

Roman CIEŚLIŃSKI

Uniwersytet Gdański, Instytut Geografii, Katedra Hydrologii
ul. Bażyńskiego 4, 80-952 Gdańsk
e-mail: georc@ug.edu.pl

Zmiany zasolenia i poziomu wody jeziora Jamno wynikające z budowy wrót przeciwsztormowych

Changes in Salinity and Water Level of the Lake Jamno Resulting from the Construction of Storm Gates

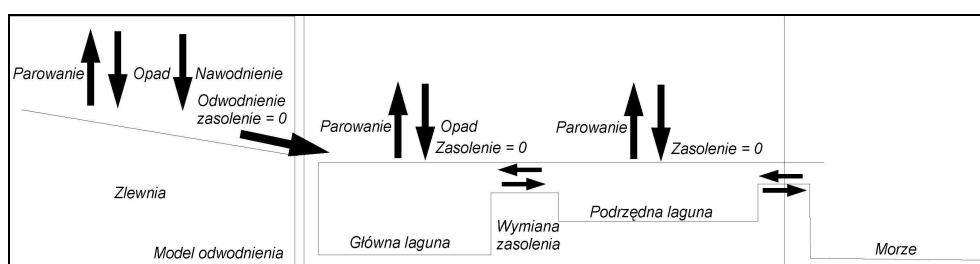
The aim of the study is to determine changes in salinity and water level of the Lake Jamno, which occurred as a result of the construction of the storm gate. It is very important aspect, as in the case of coastal lakes rather seeks to “open” object on the direct impact of the sea, and not his “closing”. Of course there are many examples in the world to create such hydrotechnical building, the aim of which is to prevent the phenomenon of flooding from the sea. Often it is the result of climate change causing an increase in the number of observed extreme phenomena, example of which are the storm gates in the Thames. Therefore, you should always think about the meaning of the creation of such structures and their subsequent impact on the biotic and abiotic environment. Also be sure to with great care to prepare a draft of such a construction that does not cause more losses than benefits. The study consisted primarily of a review of source materials and fieldwork prior to the construction of a storm barrier (2002-2008) and following the construction of the storm barrier (2015). Fieldwork included hydrographic surveys and water sampling for laboratory analysis. The most important source of information on changes following the construction of the storm barrier was the online source: www.hydrowskaz.pl. The website included data on water levels and specific conductivity for Lake Jamno and the Jamno Canal. The main and most readily observable outcome of the construction of a storm barrier has been a change in water quality in Lake Jamno. This is especially true in the case of key indicators related to marine water including conductivity, whose values changed from brackish-water-type to freshwater-type. A second outcome of the construction of the storm barrier was a change in the water level fluctuation range for Lake Jamno. The fluctuation range has now been reduced by 30 to 40 cm.

Keywords: Lake Jamno, storm gate, conductivity, salinity, water level

Wstęp

Stosunki wodne na świecie, w tym obraz sieci hydrograficznej, ulegają stałym i ciągłym zmianom, wynikającym z szeregu procesów naturalnych (zmiany klimatyczne, warunki pogodowe, specyfika rzeźby terenu, budowa geologiczna itd.) oraz oddziaływań antropogenicznych (procesy melioracyjne, zmiany przebiegu koryt rzek i ich obudowa, dopływ zanieczyszczeń, użytkowanie terenu itd.), szczególnie dobrze widocznych w ostatnim dwustuleciu [1]. W konsekwencji można obserwo-

wać zmiany nie tylko ilościowe (wielkość dopływu, zmiany poziomu wody), ale także jakościowe. Dobrym przykładem tego typu oddziaływań mogą być jeziora, gdzie mamy do czynienia z wodami stojącymi, a więc wyjątkowo narażonymi na wpływy negatywnej działalności człowieka. Jednym z obiektów, gdzie dynamika zmian może być największa, są jeziora położone w strefie brzegowej morza. Wynika to z oddziaływania czynników nie tylko lądowych, lecz także morskich, które powodują zmiany w poziomach wody oraz zmiany składu jakościowego ich wód. Tak więc pojawia się tu dodatkowe źródło wpływające na stan jakościowy i hydrologiczny danego obiektu. Na to wszystko nakłada się działalność człowieka, który w sposób bezpośredni lub pośredni wpływa na cechy hydrologiczne danego obiektu. O tym, że istnieje wiele uwarunkowań wpływających na zmiany hydrologiczne i jakościowe wód jezior strefy brzegowej, może świadczyć chociażby schemat potencjalnych uwarunkowań geograficznych Trousseliera [2] wpływających na ich stan. Procesy i zjawiska charakteryzują się ogromną siłą i dynamiką, co dobrze widoczne jest choćby w przypadku intruzji wód morskich. Rozpatrując diagram modelu hydrosystemu przybrzeżnego, Chauvelon i inni [3] (rys. 1), zauważyli dodatkowo, że stosunki wodne takiego układu są ściśle powiązane z elementem wymiany poziomej, jak również pionowej, z tym zastrzeżeniem, że wymiana pionowa jest elementem drugorzędym, przez co można ją pomijać przy ocenie zasilania takich obiektów. Wynika to z faktu, że opad w tym modelu równoważy się z parowaniem. Istotne są tu natomiast interakcje pomiędzy środowiskiem wód słodkich (zlewnia) a środowiskiem morskim oraz wymiana horyzontalna wód pomiędzy dwoma obiektami hydrograficznymi pozostającymi w ścisłym związku hydraulicznym. W ostatnich latach odnotowuje się wiele przykładów takich oddziaływań, lecz najbardziej spektakularnym wydają się zmiany, jakie zaszły na jeziorze Jamno i Kanale Jamneńskim łączącym to jezioro z morzem. Szczególnie budowa wrót przeciwsztormowych była inwestycją, która zmieniła bardzo szybko wielkość zasolenia i amplitudę wahań poziomu wody samego jeziora. Jednocześnie budowa wrót wywołała silny konflikt społeczny na linii ekolodzy - administracja lokalna. Tak więc celem niniejszej pracy jest określenie zmian zasolenia i poziomu wody jeziora Jamno, jakie zaszły w wyniku budowy wrót przeciwsztormowych.



Rys. 1. Diagram modelu hydrosystemu przybrzeżnego [3]

Fig. 1. Diagram of coastal hydrosystem model [3]

Niewiele jest literatury na temat takich form oddziaływania na wody jezior przybrzeżnych jak wymienione wrota przeciwsztormowe, chociaż istnieje sporo pozycji podejmujących pośrednio ten temat. Dobrym tego przykładem jest np. praca Lawrie i innych [4], którzy opisują estuaria czasowo otwarte i zamknięte. Z ich rozważań wynika, że obiekty te posiadają dwa mechanizmy. Pierwszy dotyczy zmian równowagi wody poprzez zmianę ilości wody napływającej. Drugi mechanizm dotyczy zmian równowagi jakości wody poprzez dopływ zanieczyszczeń ze zlewni przy jednoczesnym braku możliwości odświeżania przez dopływ wód morskich. Zamknięcie połączeń estuariów z morzem prowadzi do nagromadzenia w jeziorze składników odżywczych, a przez to do wzrostu eutrofizacji i wzrostu zakwitów glonów. Potter i inni [5] wskazują, że zamknięcie połączeń jezior przybrzeżnych z morzem zmienia istotnie wielkość zasolenia. Dotyczy to nie tylko okresowego bezpośredniego napływu od strony morza, lecz także zmian, jakie będą zachodziły w okresach intensywnego parowania z powierzchni jeziora przy jednoczesnym braku możliwości odświeżania tych wód. Schallenberg i inni [6] potwierdzają, że zamykanie jezior na dopływ od strony morza spowoduje zmiany jakościowe, lecz dodatkowo wskazują na istotne zmiany w dynamice i amplitudzie zmian poziomów wody. Z kolei Morris i Turner [7] wskazują, że obieg wody w jeziorach przybrzeżnych jest skomplikowany i jednocześnie wrażliwy na oddziaływania antropogeniczne. Szczególnie dotyczy to okresów możliwego braku połączenia z morzem. Okresy te zwiększają ryzyko wystąpienia powodzi, co wiązać należy m.in. z naturalnym zasypywaniem odcinka ujściowego rzek łączących jezioro z morzem. Elliot i Whitfield [8] wskazują dodatkowo, że zamknięcia połączeń jezior przybrzeżnych z morzem prowadzić będą do zmian ekologicznych w jeziorach, włącznie ze zmianami siedlisk i gatunków roślin oraz zwierząt tam występujących. Potwierdza to Dye [9], który dodatkowo wskazuje, że największe zmiany wynikające z zamykania i otwierania połączeń jezior z morzem dotyczyć będą makrofauny. Potwierdzają to badania Astel i innych [10], Goździejewskiej i innych [11] oraz Obolewskiego i innych [12], którzy m.in. dla jeziora Jamno wskazują, że zmiany wynikające z powstania wrót przeciwsztormowych będą dotyczyć świata roślinnego i zwierzęcego na samym jeziorze, w tym zooplanktonu i bentosu. Dodatkowo Astel i inni [10] wskazują, że na polskim wybrzeżu wody jeziora Jamno są pod najsilniejszym wpływem antropopresji.

