



Charakterystyka wybranych cech hydrologicznych jezior przymorskich jako konsekwencja zmiany klimatu

Characteristics of selected hydrological features of coastal lakes as these reflect climate change

Roman Cieśliński Izabela Chlost

Uniwersytet Gdański

Wydział Oceanografii i Geografii

ul. Bażyńskiego 4, 80-309 Gdańsk

roman.cieslinski@ug.edu.pl (autor korespondencyjny) • izabela.chlost@ug.edu.pl

Zarys treści. W pracy przedstawiono wybrane charakterystyki hydrologiczne i fizyczne jezior przymorskich ukształtowane pod wpływem obserwowanej zmiany elementów klimatycznych. Charakterystyki objęły: opady atmosferyczne, dopływ potamiczny, stany wody jezior, wahania poziomu oraz alimentację od strony morza, rozpatrywane dla lat 1961-2010. W badaniach uwzględniono zmiany powierzchni i wypływanie jezior oraz zmiany temperatury i zlodzenia. Do badań wybrano dwa jeziora przymorskie – Gardno i Łebsko. W toku badań ustalono, że kierunek ewolucji badanych jezior nie jest jednoznaczny, chociaż wiele wskazuje na to, iż zachodzący w czasie geologicznym proces ich przekształcania się będzie podlegał przyspieszeniu, w wyniku którego końcowe stadium zaniku zostanie osiągnięte o wiele szybciej niż wynikałoby to z naturalnego procesu starzenia się jezior. Wiele z przebadanych parametrów opisujących własności hydrologiczne i fizyczne obu jezior wykazało tendencje skorelowane z globalnym ociepleniem. Zanotowany wzrost dopływu potamicznego o wartości $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} / 10 \text{ lat}$ (Łupawa) i $0,27 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} / 10 \text{ lat}$ (Łeba) oraz poziomu morza ($1,6\text{-}1,8 \text{ cm} / 10 \text{ lat}$) są gwarancją formowania się stabilnych zasobów wodnych w jeziorach i powinny wpływać na wzrost ich stanów wody. Jednak, jak pokazały przeprowadzone badania, oba jeziora reagowały odmiennie na zasilanie, czego efektem był ujemny trend poziomu wody w jeziorze Gardno ($-0,17 \text{ cm} / 10 \text{ lat}$), ale dodatni w jeziorze Łebsko ($1,40 \text{ cm} / 10 \text{ lat}$).

Słowa kluczowe: jeziora przybrzeżne, Słowiński Park Narodowy, zmiana klimatu, ilość wody, batymetria, trendy statystyczne.

Keywords: *coastal lakes, Słowiński National Park, Poland, climate change, quantity of water, bathymetry, statistical trends.*

Wstęp

Zmiana klimatu jest jednym z najpoważniejszych zagrożeń dla globalnych ekosystemów jezior. Warunki powierzchniowe jezior, m.in. pokrywa lodowa czy temperatura powierzchni, dramatycznie reagują na to zagrożenie, co zaobserwowano w ostatnich dziesięcioleciach (Woolway et al., 2020). Zmiana klimatu jest zjawiskiem globalnym, które może być jednocześnie modyfikowane przez regionalne i lokalne warunki środowiskowe (Xie et al., 2018). Współcześnie zmiana klimatu niesie za sobą liczne konsekwencje w środowisku geograficznym, m.in. wzrost temperatury powietrza i wód powierzchniowych, zmiany wielkości opadów atmosferycznych, wzrost poziomu wody, przyspieszone tempo ewapotranspiracji, zmiany zasolenia, a także zwiększenie liczby obserwowanych zjawisk ekstremalnych,

