze względu na małą liczebność pomiarów oraz fakt, że przeważnie mierzone były w dniach, w których inne pomiary nie były wykonywane.

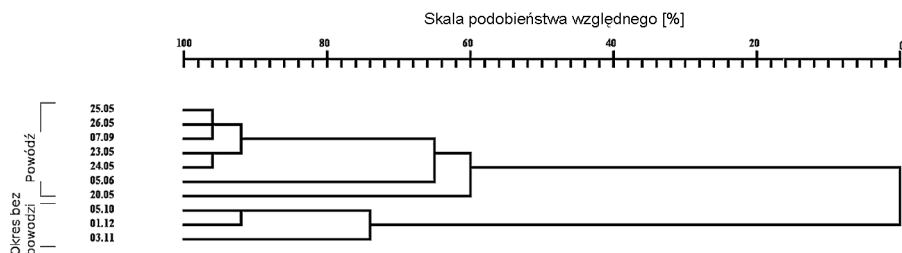
Test  $k$ -średnich wykazał, że wyniki pomiarów można podzielić na dwie grupy. Pierwszą grupę stanowią pomiary z dni 19.05.2010, 25.05.2010, 7.09.2010 (odpowiadające pierwszej i trzeciej fali powodziowej – należy nadmienić, że zestawy danych uwzględniających wskaźniki fizykochemiczne były niekompletne w trakcie drugiej fali powodziowej), a drugą – wszystkie pozostałe pomiary z 2010 r. Podobne wyniki uzyskano z wykorzystaniem hierarchicznej analizy skupień (rys. 1).



Rys. 1. Dendrogram podobieństw rozkładów unormowanych wartości wskaźników fizykochemicznych jakości wód Zbiornika Goczałkowice w roku 2010

Fig. 1. Similarity dendrogram of distribution of normalized physicochemical water quality indicators from Goczałkowice Reservoir in 2010

Następnie przeanalizowano w ten sam sposób grupę czterech wskaźników bakteriologicznych jakości wód, które w trakcie powodzi badane były z większą częstotliwością niż wskaźniki fizykochemiczne. Wszystkie pomiary z okresu 20.05–5.06.2010 oraz pomiar z 7.09.2010 (odpowiadające pierwszej, drugiej i trzeciej fali powodziowej) zaliczone zostały do wspólnej grupy metodą  $k$ -średnich. Ten sam rezultat uzyskano metodą hierarchicznej analizy skupień (rys. 2).



Rys. 2. Dendrogram podobieństw rozkładów unormowanych wartości wskaźników bakteriologicznych jakości wód Zbiornika Goczałkowice w roku 2010

Fig. 2. Similarity dendrogram of distribution of normalized bacteriological water quality indicators from Goczałkowice Reservoir in 2010

Zbadano także wybrane klasy wskaźników fizykochemicznych ze względu na wystąpienie lub nie wystąpienie powodzi. Dla klasy wskaźników fizycznych: barwa, mętność, pH, przenikalność dla fali UV 254 nm oraz przewodność podział na grupy otrzymany uprzednio dla wszystkich wskaźników nie uległ zmianie. Podobne wyniki uzyskano dla klasy złożonej z metali: manganu, żelaza i glinu. W przypadku zestawu wskaźników z klasy związków azotu i węgla, metodą *k*-średnich wyodrębniło się skupienie dla pomiarów z dnia 19.05.2010 (pierwszy pomiar w trakcie powodzi). Pomiary z pozostałych dni utworzyły drugie skupienie. Wynik ten potwierdziła hierarchiczna analiza skupień.