1. Charakterystyka hydrograficzna i hydrologiczna obiektu badań

Jezioro Jamno jest jeziorem przybrzeżnym (rys. 2), oddzielonym od Morza Bałtyckiego mierzeją, a połączonym z morzem przetoką - Nurtem Jamneńskim o długości około 360 m [13] i szerokości około 20÷26 m [14]. Głębokość maksymalna i średnia kanału wynoszą odpowiednio około 2 m i 0,8 m, zaś spadek podłużny 0,17‰. W przeszłości nieumocniony, w chwili obecnej posiada fragmenty brzegów obetonowanych. Wały brzegowe w 2013 roku zostały istotnie podwyższone, natomiast na samym kanale zostały wybudowane wrota przeciwsztormowe

będące obiektem zainteresowania w niniejszej pracy (rys. 3). Z kolei jezioro ma powierzchnię 2231,5 ha i objętość 31 528 tys. m³ [15]. Średnia głębokość osiąga 1,4 m, zaś głębokość maksymalna 3,9 m (rys. 4). Długość linii brzegowej wynosi 28 300 m [16]. Całkowita powierzchnia zlewni jeziora wynosi 502,8 km² [17]. Jezioro do chwili zbudowania wrót miało charakter przepływowy. Zasilane jest przez trzy rzeki (Unieść, Dzierżęcinka i Strzeżenica) i kilka mniejszych cieków (głównie rowy melioracyjne). Wielkość dopływu rocznego trzech głównych rzek szacuje się odpowiednio na 42,37 mln m³ (Dzierżęcinka), 48,85 ml m³ (Uniesta) i 8,80 mln m³ (Strzeżenica) [13]. Odpływ do morza poprzez Jamneński Nurt (zwany Kanałem Jamneńskim) w skali roku wynosił 130,48 mln m³ [13]. Inne dane, prezentowane przez Obolewskiego [18], szacują całkowitą ilość wód odpływających z jeziora do Bałtyku na około 200 mln m³. Parowanie i opad atmosferyczny w przybliżeniu są zrównoważone [19]. Obserwowany dla jeziora Jamno napływ wód morskich nie ma charakteru stałego i podlega silnym wahaniom. Zależał on od poziomu wód Bałtyku i Jamna. Według oceny z 1997 roku [20], amplituda wahań pomiędzy poziomem morza a poziomem wód Jamna w Kanale Jamneńskim wynosi 1,28 m (zakres: -0,13÷1,15). Na podstawie danych IMGW dla posterunku w Kołobrzegu poziom wody w morzu obliczony dla wielolecia 1951-2008 wynosi odpowiednio:

Maksymalny prognozowany ($p = 0,1\%$) +2,14 m Kr.

WWW +1,66 m Kr.

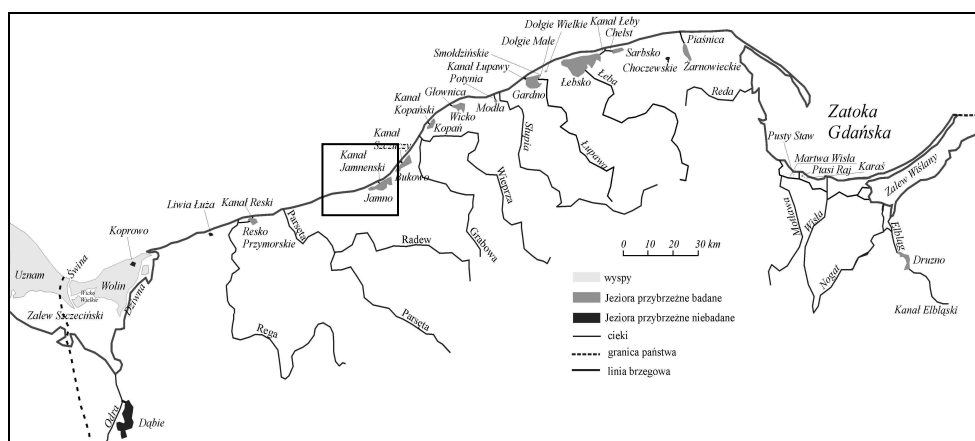
SWW +0,94 m Kr.

SSW -0,07 m Kr.

SNW -0,77 m Kr.

NNW -1,39 m Kr.

Minimalny prognozowany ($p = 0,1\%$) -1,23 m Kr.



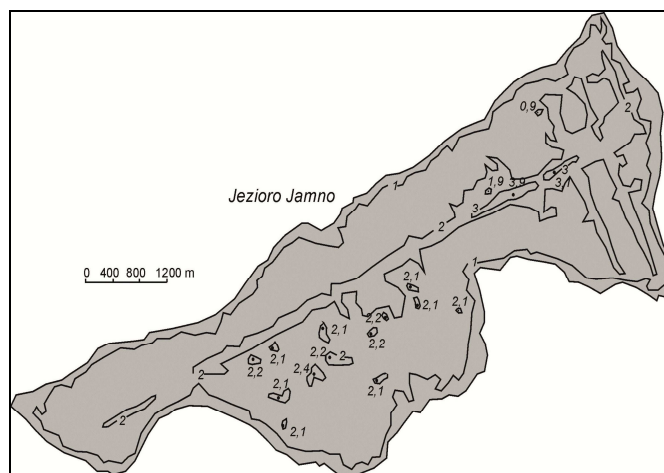
Rys. 2. Położenie Kanału Jamneńskiego w strefie brzegowej południowego Bałtyku na tle innych obiektów hydrograficznych [14]

Fig. 2. Location of the Jamno Canal along the southern shore of the Baltic Sea with respect to other bodies of water in the area [14]



Rys. 3. Wrota przeciwsztormowe na Kanale Jamneńskim

Fig. 3. Storm barrier in the Jamno Canal



Rys. 4. Batymetria jeziora Jamno na podstawie danych Instytutu Rybactwa Śródlądowego w Olsztynie

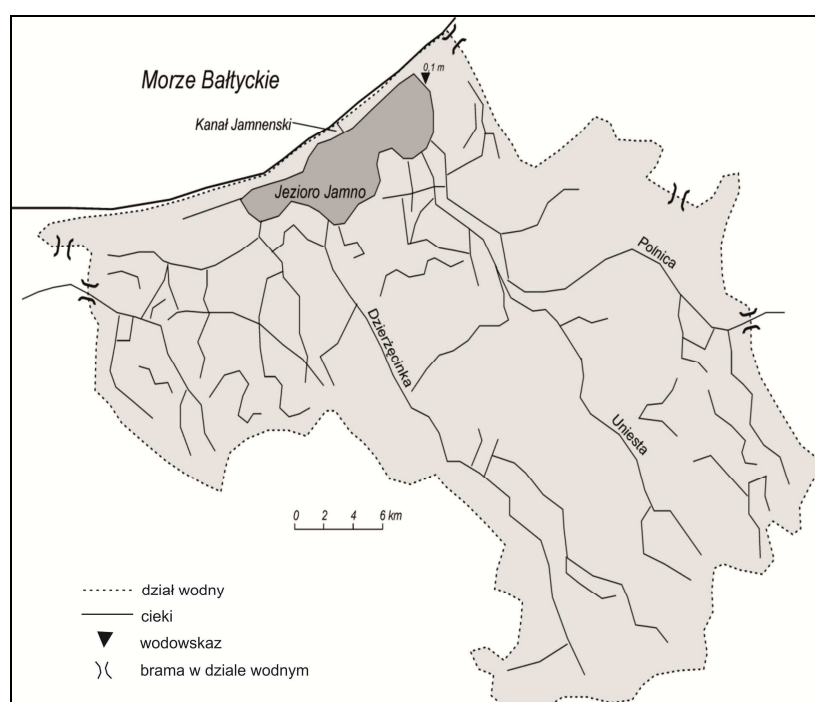
Fig. 4. Bathymetry of Lake Jamno based on data of the Inland Fisheries Institute in Olsztyn

Generalnie ocenia się, że wlewy wód słonych jesienią i zimą były gwałtowniejsze, ale występują rzadko. Wiosną i latem są łagodniejsze, ale pojawiają się częściej [13]. Według Majewskiego [21], poziom wody w jeziorze Jamno prze-

wyższa ten notowany na Bałtyku o około 0,1 m. Szacuje się, że napływ od strony morza wynosi około 16,1% w stosunku do całego bilansu napływu, co daje blisko 30 mln m³ wody. Według Szmidta [22], za lata 1961-1970 liczba dni z napływami do Nurtu Jamneńskiego, jedyne połączenia jeziora Jamno z morzem, wynosi 91, tj. 25% dni w roku. Najwięcej z nich odnotowuje się w listopadzie i maju, a najmniej w marcu, kwietniu i lipcu. Potwierdzają to obserwacje prowadzone w okresie po powstaniu wrót przeciwsztormowych, gdzie liczba dni z notowanym odwróconym przepływem na Kanale Jamneńskim wynosi średniorocznie około 100 dni.

Nurt Jamneński do chwili budowy wrót przeciwsztormowych był okresowo zasypywany niesionym rumowiskiem przez przybrzeżne prądy morskie, średnio 80 dni w roku [23]. W okresie badań prowadzonych w Nurcie Jamneńskim przez Cieślińskiego [14] w latach 2002-2008 odnotowywano przepływy średnie w zakresie od 10,0 do 15,0 m³·s⁻¹, gdy spływ skierowany był do morza, i około 10,0 m³·s⁻¹, gdy był on skierowany do jeziora [14].

Powierzchnia zlewni jeziora Jamno wynosi 510,6 km² (rys. 5). Lustro wody usytuowane jest na wysokości 0,1 m n.p.m. Wskaźnik wymiany wody określający funkcję hydrologiczną, jaką pełnią jeziora w badanych układach hydrograficznych, wynosi 4,3. Z kolei wskaźnik „n”, określający zdolność retencyjną jeziora, wynosi 23,1%.