w tym powodzi i susz (Joehnk et al., 2008). Szczególnie widoczne zmiany zachodzą w warunkach hydrologicznych i hydrograficznych, zarówno w aspekcie ilości wody biorącej udział w obiegu, jak i jej jakości (Xia et al., 2014). Obiektami, na które najmocniej wpływają anomalie klimatyczne są jeziora, co wynika ze stabilności ich wód (wody stojące) oraz obserwowanych nadwyżek dostawy energii i materii. W konsekwencji są to najmniej trwałe z geologicznego punktu widzenia obiekty hydrograficzne, dla których w Polsce średni perspektywiczny wiek szacowany jest na 2000 lat (Choiński i Ptak, 2019), choć w przypadku jezior przybrzeżnych czas ten może się wydłużyć ze względu na stały wpływ wód morskich (Cieśliński, 2018). Anomalie klimatyczne mają silny wpływ na środowisko biotyczne i abiotyczne ekosystemów jeziornych, których rezultatem może być przyspieszone tempo ich zarastania (Xia et al., 2015; Yang et al., 2018). W przypadku każdego jeziora jest ono jednak silnie zróżnicowane i zależne od wielu czynników naturalnych, zarówno globalnych (ocieplenie klimatyczne), jak i regionalnych oraz lokalnych (morfometria misy jeziornej, zasilanie, wielkość i rodzaj zlewni jeziora, podatność na zanieczyszczenia, zbyt niska wymiana wód, resuspencja osadów dennych) (Choiński et al., 2016), a także od czynników antropogenicznych (Kaniecki, 1997), np. prowadzenia zabiegów melioracyjnych wpływających na wahania stanów wody, których udział Zhang et al. (2019) szacują na około 30%. Również złe zarządzanie wodami, np. w produkcji rolnej, może przyczynić się do zaniku jezior (Schulz et al., 2020). W skrajnych przypadkach nieodpowiednich działań człowieka może dojść do całkowitego spłynięcia wody z jeziora (Choiński et al., 2012). Niemniej jednak, każde jezioro ulega zmniejszeniu w czasie do całkowitego zaniku. Dla przykładu badania jeziora Vorts (Estonia) wykazały, że uległo ono zmniejszeniu o około 7,3% w ciągu 22 lat obserwacji (Liira et al., 2010), z kolei jezioro Maracaibo (Wenezuela) zmniejszyło swą powierzchnię o około 2,8% w ciągu zaledwie czterech lat (Kiage i Walker, 2009). W tym drugim przypadku autorzy wskazują, że główną przyczyną tak szybkiego zaniku są współcześnie zmieniające się warunki klimatyczne. Z kolei według badań Papastergiadou et al. (2008) przeprowadzonych dla jeziora Cheimaditida, położonego w północnej Grecji, w okresie około 50 lat jego powierzchnia zmniejszyła się o 99,5%. Badania Choińskiego et al. (2016) jezior środkowo-zachodniej Polski wskazują, że w ciągu 50 lat nastąpił spadek ich powierzchni o 14,8%, zaś ilość zmagazynowanych w nich wód o 7,7%. Z kolei w pracy Ptaka et al. (2021) dotyczącej sześciu jezior zachodniej Polski ustalono, że w okresie ponad stu lat ich powierzchnia zmniejszyła się o 12,2%, zaś pierwotna objętość zbiorników o 13,9%, co wiązać należy z czynnikami naturalnymi (zarastanie i spływanie), jak i antropogenicznymi (zmiana poziomu wody), a także zmianą klimatu (globalne ocieplenie). Według pesymistycznych prognoz w wyniku zmiany temperatury powietrza na świecie do końca XXI w. liczba jezior zmniejszy się o 79% (Maberly et al., 2020).