Zbadano ponadto, czy uśredniona wielkość każdego z analizowanych wskaźników jakości wody z osobna zależy od okresu braku powodzi lub powodzi. W tym celu użyto nieparametrycznego testu U Manna-Whitney'a rozstrzygającego, czy średnia wielkość wskaźnika pomierzonego w okresie bez powodzi jest równa średniej wielkości z okresu powodzi. Wyniki zostały przedstawione w tabeli 2. Okazało się, że 16 spośród 22 analizowanych wskaźników wykazuje istotne zróżnicowanie pomiędzy okresami powodzi i jej braku. W tabeli 2 umieszczono także informację o wartościach ekstremalnych badanych wskaźników jakości wody w 2010 r. Na początku powodzi (19.05 i 20.05) wystąpiło 9 wartości ekstremalnych rocznych dla 20 wskaźników jakości wody. Dane dotyczące fosforu ogólnego i ortofosforanów, przedstawione w tabeli 2, nie uwzględniają pomiarów z początkowego okresu powodzi.

Włączając archiwalne dane z lat 1994–2009, zbadano, czy dane z tego okresu są różne od uzyskanych w okresie powodzi 2010 r. W badaniach uwzględniono 6 wskaźników: azot amonowy, azot azotanowy, azot azotynowy, ortofosforany oraz żelazo i mangan. Spośród rozważanych danych archiwalnych wzięto pod uwagę jedynie te, które pochodziły z miesięcy: maj, czerwiec i wrzesień, to jest z okresu analogicznego z okresem powodzi w 2010 r. W przypadku pięciu przebadanych wskaźników, wartości średnie z okresu powodzi w 2010 r. okazały się różne od średnich wartości wskaźników z lat 1994–2009, a dla azotu amonowego poziom istotności nieznacznie przekracza wartość graniczną 0,05.

Interesującym pytaniem jest, czy jakość wód w Zbiorniku Goczałkowice w trakcie różnych powodzi jest podobna? W celu uzyskania odpowiedzi porównano dane z okresu powodzi w latach 1997 i 2010. Analizie poddano 14 wskaźników, dla których danymi dysponowano z okresów jednej i drugiej powodzi. Tylko w czterech przypadkach test U Manna-Whitney'a umożliwiający weryfikację hipotezy o równości rozkładów analizowanych

wielkości pozwolił na jej odrzucenie na poziomie istotności 0,05. Różne średnie dotyczyły azotu azotynowego, azotu azotanowego, pH i temperatury. W pozostałych przypadkach, to jest dla wskaźników bakteriologicznych, metali, glinu, azotu amonowego, dwutlenku węgla rozpuszczonego w wodzie, ortofosforanów oraz mętności i barwy średnie nie były istotnie różne od siebie (tab. 2).

Tabela 2

**Wyniki testów statystycznych wskaźników jakości wody Zbiornika Goczałkowice dla okresu powodzi i okresów bez powodzi**

Wskaźnik jakości wody	Test U M-W okresy powódź 2010 – bez powodzi 2010 $p =$	Max/Data dla powodzi 2010	Min/Data dla powodzi 2010	Test U M-W okresy powódź 2010 – wielolecie $p =$	Test U M-W okresy powódź 2010 – powódź 1997 $p =$
Azot amonowy	0,0865	19.05	OBP	0,0513	0,8065
Azot azotanowy	0,2588	OBP	OBP	0,0115	0,0339
Azot azotynowy	0,0044	19.05	OBP	0,0039	0,0127
Barwa	0,0000	19.05	OBP		0,2313
CO <sub>2</sub> agresywny	0,5475	19.05	OBP		(**)
CO <sub>2</sub> wolny	0,3588	OBP	OBP		(**)
Fosfor ogólny(*)	0,0455	1.06	OBP		(**)
Glin	0,0083	19.05	OBP		(**)
Liczba mikroorganizmów po 48 h	0,0000	5.06	OBP		0,1138
Liczba mikroorganizmów po 72 h	0,0000	20.05	OBP		0,1814
Mangan	0,0026	7.09	OBP	0,0057	0,0771
Miano <i>Coli</i>	0,0170	OBP	20.05		0,3639
Miano <i>E. Coli</i>	0,0090	OBP	20.05		0,6938
Mętność	0,0000	19.05	OBP		0,2385
OWO	0,4621	8.06	OBP		
Odczyn	0,0095	OBP	OBP		0,0447
Ortofosforany(*)	0,0442	1.06, 7.09	OBP	0,0179	0,0756
Przenikalność 254 nm	0,0000	19.05	OBP		
Przewodność	0,0028	OBP	8.06		
Temperatura	0,1563	OBP	OBP		0,0045
Zasadowość ogólna	0,0017	OBP	19.05		
Żelazo ogólne	0,0013	19.05	OBP	0,0010	0,0500