Rys. 5. Zlewnia jeziora Jamno [14]

Fig. 5. Drainage basin of Lake Jamno [14]

Jezioro Jamno wraz z bezpośrednią zlewnią i strefą przybrzeżną morza do niedawna tworzyło ścisły układ hydrauliczny oddziałujący na siebie. W układzie tym to głównie zlewnia decydowała o wpływie zróżnicowania hydrologicznego jeziora, o czym świadczył wskaźnik O'hlego (porównanie wielkości jeziora oraz jego zlewni), który wynosi 22,8.

Brzeg jeziora Jamno na wysokości miejscowości Mielno, Unieście, Łazy (część północno-zachodnia i północno-wschodnia jeziora) jest mocno zurbanizowany (rys. 6) i w bliskiej odległości od jeziora zabudowany infrastrukturą mieszkalną, turystyczną, handlowo-usługową. Dodatkowo na zapleczu jeziora, po jego południowej stronie znajduje się miasto Koszalin, które silnie oddziałuje poprzez dopływ potamiczny na analizowane jezioro.



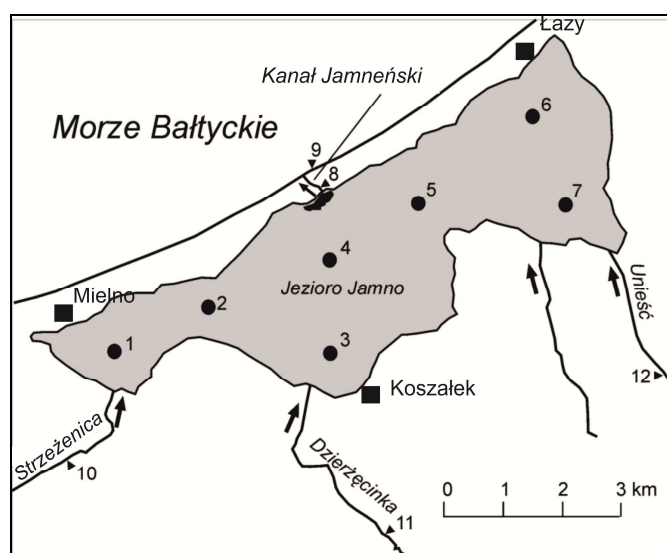
Rys. 6. Zabudowa brzegu północno-zachodniego jeziora Jamno na mapie topograficznej w skali 1:50 000

Fig. 6. Mounting the edge of the north-west of the Lake Jamno on the topographic map in scale 1: 50 000

2. Metody badań

Główne prace polegały na kwerendzie materiałów źródłowych oraz pracach terenowych w okresie przed budową wrót przeciwsztormowych (lata 2002-2008)

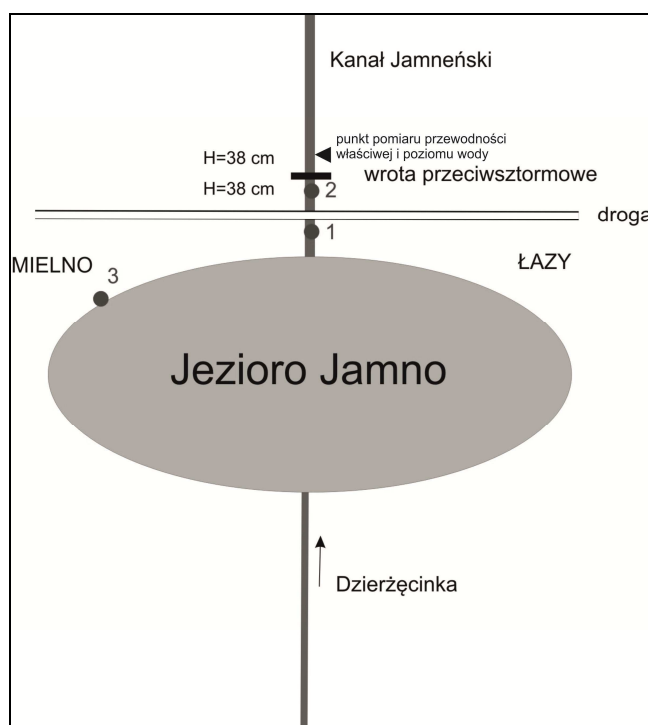
i po ich budowie (rok 2015), podczas których wykonano kartowanie hydrograficzne oraz pobór próbek wody do analiz laboratoryjnych. Najważniejszym źródłem informacyjnym dotyczącym zmian, jakie zaszły po budowie wrót przeciwsztormowych, była strona internetowa www.hydrowskaz.pl [24], na której zamieszczono dane dotyczące zmian poziomu wody i wielkości przewodności właściwej na Kanale Jamneńskim i jeziorze Jamno. Oparte były one o założoną stałą i automatyczną sieć monitoringową, na którą składały się 4 punkty pomiarowe. Jeden zlokalizowany został na Kanale Jamneńskim (5,57 m n.p.m. Amsterdam), zaś trzy pozostałe na jeziorze Jamno na przystaniach Koszałek (5,58 m n.p.m. Amsterdam), Łabusz (5,59 m n.p.m. Amsterdam) i Mielno (5,58 m n.p.m. Amsterdam) (rys. 7). Odczyt danych odbywał się w odstępie godzinnym. Z kolei najważniejszym źródłem informacyjnym dotyczącym stanu jakościowego jeziora Jamno przed budową wrót przeciwsztormowych była praca Cieślińskiego [14], który dla ośmiu punktów pomiarowych na jeziorze i jednym na kanale (rys. 7) określał wielkość przewodności właściwej oraz stężenia chlorków. Również na podstawie tej pracy uzyskano informacje dotyczące wielkości natężenia przepływu na kanale. Dodatkowo w ramach uzupełnienia danych wykonano pojedyncze pomiary w lipcu 2015 roku na kilku punktach pomiarowych (rys. 8).



Rys. 7. Lokalizacja punktów pomiarowych na jeziorze Jamno i Kanale Jamneńskim [14]

Fig. 7. Location of gauging sites on Lake Jamno and the Jamno Canal [14]

Główne prace laboratoryjne polegały na analizie przewodności właściwej przy wykorzystaniu miernika wieloparametrowego WTW i350 oraz HatchLange HQ40, a także określeniu stężeń chlorków przy wykorzystaniu chromatografu jonowego Dionex C1100.



Rys. 8. Lokalizacja punktów poboru próbek wody wykonanych w dniu 15 lipca 2015 roku

Fig. 8. Location of water sampling sites used on July 15, 2015

3. Parametry techniczne i konstrukcyjne wrót przeciwsztormowych i Kanału Jamneńskiego

W przypadku wrót przeciwsztormowych i obudowy brzegów na Mierzei Jamneńskiej wykonano następujące prace:

- ✓ regulację Kanału Jamneńskiego na długości 366 m (odcinek od plaży nad Morzem Bałtyckim do mostu drogowego - ul. Świerczewskiego). Szerokość kanału po modernizacji wyniosła 17 m, a rzędna dna kanału 2 m n.p.m.,
 - odcinek od plaży (km 0,000) do km 0,084 (brzeg zachodni kanału) i km 0,102 (brzeg wschodni kanału) zastał jedynie pogłębiony do głębokości technicznej - 2 m n.p.m. bez umocnienia,
 - w odcinku od km 0,084 (brzeg zachodni) i km 0,102 (brzeg wschodni) do km 0,366 wykonano umocnienia brzegowe ze ścianki szczelnej,
- ✓ wykonanie wzdłuż Kanału Jamneńskiego wałów przeciwpowodziowych o szerokości korony 8 m i podstawy 13,7 m; rzędna korony: 2,4 m. Długość wału po stronie zachodniej wyniosła około 260 m, a po stronie wschodniej - około 267 m,
- ✓ wykonanie od strony morza wału przeciwpowodziowego o rzędnej korony 2,4 m n.p.m. i rzędnej umocnienia korony 2,6 m n.p.m. Długość umocnienia

- zachodniego wyniosła około 35 m, a długość umocnienia wschodniego - około 17 m,
- ✓ wykonanie wrót sztormowych (4 pary) w odcinku od km 0,259 od km 0,270 Kanału Jamneńskiego [25].