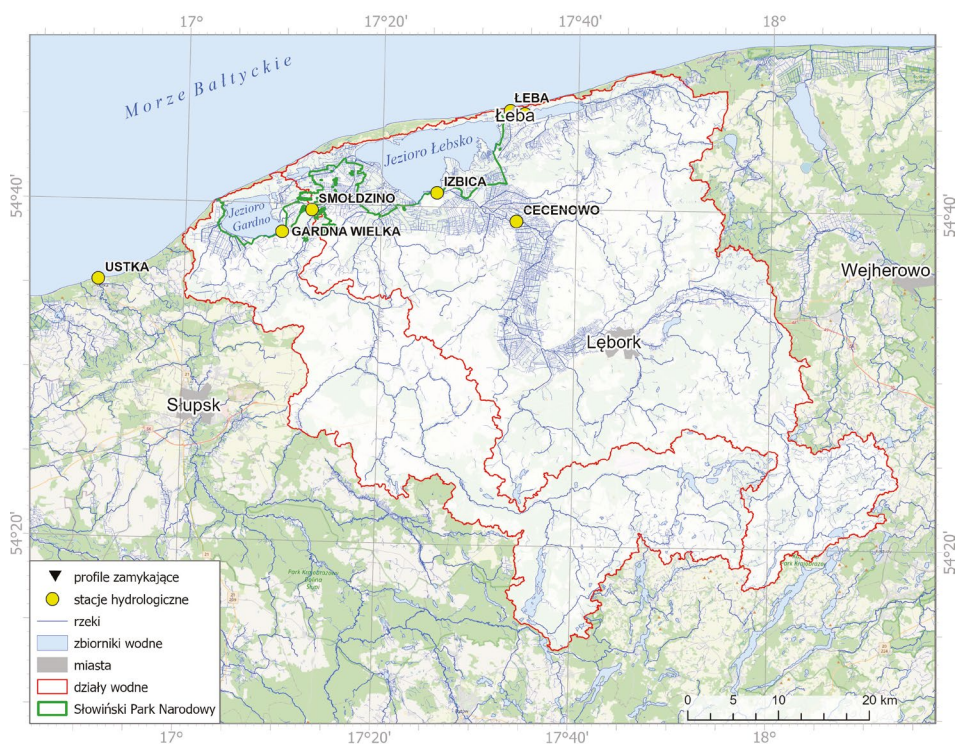
Wybrane do analizy jeziora były tematem wielu prac dotyczących m.in. morfometrii jezior, hydrologii zlewni oraz oddziaływania intruzji wód morskich na ich jakość (Halbfass, 1901a, 1901b, 1904; Kunisch, 1913; Wojciechowski, 1990; Ptak, 2013; Choiński, 2017). Z kolei temat zmian powierzchni i objętości obu jezior był poruszany w pracach takich autorów jak: Balicki (1980), Schechtl (1984), Tobolski et al. (1997), Michałowska i Hejmanowska (2008), Mironik et al. (2019). Problem zmian temperatury wody w jeziorach i ich największych dopływach oraz przyczyny i konsekwencje tych zmian, m.in. skrócenie okresu lodowego w jeziorach, znaleźć można w pracach Girjatowicza (2003), Choińskiego et al. (2015), Wrzeńskiego et al. (2015), Ptaka et al. (2016, 2018, 2019). Jeszcze inną podejmowaną w publikacjach naukowych problematyką była dynamika wahań stanów

wody jeziora Gardno i Łebsko, często powiązana z wpływem intruzji wód morskich na te stany. Wśród prac o tej tematyce znalazły się opracowania Szopowskiego (1962), Jędrasika i Cyberskiego (2000), Choińskiego i Kanieckiego (2004), Chlost i Cieślińskiego (2005) czy Cieślińskiego (2013). Na ich podstawie możliwe było wyliczenie bilansu wodnego obu jezior, co zrealizowali: Weber (1973), Chlost (2009, 2019), Cieśliński et al. (2016), Choiński et al. (2016) czy Ptak et al. (2021).

Celem pracy jest rozpoznanie kierunków i tempa zmian wybranych parametrów hydrologicznych i morfologicznych zachodzących w jeziorach przybrzeżnych polskiej strefy brzegowej pod wpływem obserwowanej zmiany klimatu.