gdzie: (\*) – brak danych z okresu początku powodzi; (\*\*) – próby małowieliczne; OBP – okres bez powodzi; puste miejsce – brak danych  $p < 0,05$  oznacza odrzucenie hipotezy o równości rozkładów

#### 4. Dyskusja

Zbiornik Goczałkowice jest zbiornikiem płytkim, jego przeciętna głębokość wynosi 5,3 m, a na przeważającej powierzchni jego głębokość nie przekracza 2 m [7]. Zbiornik ten jest podatny na falowanie i woda w nim jest dobrze wymieszana. Tym nie mniej dotychczasowe badania z lat 1994–2009 [6] wskazują, że wartości wskaźników jakości wód pochodzących z powierzchni lustra wody różniły się od wartości wskaźników jakości wód

w punktach głębinowych zlokalizowanych we wschodniej części zbiornika. Natomiast w obrębie pomiarów z punktów powierzchniowych (z wyjątkiem żelaza) oraz w obrębie punktów głębinowych nie obserwowano istotnych różnic. Pomiarы wskaźników jakości wód rozważane w niniejszej pracy pochodzą z głębinowego punktu pomiarowego usytuowanego na głębokości 6 m.

Powszechnie wiadomo, że stężenia zanieczyszczeń ulegają zmianom w zależności od fazy przebiegu powodzi. Zazwyczaj w trakcie kulminacji fali powodziowej obserwowane są istotne zmiany stężeń niektórych wskaźników jakości wód [2, 16]. Natomiast bezpośrednio po dużych, powodziowych przepływach następuje wyraźna poprawa jakości wód w zbiornikach wodnych. Mazurkiewicz i Żurek [10] zaobserwowali, że po powodzi zbiorniki wodne stają się na jakiś czas oligotroficzne. Pocięcha i Wilk-Woźniak [11] spodziewają się po powodzi większej różnorodności gatunków planktonicznych w Zbiorniku Dobczyce, co wskazuje na czasową poprawę jakości wód. Wody powodziowe niosą spore ilości materii ze zlewni w postaci zawiesiny, dlatego na ogół obserwuje się podwyższenie takich wskaźników, jak barwa i mętność wody [2, 16]. Jeżeli rzeka dopływa do zbiornika wodnego, to niesione przez nią osady sedimentują na jego dnie i w rezultacie po powodzi nie dochodzi do wtórnego zanieczyszczenia wód zbiornika niegdyś osadzonymi zanieczyszczeniami, ponieważ są one przykryte nową warstwą osadów [10].

Ze względu na fakt, że w trakcie kulminacji fali powodziowej następują zmiany stężeń wskaźników jakości wód spodziewano się w wodach Zbiornika Goczałkowice podczas powodzi w 2010 r. zmian wartości wskaźników jakości wód przede wszystkim w maju i w czerwcu. W efekcie zastosowania analizy statystycznej umożliwiającej grupowanie pomiarów z wykorzystaniem hierarchicznej analizy skupień i metodą *k*-średnich okazało się, że istotnie pomiary z okresu powodzi tworzą osobną grupę, z tym że w grupie tej znalazł się pomiar z początku września, tj. z okresu trzeciej z kolei, najmniejszej w 2010 r. fali powodziowej (rys. 1 i 2). Stąd też w ostatecznym kształcie wartość etykiety „występuje powódź” przypisano okresom powodzi z maja, czerwca i września.