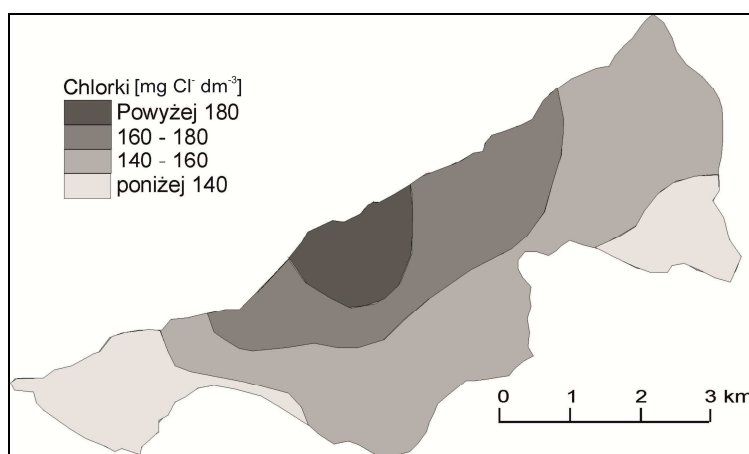
Wrota sztormowe składają się z 4 par skrzydeł otwieranych w kierunku Morza Bałtyckiego. Skrzydła stanowią konstrukcję stalową o gabarytach 200 x 1980 x 4130 mm odpowiednio usztywnioną w zależności od sił działających na powierzchnię wrót. Wzdłuż skrajnych krawędzi wrót przebiegają osie obrotu. Łożyska obrotu góry i dołu mocowane są do pali stalowych HEB 500. Konstrukcja łożysk posiada rozwiązania zapewniające odpowiednie regulowanie osi obrotu. Uszczelnienie dolnej i pionowej części skrzydła stanowi uszczelka gumowa mocowana do skrzydła wrót. Skrzydła wrót między sobą po zamknięciu uszczelnione są za pomocą uszczelki gumowej o profilu jak przy uszczelnieniu skrzydeł przy osiach obrotu skrzydeł. Całość konstrukcji stalowej wykonana jest ze stali nierdzewnej. Fundament betonowy jest grubości 2 m od rzędnej $-5,70$ do $-3,70$ m. Przestrzeń nad fundamentem wypełniona jest warstwą piasku grubego do rzędnej $-2,80$ m i przykryta płytą o grubości około 70 cm. Elementem podtrzymującym poszczególne skrzydła wrót jest 6 pali stalowych HEB 500. Dla umożliwienia przeprowadzenia remontu skrzydeł wrót zastosowano dodatkowe prowadnice w postaci heków HEB 300 w ilości 12 szt. (po 6 szt. w rzędzie), w które można wprowadzić zastawki robocze [25]. Jeżeli w wyniku sztormu, północnych wiatrów lub innych czynników poziom wody w morzu podniesie się i woda morska zacznie napływać do jeziora, to wrota samoczynnie zamkną się na skutek parcia wody do ściany skrzydeł wrót [25]. Zatem zamykanie wrót przeciwsztormowych następuje w każdej sytuacji, kiedy rozpoczyna się napływ od strony morza, niezależnie od intensywności tego napływu oraz siły czynników sprawczych (nie tylko w okresach sztormu), a także wielkości podniesienia się poziomu morza. Nie ma w tej sytuacji możliwości jakiegokolwiek napływu wód morskich do jeziora Jamno. Dodatkowo w wyniku obniżenia bazy drenażu w Kanale Jamneńskim i „ucieczce” zbyt dużej ilości wody z jeziora musiano na wrotach przeciwsztormowych założyć szandory.

4. Uzyskane wyniki i dyskusja

4.1. Zmiany zasolenia

Głównym i najbardziej widocznym efektem wpływu powstałych wrót przeciwsztormowych jest zmiana stanu jakościowego wód jeziora Jamno, a w szczególności zmiana stężeń wskaźników odmorskich, np. chlorków, i w konsekwencji zmiana przewodności właściwej jego wód. Opierając się na danych literaturowych, można stwierdzić, że w okresie przed powstaniem wrót przeciwsztormowych wzrost stężenia chlorków był obserwowany wraz ze zbliżaniem się do północnego brzegu jeziora [14]. Na rysunku 9 przykładowo przedstawiono przestrzenny rozkład stężeń tego jonu. Najwyższe stężenia odnotowywano w punkcie zlokalizowanym

w rejonie Nurtu Jamneńskiego. Brak jest natomiast układu przestrzennego omawianych wskaźników pomiędzy wschodnią a zachodnią częścią jeziora, choć takie układy występują, co zaobserwowali m.in. Choiński i Lange [32] w przypadku zmienności przewodności właściwej. Uzyskane przez Cieślińskiego [14] wyniki potwierdziły wcześniejsze badania Świdarskiej-Bróz [26], która zaobserwowała, że występują wyższe stężenia chlorków w części centralnej jeziora - naprzeciw ujścia Nurtu Jamneńskiego (do $403 \text{ mg Cl}^- \text{ dm}^{-3}$). Z kolei Szmidt [22] określił, że stężenia chlorków wahały się od $780 \text{ mg Cl}^- \text{ dm}^{-3}$ w otwartych wodach jeziora do $2750 \text{ mg Cl}^- \text{ dm}^{-3}$ w jego części północnej. Ponadto stwierdził podwyższone zasolenie w ujściach największych cieków uchodzących do jeziora: Dzierżęcinki i Uniesty (zjawisko cofki).



Rys. 9. Przykładowy rozkład stężeń chlorków w wodach powierzchniowych jeziora Jamno w dniu 15.10. 2002 [14]

Fig. 9. Example of distribution of chloride concentrations in the surface waters of Lake Jamno on July 15, 2002 [14]

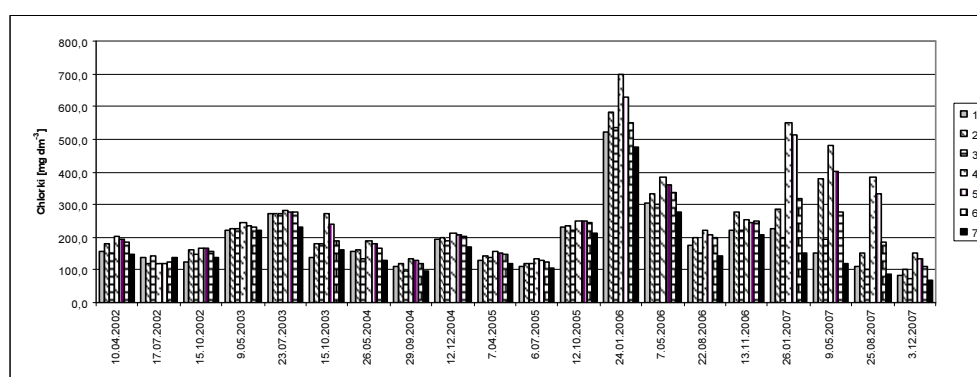
Cieśliński [14], opierając się na danych z lat 2002-2007, stwierdził, że średnie stężenia jonu chlorkowego wahały się odpowiednio od $173,2$ do $297,8 \text{ mg Cl}^- \text{ dm}^{-3}$, zaś wartości ekstremalne mieściły się w zakresie od 70 do $698 \text{ mg Cl}^- \text{ dm}^{-3}$ (tab. 1). Współczynnik zmienności był wysoki i przekraczał 50% (tab. 1), co świadczyło o małej stabilności jeziora pod względem hydrochemicznym, wynikającej z występujących intruzji wód morskich. W tym samym czasie na Kanale Jamneńskim średnia zawartość chlorków wyniosła $457 \text{ mg Cl}^- \text{ dm}^{-3}$, a współczynnik zmienności był na poziomie $77,8\%$, co wskazuje na jeszcze większą dynamikę zmienności hydrochemicznej w kanale, niż miało to miejsce w jeziorze Jamno. Z kolei dopływy ze zlewni charakteryzowały się niewielkimi stężeniami chlorków, które średnio w okresie pomiarowym wyniosły dla Strzeżeniczy $24 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, Dzierżęcinki $20 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ i Uniesty $14 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Wyniki te świadczą o możliwym jedynie lokalnym rozcieńczeniu wód jeziora Jamno. Rozkład stężeń chlorków w latach 2002-2007

na wszystkich punktach pomiarowych przedstawiono na rysunku 10. Jak można zauważyć, w poszczególnych terminach uzyskiwano bardzo duże zróżnicowanie wyników. Pojawiały się przeważnie okresy, gdzie woda w jeziorze była wysłodzona (poniżej $200 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$), lecz okresowo odnotowywano znaczne ich podwyższenie, nawet do około $700 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$.

Tabela 1. Wielkość miar statystycznych dla jonu chlorkowego, $\text{mg Cl}^{-} \text{dm}^{-3}$

Table 1. The values of statistical measures for the chloride ion, $\text{mg Cl}^{-} \text{dm}^{-3}$

Nazwa jeziora	Średnia arytmetyczna		Odchylenie standardowe		Wartość maksymalna		Wartość minimalna		Współczynnik zmienności	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Jamno	297,8	173,2	162,8	99,1	698,0	477,0	133,0	70,0	54,7	57,2



Rys. 10. Stężenie chlorków w wodach jeziora Jamno w latach 2002-2007; 1-7 punkty pomiarowe, których lokalizację przedstawiono na rysunku 7

Fig. 10. The concentration of chloride in the waters of the lake Jamno in 2002-2007; 1-7 measuring points, the location of which is shown in Figure 7

Można zatem stwierdzić, że przez znaczną część roku występowały w jeziorze wody typowo słodkie. W zbiorniku tym okresowo wysokie stężenia chlorków były zawsze wynikiem intruzji wód morskich. Wartość minimalna w latach 2002-2007 wyniosła dla jeziora Jamno $70 \text{ mg Cl}^{-} \text{dm}^{-3}$, a maksymalna $698 \text{ mg Cl}^{-} \text{dm}^{-3}$. Wcześniej notowano, że stężenie chlorków w wodach jeziora Jamno wynosiło $1320 \text{ mg Cl}^{-} \text{dm}^{-3}$ [16] czy nawet 2750 mg dm^{-3} [27]. Z kolei Kubiak [28] określił stężenie chlorków w wodach jeziora Jamno mieszczące się w zakresie od 117 do $908 \text{ mg Cl}^{-} \text{dm}^{-3}$. Świdrska-Bróż [26] podała stężenia chlorków z przedziału od 30 do $403 \text{ mg Cl}^{-} \text{dm}^{-3}$. Z kolei według Choińskiego i innych [29], stężenia chlorków w latach 1965-1998 wahały się od 113,6 do $280,6 \text{ mg Cl}^{-} \text{dm}^{-3}$, zaś w latach 1965-2004 od 69,6 do $280,6 \text{ mg Cl}^{-} \text{dm}^{-3}$ [26]. Piński [31] określił stężenie chlorków w latach 2003-2004 w przedziale od 22,5 do $996,0 \text{ mg Cl}^{-} \text{dm}^{-3}$. Na podstawie pomiarów wykonanych przez autora niniejszej pracy w terenie w dniu 15 lipca 2015 roku stężenie chlorków w wodach jeziora Jamno charakteryzowało się

niewielką wartością na poziomie $38 \text{ mg Cl}^- \text{ dm}^{-3}$ i wzrastało w miarę przesuwania się w kierunku morza. Na Kanale Jamneńskim w punkcie zlokalizowanym bliżej linii brzegowej jeziora chlorki osiągnęły $44 \text{ mg Cl}^- \text{ dm}^{-3}$, zaś w punkcie zlokalizowanym bliżej morza $78 \text{ mg Cl}^- \text{ dm}^{-3}$ (tab. 2).