Obszar badań, materiały i metody

Analizy objęły charakterystykę tych elementów, które w sposób zasadniczy decydują o kształtowaniu zasobów wodnych badanych jezior (opady atmosferyczne, dopływ potamiczny, dopływ od strony morza, zmiany morfometrii mis jeziornych) lub wpływają na cechy fizyczne wód jeziornych (stany wody, temperatura wody i zjawiska lodowe). Do badań wybrano jeziora Gardno i Łebsko (ryc. 1, tab. 1), położone w strefie brzegowej Morza Bałtyckiego i stanowiące główne ekosystemy wodne Słowińskiego Parku Narodowego. Jezio-



Ryc. 1. Położenie obiektów badań w strefie brzegowej południowego Bałtyku
Locations of the research objects in the coastal zone of the southern Baltic Sea

Tabela 1. Cechy morfometryczne jezior Gardno i Łebsko
Morphometric characteristics of Lakes Gardno and Łebsko

Jezioro	Głębokość [m]		Powierzchnia [km ²]	Objętość [10 ⁶ m ³]	Wysokość [n.p.m.]	Zlewnia	Powierzchnia zlewni [km ²]
	max	min					
Gardno	2,6	1,3	23,38	30,95	0,3	Łupawa	924,5
Łebsko	6,3	1,6	70,20	117,52	0,3	Łeba	1801,2

Źródło: Choiński (2006), uzupełnione.

ra cechują niekorzystne parametry morfometryczne (niewielkie głębokości maksymalne i średnie przy dużej powierzchni) oraz położenie w końcowym odcinku zlewni rzecznych, co skutkuje dużym obciążeniem ładunkami zanieczyszczeń biogenicznych migrujących z ich obszaru. Jeziora połączone są z morzem ujściowymi odcinkami rzek przebijającymi się przez pas Mierzei Łebskiej. Jako jeziora przepływowe charakteryzują się dość szybkim tempem wymiany wód, wynoszącym w przypadku Łebska 4,8 (Choiński i Kaniecki, 2004). Cechy morfometryczne sprzyjają falowaniu i miksji, podczas której wzbudzone są z dna osady, ograniczające przezroczystość wody. Makroklimatycznie obszar podlega pod region nadmorski wschodni, z największą w Polsce liczbą godzin usłonecznienia rzeczywistego (1630 godz./rok) oraz zróżnicowaniem typów topo- i mikroklimatycznych będących rezultatem rzeźby terenu i pokrycia podłoża (Kolendowicz i Bednorz, 2011). Przeważają tu wiatry z sektora W i SW stanowiące 38% obserwacji, a średnia prędkość wiatru osiąga 5,0 m³ (Baranowski, 2008).

Badania przeprowadzono wielotorowo, w oparciu o dane wybranych parametrów hydrologicznych i fizycznych z posterunków należących do sieci pomiarowo-obszaryjnej IMGW z lat 1961-2010 w ujęciu kalendarzowym. Dane dotyczyły następujących parametrów: wielkości opadów atmosferycznych (dla posterunków Ustka i Łeba) i wahań poziomu wody morza dla tych samych stacji, następnie stanów wody, temperatury wody i obserwacji zjawisk lodowych jeziora Gardno (Gardna Wielka) i Łebsko (Izbica) i wreszcie wielkości dopływu potamicznego rzeką Łupawą (Smółdzino) oraz Łebą (Cecenowo). Dane obejmowały wartości średnie roczne i średnie miesięczne, a w przypadku temperatury wody również wartości maksymalne (roczne i miesięczne). Surowe dane zostały uporządkowane, przetworzone i poddane obliczeniom miar statystycznych dla całego okresu badawczego, lat, miesięcy, a także dekad (łącznie pięć). Do tego celu wykorzystano metodę regresji liniowej, współczynnik determinacji oraz określenie istotności zmiennych objaśniających za pomocą testu Manna-Kendalla na poziomie istotności $\alpha=0,05$. Ponadto przeprowadzono kwerendę materiałów publikowanych i archiwalnych, które stały się podstawą do analiz zmian powierzchni, morfometrii i wielkości retencji obu jezior w wyniku ich zarastania oraz dostawy osadów przez największe dopływy rzeczne. Zmiany cech morfometrycznych jezior i ich powierzchni przeanalizowano na podstawie dostępnych planów batymetrycznych (jeziora Łebsko z lat 1963 i 2002 oraz jeziora Gardno obejmujących lata 1912, 1959, 1983 i 2002), jak też materiałów kartograficznych (pochodzących z 1836, 1936 i 1986 r.). Zebrane archiwalia zostały uzupełnione o dane literaturowe.