W trakcie powodzi w 2010 r. obserwowano zmiany wskaźników jakości wody zarówno fizykochemicznych, jak i biologicznych (tab. 2). Zanotowane minimalne w okresie powodzi wielkości wskaźników jakości wód, takich jak zasadowość ogólna czy przewodność są związane z rozcieńczeniem wód powierzchniowych wodami opadowymi. Ze względu na fakt, że zlewnia Zbiornika Goczałkowice narażona jest na antropopresję (liczne domostwa, pola uprawne, zakłady przemysłowe, największy w Europie Środkowej kompleks stawów rybnych hodowlanych), w pierwszym etapie powodzi odnotowano podwyższone wartości fizykochemicznych wskaźników jakości wód, takich jak: mętność, barwa, niektóre związki azotu, glin, ogólny węgiel organiczny, przenikalność 254 nm oraz żelazo ogólne. W czasie pierwszej, a czasem nawet drugiej fali powodziowej odnotowano zdecydowanie zwiększone wartości wskaźników jakości wód, takich jak mętność i barwa wody, związane ze spływem powierzchniowym w zlewni zbiornika. Dodatkowo barwa wody może być wyższa ze względu na przedostawanie się ścieków do wód. Podwyższone stężenia związków azotu, tj. azotu amonowego, azotu azotynowego i azotu azotanowego, podczas powodzi związane są z substancjami białkowymi dostającymi się do wody wraz z doprowadzanymi ściekami, jak również z nawozami spływającymi z pól uprawnych. Azotyny powstają głównie na skutek utleniania amoniaku w wodzie. Mogą również przedostawać się do niej wraz z wodą deszczową

w postaci spływów powierzchniowych z gruntów rolnych, gdzie powstają na skutek redukcji azotanów zawartych w glebie. Azotany stanowią produkt biochemicznego utleniania amoniaku i azotynów bądź też mogą być wylugowane z gleby. W pierwszym okresie powodzi w wodach zbiornika wystąpiło również ponad czterokrotne zwiększenie stężenia ogólnego węgla organicznego (OWO) w stosunku do średniej rocznej, co świadczy o wzroście zawartości związków organicznych w wodzie. W przypadku glinu i żelaza, które są pierwiastkami powszechnie występującymi na kuli ziemskiej jako składniki wielu minerałów budujących skały – w trakcie powodzi wymywane są one ze skał przez spływ powierzchniowy. W trakcie powodzi można zauważyć zaburzenie stosunków stężeń manganu i żelaza w porównaniu z innymi okresami [3, 4], co sugeruje, że źródła zanieczyszczeń żelazem i manganem mają również charakter antropogeniczny.

Z piśmiennictwa wiadomo, że w czasie powodzi dochodzi do pogorszenia bakteriologicznego stanu wód nie tylko powierzchniowych, ale również może dojść do zanieczyszczenia wód podziemnych, gdy mają one kontakt z wodami powierzchniowymi [8]. W niniejszym artykule wykazano największe zanieczyszczenie bakteriologiczne wód zbiornika w czasie pierwszej fali powodziowej. Wtedy obserwowano najwyższe liczby mikroorganizmów w posiewach próbek 1 cm<sup>3</sup> wody na agar odżywczy – zarówno po 48 godzinach inkubacji w temperaturze 37°C, jak i po 72 godzinach inkubacji w temperaturze 20°C, a także największą ilość bakterii typu coli oraz *Escherichia coli* (czyli najmniejsze wartości wskaźników miano coli i miano *Escherichia coli*). Duża liczba kolonii bakterii mezofilnych po posiewie próbek 1 cm<sup>3</sup> wody na agar, po 48 godzinach inkubacji w temperaturze 37°C, wskazuje na zanieczyszczenie wody drobnoustrojami pochodzenia ludzkiego lub zwierzęcego i informuje o ogólnym stanie sanitarnym wody. Natomiast wysoka liczba kolonii bakterii psychrofilnych w posiewie 1 cm<sup>3</sup> wody na agar po 72 godzinach inkubacji w temperaturze 20°C świadczy o dużej zawartości substancji organicznej, co wykazały również analizy OWO. Duża liczba bakterii psychrofilnych sprzyja masowemu rozwojowi bakterii gnilnych i drobnoustrojów fermentujących [9]. Wskaźnik pH w czasie powodzi ma wartość niższą niż średnia, ale poza okresem powodzi zaobserwowano także wartości niższe niż w czasie powodzi.