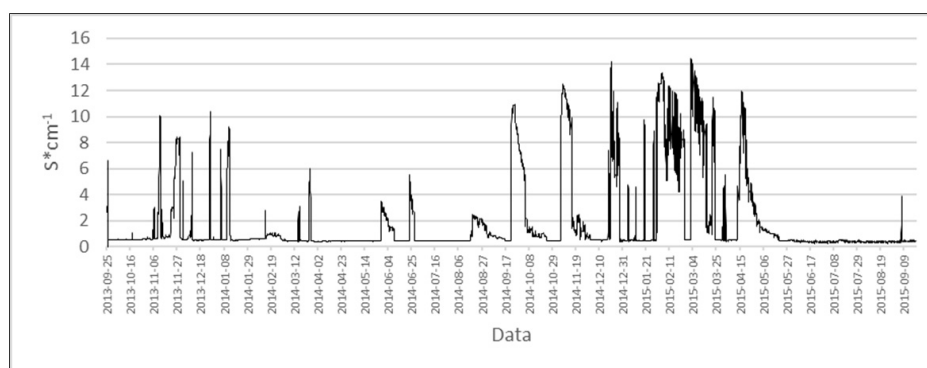
Tabela 2. Wybrane wskaźniki fizyczno-chemiczne z pomiaru 15 lipca 2015 roku

Table 2. Selected physical and chemical data obtained in the field on July 15, 2015

Numer punktu	Chlorki $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$	Temperatura $^{\circ}\text{C}$	Przewodność $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$
1	43,5	17,6	404
2	77,6	18,4	508
3	37,6	19,1	394

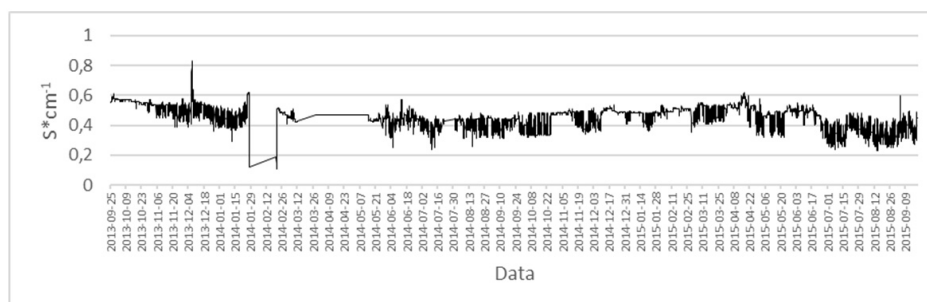
Rozpatrując drugi ze wskaźników, przewodność właściwą, można stwierdzić, że w wodach jeziora Jamno przed wykonaniem inwestycji jej wartości świadczyły o wpływie wód morskich na wody jeziora. Według Cieślińskiego [14], dla punktu zlokalizowanego na jeziorze najdalej od Nurtu Jamneńskiego średnia przewodność wyniosła $925 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, natomiast w punkcie zlokalizowanym u ujścia Nurtu Jamneńskiego $1185 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Poziom 1000 i więcej $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ świadczy o wpływie wód morskich [33]. Minimalne wielkości w poszczególnych punktach pomiarowych według badań Cieślińskiego [14] wahały się w zakresie od 591 do $693 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, zaś maksymalne w zakresie od 2150 do $2870 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Współczynnik zmienności podobnie jak dla jonu chlorkowego był znaczny i wahał się od $39,7$ do $45,6\%$. Z kolei dla jedynego punktu zlokalizowanego na Kanale Jamneńskim średnia przewodność właściwa wyniosła $1899 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, zaś zakres zmienności w latach 2002 - 2008 wahał się od 855 do $6995 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Współczynnik zmienności był na poziomie około 60% . Dopływ od strony zlewni charakteryzował się wielkością przewodności właściwej typową dla wód słodkich. Dla największych dopływów średnia dla całego okresu pomiarowego wyniosła odpowiednio: dla Strzeżenicy $618 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, dla Dzierżęcinki $394 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ i dla Uniesty $325 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. W przypadku Kanału Jamneńskiego wielkość przewodności właściwej w okresie od 25 września 2013 roku do 20 września 2015 roku, tj. już po wybudowaniu wrót przeciwsztormowych, wahała się w zakresie od 250 do $14430 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, co daje amplitudę rzędu $14180 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (rys. 11). Średnia dla całego okresu wyniosła $1832 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Tak duża zmienność uzyskanych wyników wskazuje na intensywne oddziaływanie ze strony morza i możliwe oddziaływanie splywu lądowego. Z kolei przewodność właściwa notowana na jeziorze Jamno w punkcie pomiarowym Koszałek wahała się w zakresie od 110 do $830 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, co daje amplitudę rzędu $720 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (rys. 12). Średnia dla całego okresu wyniosła natomiast $452 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. W drugim punkcie pomiarowym zlokalizowanym na jeziorze w miejscowości Łabusz zakres zmienności przewodności właściwej był na poziomie od 220 do $680 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, co daje amplitudę rzędu $460 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (rys. 13). Średnia dla całego okresu badawczego, tj. od 25 września 2013 roku do 20 września 2015 roku, wyniosła $424 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Ostatni z posterunków na jeziorze w miejscowości Mielno charakteryzował się

przewodnością właściwą w zakresie od 290 do 1170 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, co daje amplitudę na poziomie 880 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (rys. 14). Średnia dla całego okresu pomiarowego wyniosła 712 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Potwierdzeniem powyższych stwierdzeń były również badania terenowe wykonane w dniu 15 lipca 2015 roku, gdzie odnotowano przewodność właściwą w wodach jeziora Jamno na poziomie 394 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, zaś w wodach Kanału Jamneńskiego w punkcie położonym bliżej jeziora 404 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, a w punkcie położonym bliżej linii brzegowej morza wartość 508 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (tab. 2).



Rys. 11. Zmienność przewodności właściwej ($\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) na Kanale Jamneńskim od 25 września 2013 roku do 20 września 2015 roku

Fig. 11. Specific conductivity ($\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) in the Jamno Canal between September 25, 2013 and September 20, 2015

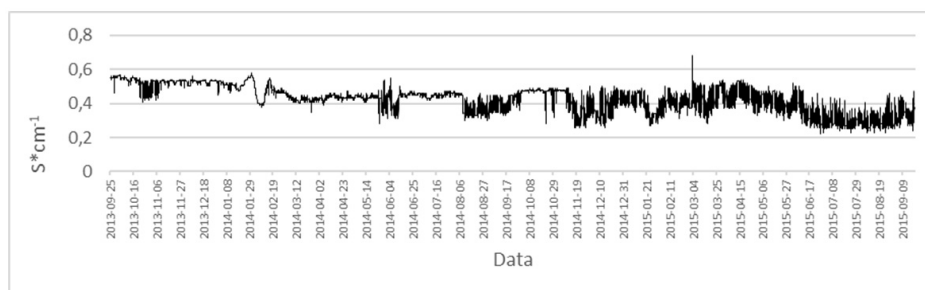


Rys. 12. Zmienność przewodności właściwej ($\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) na jeziorze Jamno - posterunek Koszałek od 25 września 2013 roku do 20 września 2015 roku

Fig. 12. Specific conductivity ($\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) in Lake Jamno (Koszałek site) between September 25, 2013 and September 20, 2015

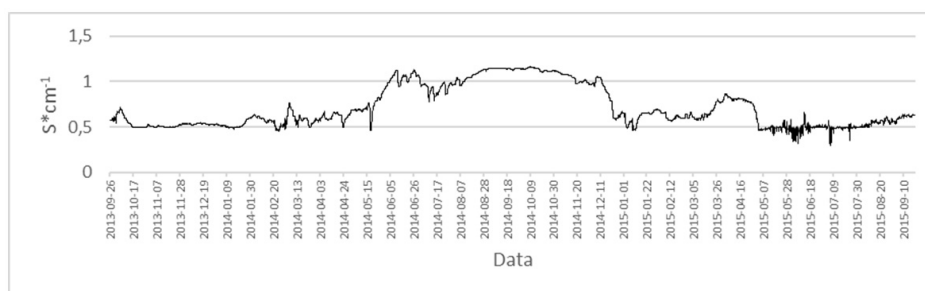
Na podstawie uzyskanych wyników z sond samorejestrujących można stwierdzić, że w jeziorze Jamno w zasadzie nie obserwuje się przewodności właściwej przekraczającej 1000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, co świadczy o zdecydowanym wysłodzeniu zbiornika w porównaniu do okresu przed wykonaniem wrót przeciwsztormowych. Wysokie wartości przewodności notowane na kanale potwierdzają wcześniejsze obserwacje, że istnieje okresowe zjawisko intruzji wód morskich w głąb lądu, w tym w kanał, lecz powstałe wrota przeciwsztormowe uniemożliwiają skutecznie jakkolwiek

napływ do jeziora wód morskich. Tylko w przypadku jednego punktu pomiarowego (Mielno) w kilku dniach pomiarowych odnotowano przewodności przekraczające $1000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, lecz prawdopodobnie przyczyną ich nie jest napływ wód morskich poprzez Kanał Jamneński, lecz napływ wód morskich drogą podziemną, o czym wspominał w swojej pracy Choński [33] lub Pietrucień [34]. Jest to tym bardziej prawdopodobne, że punkt pomiarowy w Mielnie znajduje się po północnej stronie linii brzegowej jeziora i ma najkrótszą odległość od linii brzegowej Morza Bałtyckiego.