Dopełnieniem materiału badawczego stały się dane terenowe pochodzące z sond samorejestrujących 6920V2 firmy YSI Sontek, które wykonywały stały pomiar wahań poziomu wody w latach 2008-2012. Sondy zostały zamontowane pod bojami zakotwiczonymi w północno-zachodniej części jeziora Gardno i w północno-wschodniej części jeziora Łeb-

ska, na wysokości odpływu z jezior do morza. Pomiary te wykonano z jednogodzinnym interwałem czasowym. W pracy obliczono także wskaźnik trwałości basenu jeziornego Kerekesa (1977) jako stosunek objętości jeziora (tys. m³) do długości linii brzegowej (km), który określa czas, w jakim jezioro powinno ulec zanikowi.

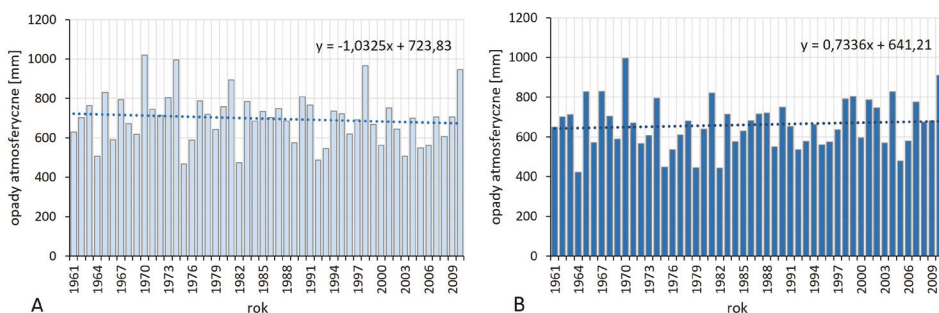
Rezultaty i dyskusja

Zmiany sum opadów atmosferycznych i odpływu potamicznego

Zmiany opadów atmosferycznych jako elementu zasilającego sieć hydrograficzną odgrywają zasadniczą rolę w kształtowaniu zasobów i funkcjonowaniu ekosystemów wodnych. Do analiz tego parametru wykorzystano stacje w Ustce i Łebie. Średnia roczna suma opadów dla pasa wybrzeża, na którym znajdują się jeziora Gardno i Łebsko, wyniosła 679 mm i malała z zachodu na wschód od 698 mm (Ustka) do 660 mm (Łeba). Przebieg rocznych sum opadów na obu stacjach w latach 1961-2010 cechował się heterogenicznością w ujęciu czasowym. To zróżnicowanie obejmowało zakres zmienności od >400 mm do >1000 mm (ryc. 2) i nieregularne wahania sum opadów z roku na rok.

Metoda regresji liniowej służąca ocenie zmian sum opadów wykazała w Ustce (1961-2010) ujemny trend liniowy o wartości -10,33 mm/10 lat, determinowany przez wagą liczbową miesięcy, w których odnotowano zmniejszenie opadów atmosferycznych. Dotyczy to miesięcy sezonu zimowego i wiosennego (od listopada do maja) oraz miesiąca lipca. Zakres zmienności wahał się tu od -0,06 mm/10 lat (w marcu) do -5,38 mm/10 lat (w listopadzie). W pozostałych miesiącach, o dodatnim znaku trendu, przyrost opadów zmieniał się w granicach od 0,20 mm/10 lat do 2,54 mm/10 lat, z minimum we wrześniu i maksimum w sierpniu.