Ponadto, w niniejszym artykule zanotowano najwyższe stężenia fosforu ogólnego i ortofosforanów podczas drugiej fali powodziowej (tab. 2), przy czym nie wykonywano pomiarów tych związków w początkowym okresie powodzi. Można domniemywać, że w pierwszym etapie powodzi stężenia związków fosforu byłyby równie wysokie lub wyższe. Na wzrost koncentracji związków fosforu w wodach powierzchniowych wpływają ścieki i spływ powierzchniowy z pól uprawnych [12].

W tabeli 2 zamieszczono także wyniki testów porównujących okres powodzi z 2010 r. z okresem wielolecia 1994–2009. Ze względu na fakt, że niektóre wskaźniki jakości wód wykazują zróżnicowanie sezonowe [3–6] (co mogło wpłynąć na wyniki testu dotyczące danych z 2010 r.), wzięto pod uwagę jedynie te dane z wielolecia, które pomierzone zostały w miesiącach maj, czerwiec, wrzesień, tj. w miesiącach, w których wystąpiła powódź w 2010 r. Należy zaznaczyć także, że zbiór analizowanych wskaźników jakości wód z wielolecia jest uboższy od zbioru danych zgromadzonych w 2010 r. (co uwidocznione jest w tabeli). Ogólnie, wyniki obu tych testów potwierdzają zróżnicowanie wskaźników jakości wody w okresach występowania powodzi i jej braku.



Dysponując niewielkim zestawem danych z powodzi w lipcu 1997 r., przeprowadzono test porównujący rozkłady wyników pomiarów wskaźników jakości wód z okresu tejże powodzi z danymi dotyczącymi powodzi w maju, czerwcu i wrześniu 2010 r. Wyniki testu zamieszczono w ostatniej kolumnie tabeli 2. Okazało się, że w większości przypadków nie można odrzucić hipotezy o równości średnich. Oznacza to, że powódź charakterystycznie wpływa na rozkład wartości wskaźników jakości wód – bez względu na porę roku, a nawet upływ czasu.

## 5. Wnioski

1. Analiza skupień unormowanych wskaźników jakości wód Zbiornika Goczałkowice w 2010 r. umożliwiła wyodrębnienie wyraźnie rozdzielonych grup pomiarów z okresu powodzi i okresów poza nią.
2. Średnie wartości większości wskaźników jakości wód w 2010 r. są różne w okresach powodzi i poza nią.
3. Średnie wartości niektórych wskaźników są różne w okresie powodzi z 2010 r. i w okresie wielolecia 1994–2009 zawężonego do miesięcy maj, czerwiec, wrzesień (odpowiadających okresowi powodzi w 2010 r.).
4. Średnie wartości większości wskaźników nie wykazują zróżnicowania w okresach powodzi z lat 1997 i 2010.
5. W przypadku większości przebadanych wskaźników jakości wód, ekstremalne wartości pomiarów z całego roku przypadają na pierwsze dni powodzi.
6. Wykazano, że powódź charakterystycznie wpływa na rozkład wartości wskaźników jakości wód – bez względu na porę roku, a nawet upływ czasu.

*Badania finansowane przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego z umowy Ś-3/286/BW/2010: „Badanie środowiska wodnego Zbiornika Goczałkowice i jego dopływów z wykorzystaniem metod chemicznych i biologicznych”.*