Rys. 13. Zmienność przewodności właściwej ($\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) na jeziorze Jamno - posterunek Łabusz od 25 września 2013 roku do 20 września 2015 roku

Fig. 13. Specific conductivity ($\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) in Lake Jamno (Łabusz site) between September 25, 2013 and September 20, 2015

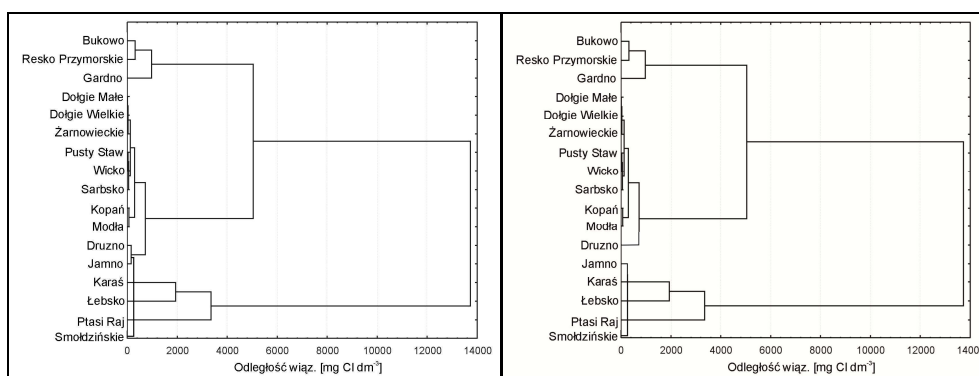


Rys. 14. Zmienność przewodności właściwej ($\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) na jeziorze Jamno - posterunek Mielno od 25 września 2013 roku do 20 września 2015 roku

Fig. 14. Specific conductivity ($\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) in Lake Jamno (Mielno site) between September 25, 2013 and September 20, 2015

Rozpatrując klasyfikację jezior przybrzeżnych Cieślińskiego [14], opartą na kryterium stopnia zasolenia ich wód (rys. 15), można stwierdzić, że jezioro Jamno przed budową wrót przeciwsztormowych zaliczane było do grupy jezior o wodach słodkich, z możliwością okresowego zasolenia, gdzie stężenia chlorków w warunkach przeciętnych nie przekraczały $200 \text{ mg Cl}^{-} \text{ dm}^{-3}$ (minimalnie $40 \text{ mg Cl}^{-} \text{ dm}^{-3}$). W wodach tych jezior obserwowano także pojawianie się okresowego zasolenia, gdzie stężenie chlorków wzrastało nawet do blisko $700 \text{ mg Cl}^{-} \text{ dm}^{-3}$. W chwili obecnej jezioro zaliczane jest do grupy jezior przybrzeżnych antropogenicznie

przeobrażonych. Obiekty te posiadają wody słodkie, w których stężenia chlorków wahały się w granicach od 8 do 40 mg Cl⁻ dm⁻³. Jeziora te posiadają powierzchniowe połączenia z morzem, choć brak jest oddziaływania morza na te obiekty, co związane jest z wymuszonym obiegiem wody oraz przekształceniami hydrotechnicznymi. Dopływy do tych jezior mogą odbywać się jedynie drogą podziemną od strony lądu oraz drogą powierzchniową ze zlewni. Są to obiekty całkowicie izolowane względem Morza Bałtyckiego.



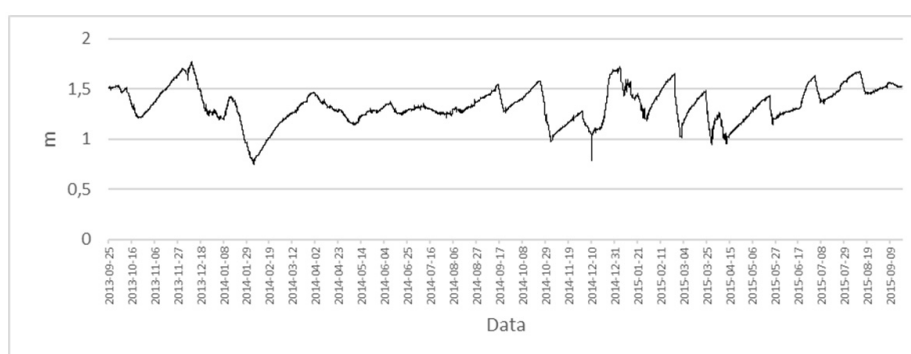
Rys. 15. Dendrogram grupowania jezior, charakteryzujący powiązania między minimalnymi, maksymalnymi i średnimi stężeniami chlorków w wodach wybranych jezior przybrzeżnych przed budową wrót na Kanale Jamneńskim (rys. z lewej) [14] i po ich wybudowaniu (rys. po prawej)

Fig. 15. Lake classification dendrogram showing minimum, maximum, and mean chloride concentrations in selected coastal lakes before the construction of the gates on the Jamneński Canal (Figure left) [14] and after their construction (Figure right)

4.2. Zmiany poziomu wody

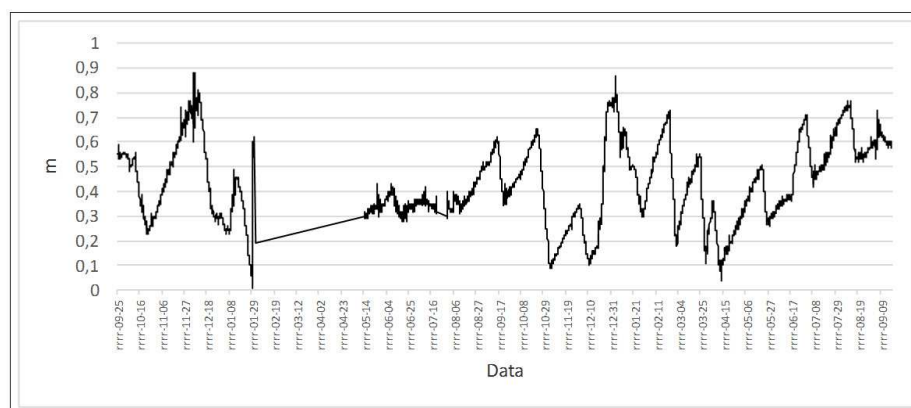
W przypadku dynamiki zmienności poziomu wody w jeziorze Jamno i Nurcie Jamneńskim nie obserwuje się tak wyraźnych zmian jak to było widoczne dla wartości przewodności właściwej. Według Dąbrowskiego [35], średnia roczna amplituda wahań w jeziorze Jamno w latach 1960-2000 wynosi 139 cm. Na podstawie danych z automatów pomiarowych rozmieszczonych w jeziorze bezwzględne wahania poziomu mierzone w stosunku do czujnika pomiarowego wynoszą w okresie od 25 września 2013 roku do 20 września 2015 roku odpowiednio dla poszczególnych stacji 87 cm (Koszałek), 103 cm (Łabusz) i 95 cm (Mielno). Można byłoby wysnuć wniosek, że amplituda wahań wody na jeziorze po zamontowaniu wrót przeciwsztormowych jest mniejsza od tej podawanej przez Dąbrowskiego (2004) o około 30÷40 cm. Jednakże w punkcie pomiarowym w Nurcie Jamneńskim amplituda wahań również jest niewielka i zbliżona do punktów pomiarowych na jeziorze Jamno. W tym przypadku zakres zmienności wahał się od 75 do 178 cm, co daje amplitudę rzędu 103 cm (rys. 16). Średni stan wody wyniósł natomiast 134 cm. Dla pozostałych punktów na jeziorze zakres zmienności wynosił od 1 do 88 cm dla stacji Koszałek (średnia 43 cm), od 45 do 148 cm dla stacji Łabusz (średnia 99 cm) i od 82 do 177 cm dla stacji Mielno (średnia 135 cm) (rys. 17-19).