Na stacji w Łebie zmienność opadów atmosferycznych w badanym okresie 1961-2010 systematycznie wzrastała, osiągając wartość trendu na poziomie 7,34 mm/10 lat, ale w połowie miesiący roku wartości współczynnika regresji były ujemne, a w drugiej połowie – dodatnie (tab. 2). W miesiącach przełomu lata i jesieni (sierpień–październik) wystąpił przyrost opadów, a oprócz tego jeszcze w styczniu, marcu i czerwcu. Ujemny trend w zakresie od -0,13 do -2,30 mm/10 lat występował nieregularnie, ale największy ubytek odnotowano w kwietniu. Test trendów liniowych wykazał brak istotności statystycznej badanych zmiennych. Otrzymane dane wpisały się w badania prowadzone przez Kirschenstein (2013).



Ryc. 2. Opady roczne na stacji pomiarowej: A – Ustka i B – Łeba
Annual precipitation at weather stations: A – Ustka; B – Łeba

Rola oddziaływania zmiany klimatu na odpływ rzeczny jest przedmiotem szerokich badań naukowych, ze względu na ogromne znaczenie rzek w gospodarce wodnej, ale otrzymane wyniki pokazują zróżnicowane scenariusze tych oddziaływań. Część badań potwierdza, że wpływ zmieniających się podstawowych elementów klimatu, jakim jest temperatura powietrza i opady atmosferyczne prowadzi do wyraźnych zmian w odpływie zarówno w ujęciu globalnym, jak też regionalnym i lokalnym. Zmiany te mogą być ukierunkowane dodatnio lub ujemnie, w zależności od zlewni i jej położenia geograficznego (Lin et al., 2008; Gusev et al., 2019). W przypadku rzek Polski reakcja na zmianę klimatu nie przyniosła jednoznacznych rezultatów i określana jest jako niepewna (Pociask-Karteczka, 2011), wskazując raczej na okresowe kształtowanie odpływu potamicznego różnymi rodzajami cyrkulacji atmosferycznej (Marsz i Styszyńska, 2021).

Trendy zmian odpływu rzek zasilających badane jeziora (ryc. 3) wykonano dla największych dopływów: rzeki Łupawy (Gardno) i Łeby (Łębsko).

Na podstawie uzyskanych wyników ustalono, że przepływ w wieloleciu 1961-2010 charakteryzował się w obu rzekach tendencją wzrostową. W przypadku Łupawy dodatni trend wyniósł $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} / 10 \text{ lat}$, podczas gdy dla rzeki Łeby był o 35% większy i oscylował w granicach $0,27 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} / 10 \text{ lat}$. Zmienność średniego rocznego przepływu w kolejnych latach podlegała okresowym fluktuacjom, związanym z nierównomiernością zasilania atmosferycznego.

Podobny, pozytywny rezultat otrzymano w odniesieniu do zmian przepływów w poszczególnych miesiącach badanego okresu i wyniki te należy uznać za statystycznie istotne na poziomie 0,05. Jedyny wyjątek stanowił miesiąc sierpień na rzece Łębie, w którym wartość trendu uzyskała znak ujemny i równała się $-0,11 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} / 10 \text{ lat}$ (tab. 3). Zakres trendów dodatnich wahał się w skali od 0,02 do $0,44 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} / 10 \text{ lat}$ (rzeka Łupawa) i od 0,01 do $0,76 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} / 10 \text{ lat}$ (rzeka Łeba). Największe wzrosty przepływów charakteryzowały miesiące przełomu zimy i wiosny (luty-marzec).