## Literatura

- [1] Cebulak E., Kilar P., Milanówka D., Mizera M., Pyrc R., *Wysokość, natężenie i przestrzenny rozkład opadów atmosferycznych w zlewni górnej Wisły w okresie maj-czerwiec 2010 roku*, Monografia powodzi – Wisła maj–czerwiec 2010, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2011.
- [2] Czaplicka-Kotas A., Cwalina B., Szostak A., Nogaj P., Ślusarczyk Z., *Wpływ powodzi na jakość wód Goczałkowickiego Zbiornika Wodnego*, Czasopismo Techniczne z. 8-Ś/2004, Wyd. PK, Kraków 2004, 49-58.
- [3] Czaplicka-Kotas A., Szostak A., *Mangan i żelazo w wodach zbiornika Goczałkowice i jego dopływach*, Gospodarka Wodna 12/2006, 2006, 466-469.
- [4] Czaplicka-Kotas A., Szalińska E., Szostak A., Ślusarczyk Z., *Mangan w wodach zbiornika Goczałkowice i jego dopływach*, Gaz, Woda i Technika Sanitarna 1/2007, 2007, 14-17.

- [5] Czaplicka-Kotas A., Ślusarczyk Z., Zagajska J., Szostak A., *Analiza zmian zawartości jonów wybranych metali ciężkich w wodzie Jeziora Goczałkowickiego w latach 1994–2007*, *Ochrona Środowiska* 4/2010, Vol. 32, 2010, 51-56.
- [6] Czaplicka-Kotas A., Ślusarczyk Z., Pięta M., Szostak A., *Analiza zależności między wskaźnikami jakości wody w Jeziorze Goczałkowickim w aspekcie zakwitów fitoplanktonu*, *Ochrona Środowiska* 1/2012, Vol. 34, 2012, 21-27.
- [7] Hydroprojekt Kraków 2001, *Operat wodno-prawny na piętrzenie i pobór wody ze Zbiornika Goczałkowice*.
- [8] Kiełczawa B., Wojtkowski P., Filbier P., *Wybrane zagadnienia zagrożeń wód leczniczych Szczawna Zdroju*, *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej*, Nr 123, *Studia i Materiały*, Nr 34, 2008.
- [9] Kocwa E., *Biologia w ochronie zdrowia i środowiska*, PWN, Warszawa 1975.
- [10] Mazurkiewicz G., Żurek R., *Bezpośrednie ekologiczne skutki powodzi w lipcu 1997 roku na przykładzie rzeki i zbiornika zaporowego*, *Mat. Konf. Nauk. „Powódź w dorzeczu górnej Wisły w lipcu 1997 roku”*, Kraków 7–9 maja 1998, Wyd. Oddz. PAN, Kraków, 1998, 195-203.
- [11] Pocięcha A., Wilk-Woźniak E., *Effect of the summer flood on the ecosystem of the Dobczyce Reservoir (southern Poland)*, *Acta Hydrobiologica*, vol. 42, 200, 59-67.
- [12] Siwek H., Włodarczyk M., Brzostowska-Żelechowska D., Wachowiak M., *Wpływ wybranych parametrów fizyczno-chemicznych osadu na zawartość nieorganicznych form fosforu w osadach dennych małych zbiorników polimiktycznych*, *Acta Agrophysica*, 13(2), 2009, 497-503.
- [13] Śmiech A., *Sytuacja hydrologiczno-meteorologiczna w zlewni górnej Wisły*, *Monografia powodzi – Wisła maj–czerwiec 2010*, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2011.
- [14] Walczykiwicz T., Rataj C., *Analiza pracy zbiorników retencyjnych, oprac. na podstawie danych z RZGW Gliwice, Kraków, Warszawa*, *Monografia powodzi – Wisła maj–czerwiec 2010*, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2011.
- [15] Zawisłak T., Adamczyk Z., Bąkowski R., *Synoptyczne uwarunkowania powodzi*, *Monografia powodzi – Wisła maj–czerwiec 2010*, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2011.
- [16] Zimoch I., Kotlarczyk B., Nadolska K., *Charakterystyka parametrów eksploatacyjnych SUW Czaniec w latach 2009–2010, Zagrożenia bakteriologiczne podczas powodzi (pogorszenie się stanu bakteriologicznego wód leczniczych podziemnych)*, *Inżynieria Ekologiczna* Nr 26, 2011, 257-268.