Również zmienność poziomu wody w m n.p.m. w stosunku do zera w Amsterdamie nie wskazuje na istotne zmiany. Dla stacji Koszałek zakres zmienności wahał się od 4,50 do 5,87 m n.p.m., co daje różnicę rzędu 1,37 m n.p.m. Średnia dla tego posterunku wynosiła 5,42 m n.p.m. Drugi posterunek położony w Łabuszu charakteryzował się zmiennością na poziomie od 4,40 do 5,88 m n.p.m., co daje amplitudę rzędu 1,48 m n.p.m. Średnia z okresu 25.09.2013-20.09.2015 wyniosła natomiast 5,39 m n.p.m. Trzeci posterunek zlokalizowany na jeziorze Jamno w Mielnie uzyskał wartości z zakresu od 4,05 do 5,82 m n.p.m., co daje różnicę na poziomie 1,77 m n.p.m. Średnia obliczona dla tego punktu wyniosła 5,40 m n.p.m. Z kolei punkt zlokalizowany na Kanale Jamneńskim charakteryzował się zmiennością poziomu morza w m n.p.m. w stosunku do zera wodowskazowego w Amsterdamie na poziomie 1,78 m n.p.m. Zakres zmienności wahał się od 4,04 do 5,82 m n.p.m., zaś średnia z okresu 25.09.2013-20.09.2015 wyniosła 5,38 m n.p.m.



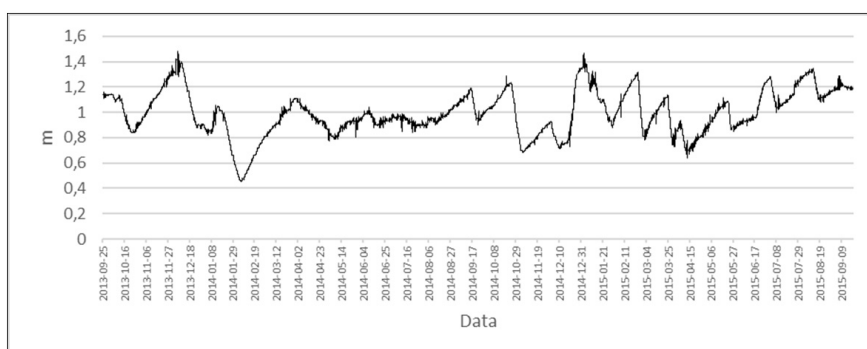
Rys. 16. Zmiany poziomu wody (m) na Kanale Jamneńskim od 25 września 2013 roku do 20 września 2015 roku

Fig. 16. Changes in water levels (m) in the Jamno Canal between September 25, 2013 and September 20, 2015



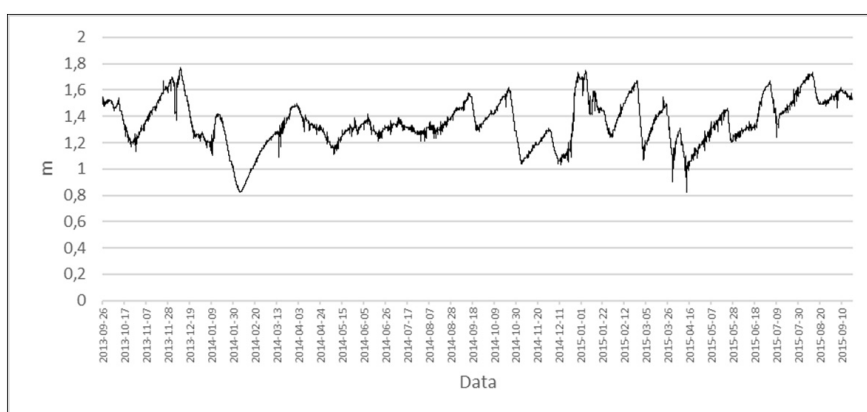
Rys. 17. Zmiany poziomu wody (m) w jeziorze Jamno - profil Koszałek od 25 września 2013 roku do 20 września 2015 roku

Fig. 17. Changes in water levels (m) in Lake Jamno (Koszalek site) between September 25, 2013 and September 20, 2015



Rys. 18. Zmiany poziomu wody (m) w jeziorze Jamno - profil Łabusz od 25 września 2013 roku do 20 września 2015 roku

Fig. 18. Changes in water levels (m) in Lake Jamno (Łabusz site) between September 25, 2013 and September 20, 2015



Rys. 19. Zmiany poziomu wody (m) w jeziorze Jamno - profil Mielno od 25 września 2013 roku do 20 września 2015 roku

Fig. 19. Changes in water levels (m) in Lake Jamno (Mielno site) between September 25, 2013 and September 20, 2015



Rys. 20. Cofnięcie się brzegu jeziora Jamno w miejscowości Mielno [36]

Fig. 20. Withdrawal of the shore of Lake Jamno in Mielno [36]



Ryc. 21. Zbiornik retencyjny na rzece Dzierżęcince

Fig. 21. Reservoir on the river Dzierżęcinka

Co istotne, w okresie dwóch lat od uruchomienia wrót przeciwsztormowych notuje się stałe cofanie się linii brzegowej jeziora. W miejscowości Mielno brzeg cofnął się o około 10 m (rys. 20), co wskazuje na zmniejszenie wielkości dopływu do jeziora. Są to prawdopodobnie oscylacje krótkie. Jednym z istotnych faktów jest to, że w momencie blokowania poprzez wrota przeciwsztormowe jakiegokolwiek napływu od strony morza jezioro zostało pozbawione zasilania na poziomie około 30 mln m³ wody rocznie. Dodatkowo taki wpływ może mieć także zmiana zabudowy hydrotechnicznej na największym dopływie do jeziora - rzece Dzierżęcince, gdzie zamontowano próg wodny, jaz oraz wybudowano zbiornik retencyjny w mieście Koszalin (rys. 21).

Wnioski

Głównym i najbardziej widocznym efektem wpływu powstałych wrót przeciwsztormowych jest zmiana stanu jakościowego wód jeziora Jamno, a w szczególności zmiana stężeń wskaźników odmorskich, np. przewodności właściwej. Rozpatrując wyniki uzyskane dla tego wskaźnika, można stwierdzić, że w wodach jeziora Jamno przed wykonaniem wrót na Kanale Jamneńskim jej wartości świadczyły o wpływie wód morskich na jezioro. Bardzo często przekraczały one 1000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Po wybudowaniu wrót przeciwsztormowych doszło do całkowitego wysłodzenia wód Jeziora Jamno. Nie obserwuje się już w zasadzie przewodności właściwej przekraczającej wartość graniczną dla wód słonawych, a jeśli już taka sytuacja

zaistnieje, to przyczyną jest dopływ podziemny wód morskich. Nigdy natomiast od momentu powstania wrót przeciwsztormowych nie odnotowano zjawiska intruzji wód morskich drogą powierzchniową. Można zatem stwierdzić, że powstałe wrota przeciwsztormowe uniemożliwiają skutecznie jakikolwiek napływ do jeziora wód morskich (nawet w sytuacji niewielkiego piętrzenia na Morzu Bałtyckim), a przez to spowodowały zmianę reżimu hydrochemicznego jeziora. Zgodnie z klasyfikacją Cieślińskiego [14] jezior przybrzeżnych polskiej strefy brzegowej południowego Bałtyku, opartą o kryterium zasolenia wód, jezioro Jamno przed wybudowaniem wrót przeciwsztormowych zaliczane było do grupy jezior o wodach słodkich z możliwością okresowego zasolenia. W chwili obecnej, w dwa lata od powstania wrót przeciwsztormowych, zaliczane jest już do grupy jezior przybrzeżnych antropogenicznie przeobrażonych, gdzie obiekty takie w ciągu roku posiadają wyłącznie wody słodkie.

Drugim aspektem zmian wynikających z budowy wrót przeciwsztormowych jest zmiana amplitudy wahań wód na jeziorze. Obecnie obserwowane są spadki amplitudy o wielkość rzędu 30÷40 cm. Wskazują one podobnie jak zasolenie na brak dopływu wód morskich, które w przeszłości w sposób gwałtowny powodowały wzrosty poziomu wody w jeziorze. Zatem ich zmiany są generowane wyłącznie poprzez dopływ ze strony zlewni. Brak natomiast oddziaływania ze strony morza w postaci zjawiska cofki powierzchniowej.

Powyższe dwa aspekty spowodowały, że warunki hydrologiczne i hydrochemiczne dla jeziora Jamno uległy istotnym zmianom, przez co mamy do czynienia z zupełnie innym obiektem hydrograficznym. Można zatem stwierdzić, że reżim hydrochemiczny wód jeziora Jamno w wyniku postępującej zabudowy hydrotechnicznej uległ intensywnej zmianie.

Do niedawna na polskim wybrzeżu istniały dwa jeziora przybrzeżne (Jamno i Gardno) charakteryzujące się specyficznymi warunkami hydrologicznymi, hydrochemicznymi i hydrobiologicznymi. Wynikały one z dominacji przez większą część roku oddziaływania zlewni na jezioro i tylko okresowego zasilania wodami morskimi w momencie występowania zjawiska intruzji wód słonawych. Taki obieg wody spowodował wytworzenie specyficznych warunków hydrochemicznych i hydrodynamicznych, a te decydowały o ekosystemie jeziora. Po wybudowaniu wrót przeciwsztormowych całkowitej zmianie uległ obieg wody w zlewni jeziora Jamno, a przez to zmieniły się cechy jakościowe i biologiczne jego wód. W konsekwencji unikatowe jezioro na skalę polskiego wybrzeża zostało zniszczone, przez co na wybrzeżu pozostało już tylko jedno jezioro tego typu (jezioro Gardno).

Literatura

- [1] Brauer C.C., Teuling A.J., Torfs P.J., Uijlenhoet R., Investigating storage-discharge relations in a lowland catchment using hydrograph fitting, recession analysis, and soil moisture data, *Water Resources Research* 2013, 49, 7, 4257-4264.
- [2] Trousselier M., Coastal lagoon, [in:] J. Cutler (ed.), *Encyclopedia of Earth*, Cleveland, Washington D.C. 2007.

- [3] Chauvelon P., Tournoud M.G., Sandoz A., Integrated hydrological modeling of a managed coastal Mediterranean wetland (Rhône delta France): initial calibration, *Hydrology and Earth Sciences* 2003, 7, 1, 123-131.
- [4] Lawrie R.A., Stretch D.D., Perissinotto R., The effects of wastewater discharges on the functioning of a small temporarily open/closed estuary, *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 2010, 87, 237-245.
- [5] Potter I.C., Chuwen B.M., Hoeksema S.D., Elliott M., The concept of an estuary: A definition that incorporates systems which can become closed to the ocean and hypersaline *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 2010, 87, 497-500.
- [6] Schallenberg M., Larned S.T., Hayward S., Arbuckle C., Contrasting effects of managed opening regimes on water quality in two intermittently closed and open coastal lakes, *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 2010, 86, 4, 587-597.
- [7] Morris B.D., Turner I.L., Morphodynamics of intermittently open-closed coastal lagoon entrances: New insights and a conceptual model, *Marine Geology* 2010, 271, 55-66.
- [8] Elliot M., Whitfield A.K., Challenging paradigms in estuarine ecology and management, *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 2011, 94, 306-314.
- [9] Dye A.H., Influence of isolation from the sea on spatial patterns of macroinfauna in intermittently closed/open coastal lakes in New South Wales, *Austral Ecology* 2006, 31, 913-924.
- [10] Astel A.M., Bigus K., Obolewski K., Glińska-Lewczuk K., Spatiotemporal assessment of water chemistry in intermittently open/closed coastal lakes of Southern Baltic, *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 2016, DOI: 10.1016/j.ecss.2016.09.010.
- [11] Goździewicz A., Glińska-Lewczuk K., Obolewski K., Grzybowski M., Kujawa R., Lew S., Grabowska M., Effects of lateral connectivity on zooplankton community structure in floodplain lakes, *Hydrobiologia* 2016, 774, 7-21.
- [12] Obolewski K., Glińska-Lewczuk K., Strzelczak A., Does hydrological connectivity determine the benthic macroinvertebrate structure in oxbow lakes? *Ecohydrology* 2015, DOI: 10.1002/eco.1599.
- [13] Heese T., Ekspertyza w zakresie oceny wpływu przedsięwzięcia na cele ochrony wód w rozumieniu art. 4.1. w związku z artykułem 4.7. Ramowej Dyrektywy Wodnej dla przedsięwzięcia pt: Etap I - Modernizacja i odbudowa brzegów morskich, ochrona Mierzei Jamneńskiej 2012, Koszalin.
- [14] Cieśliński R., Geograficzne uwarunkowania zmienności hydrochemicznej jezior wybrzeża południowego Bałtyku, Wyd. UG, Gdańsk 2011.
- [15] Choiński A., Katalog jezior Polski, Wyd. UAM, Poznań 2007.
- [16] Jańczak J. (red.), Atlas jezior Polski, Tom II, Wyd. Naukowe Bogucki, Poznań 1997.
- [17] Raport o stanie środowiska w województwie zachodniopomorskim w latach 2006-2007, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Szczecinie, Szczecin 2008.
- [18] Obolewski K., Wykorzystanie makrozoobentosu do oceny stanu ekologicznego estuariowego jeziora Jamno, *Ochrona Środowiska* 2009, 31, 2, 17-24.
- [19] Mudryk Z., Bakterie heterotroficzne w procesach transformacji materii organicznej w jeziorach estuariowych, Wyd. WSP, Słupsk 1994.
- [20] Nowicka B., Wronko D., Hydrological monitoring of Jamno Lake, Natura Foundation of Environmental protection, Warszawa 1997 (maszynopis).
- [21] Majewski A., Charakterystyka hydrologiczna estuariowych wód u polskiego wybrzeża, *Prace PIHM* 1972, 105, 3-37.
- [22] Szmida K., Hydrologia jezior przybałtyckich ze szczególnym uwzględnieniem jeziora Jamno, *Stud. i Mater. Oceanol.* 1973, 3, 15-25.
- [23] Szwichenberg A., Jezioro Jamno w świetle najnowszych badań geologicznych i ekologicznych, *Człowiek i Środowisko* 1989, 343-355.

- [24] www.hydrowskaz.pl
- [25] EWREKA Ewa Drewniak, Studium wykonalności dla zadania „Zabezpieczenie przeciwpowodziowe zlewni jeziora Jamno wraz z rewitalizacją rzeki Dzierżęcinki - zabezpieczenie terenów zabudowanych m. Koszalin” 2011, tom I, Szczecin (maszynopis).
- [26] Świdarska-Bróz M., Jakość i zmienność składu wody rzeki Parsęty i Radwi oraz jeziora Jamno i Bukowo, Zeszyty Naukowe Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska 1996, 10, 155-173.
- [27] Szmidt K., Rola Morza Bałtyckiego w kształtowaniu stosunków hydrograficznych jezior przybrzeżnych ze szczególnym uwzględnieniem jeziora Jamno, Zeszyty Geograficzne WSP w Gdańsku 1967, 9, 47-76.
- [28] Kubiak J., Wstępne dane o stopniu zanieczyszczenia i chemizmie wód Równiny Białogardzkiej i Koszalińskiej części Wybrzeża Słowińskiego, Zeszyty Naukowe Politechniki Koszalińskiej 1996, 10, 145-154.
- [29] Choiński A., Gogołek A., Mrugalski T., Wieloletnie zmiany chemizmu wód jeziora Jamno, Badania Limnologiczne 1998, 1, 107-115.
- [30] Choiński A., Gogołek A., Changes in water chemistry of Lake Jamno over the years 1996-2004, Limnological Review 2005, 5, 27-37.
- [31] Piński D., Zasięg i intensywność intruzji morskich do wód jeziora Jamno, Katedra Hydrologii Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2005 (maszynopis).
- [32] Choiński A., Lange W., Zmienność przewodności elektrycznej właściwej wód jeziora Jamno, Rocznik Fizyczno-Geograficzny 1996, 1, 19-24.
- [33] Choiński A., Związek wód gruntowych mierzei jeziora Jamno z wodami morskimi i jeziornymi, Badania Fizjograficzne nad Polską Zachodnią, Seria A, Geografia Fizyczna 1981, 34, 47-67.
- [34] Pietrucień C., Regionalne zróżnicowanie warunków dynamicznych i hydrochemicznych wód podziemnych w strefie brzegowej południowego i wschodniego Bałtyku, Wyd. UMK, Toruń 1983.
- [35] Dąbrowski M., Trends in changes of lake water levels in the Pomerania Lakeland, Limnological Review 2004, 4, 75-80.
- [36] <http://www.gk24.pl/archiwum/art/4549793,jezioro-jamno-wysycha-brzeg-cofnal-sie-o-10-metrow,id,t.html#!>

University of Gdansk, Institute of Geography
Department of Hydrology
ul. Bażyńskiego 4, 80-952 Gdańsk
e-mail: georc@ug.edu.pl

Streszczenie

Celem pracy jest określenie zmian zasolenia i poziomu wody jeziora Jamno, jakie zaszły w wyniku budowy wrót przeciwsztormowych. Jest to o tyle istotny aspekt, gdyż w przypadku jezior przybrzeżnych raczej dąży się do „otwarcia” obiektu na bezpośrednie oddziaływanie morza, a nie jego „zamykanie”. Oczywiście istnieje także wiele przykładów na świecie tworzenia takiej zabudowy hydrotechnicznej, której celem jest ochrona przed zjawiskiem powodzi od strony morza. Często wynika ona ze zmian klimatycznych powodujących wzrost liczby obserwowanych zjawisk ekstremalnych, przykładem czego są wrota przeciwsztormowe na Tamizie. W związku z powyższym należy zawsze zastanowić się nad sensem tworzenia takich budowli i ich późniejszego wpływu na środowisko biotyczne i abiotyczne. Również należy z niezwykłą starannością przygotować projekt takiej budowy, aby nie spowodował on więcej strat niż korzyści. Główne prace polegały na kwerendzie materiałów źródłowych oraz pracach terenowych w okresie przed budową wrót przeciwsztormowych (lata 2002-2008) i po ich budowie (rok 2015), podczas których wykonano kartowanie hydrograficzne oraz

pobór próbek wody do analiz laboratoryjnych. Najważniejszym źródłem informacji o zmianach, jakie zaszły po budowie wrót przeciwsztormowych, była strona internetowa www.hydrowskaz.pl. Na stronie zamieszczono dane dotyczące zmian poziomu wody i wielkości przewodności właściwej na jeziorze Jamno i Kanale Jamneńskim. Głównym i najbardziej widocznym efektem wpływu powstałych wrót przeciwsztormowych jest zmiana stanu jakościowego wód jeziora Jamno, a w szczególności zmiana stężeń wskaźników odmorskich, np. przewodności właściwej, które uległy zmianie z typowych dla wód słonawych na typowe dla wód słodkich. Drugim widocznym efektem zmian jest zmniejszenie amplitudy wahań poziomu wody w jeziorze o rząd w skali roku 30÷40 cm.

Słowa kluczowe: jezioro Jamno, wrota przeciwsztormowe, przewodność właściwa, zasolenie, poziom wody