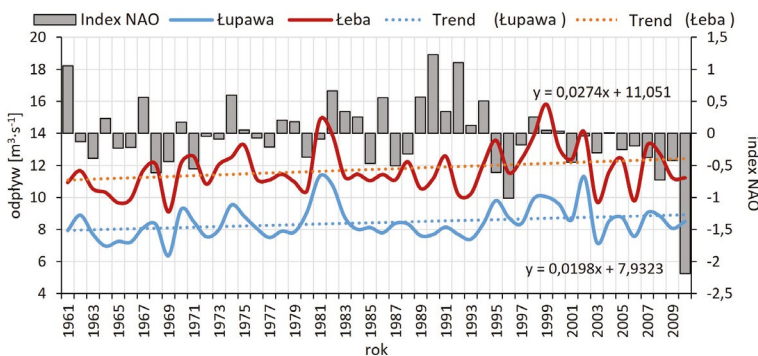
Bezpośrednie zależności między opadem a odpływem rzekami Łupawą i Łebą są słabo skorelowane. Wynika to z kilku aspektów: po pierwsze – położenia stacji mierzących opad w końcowym odcinku zlewni rzecznych, po drugie – zasilania rzek przymorskich głównie drogą podziemną, których udział przekracza 70% odpływu całkowitego (84,3% – Łupawa, 77,4% – Łeba) (Wrzesiński, 2014) oraz lokalnych warunków fizycznogeograficznych tychże zlewni. Powiązanie między dwoma zmiennymi parametrami (ryc. 4) wypada na korzyść rzeki Łupawy (0,60). Wartość wskaźnika determinacji jest niższa dla Łeby (0,49), z uwagi na występowanie dużych obszarów torfowiskowych i podmokłych na jej obszarze.

Według Żmudzkiej (2008) wieloletnia ewolucja elementów klimatu Polski (w szczególności pod koniec XX i na początku XXI w.) wyrażała się istotnym wzrostem temperatury powietrza w miesiącach I-V i brakiem znaczących zmian opadów atmosferycznych (w perspektywie długookresowej) lub ich zmniejszeniem (w okresach krótszych). Może to tłumaczyć wzrost przepływów wiosennych rzeki Łupawy i Łeby wskutek występowania mało trwałej pokrywy śnieżnej. Trudno rozstrzygnąć, czy dodatnie trendy przepływów rzeki Łupawy i Łeby są zsynchronizowane ze zmianą klimatu, czy są bezpośrednio zależne od pozytywnego indeksu zimowego Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO), która ma przełożenie na przepływ wiosennych wód roztopowych, jak to ma miejsce w rzekach skandynawskich (Shorthouse i Arnell, 1997). Niemniej jednak badania poczynione przez Byun et al. (2019) potwierdzają spostrzeżenia dotyczące zmian objętości przepływów na Łupawie i Łębie. Według autorów, którzy prowadzili badania dla 20 zlewni zlokalizowanych w USA, wielkość przepływu do roku 2080 wzrośnie o 10-30%, co będzie związane ze wzro-

Tabela 2. Trend zmian sum opadów atmosferycznych mm/10 lat w okresie 1961-2010 w Ustce i Łebie
 1961-2010 trends describing changes in precipitation totals in mm/10 years in Ustka and Łeba

Stacja	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Ustka	-1,07	-0,48	-0,06	-2,67	-0,65	2,27	-3,42	2,54	0,20	1,36	-5,38	-2,98	-10,33
Łeba	0,72	-0,13	2,35	-2,30	-0,19	2,64	-1,74	3,37	1,42	3,33	-1,42	-0,71	7,34

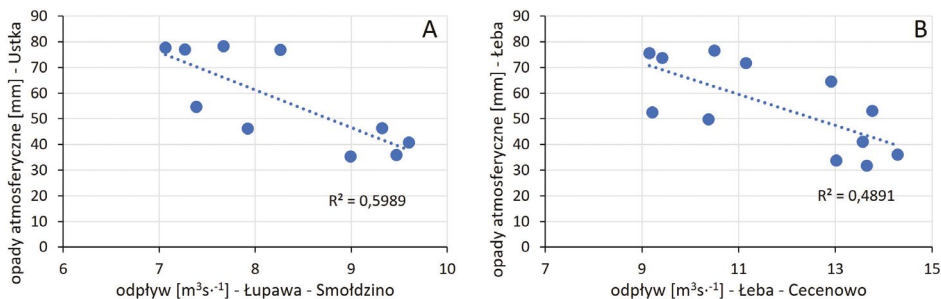
Kolor niebieski komórek oznacza wartości ujemne, kolor żółty – dodatnie. Dotyczy to wszystkich tabel.



Ryc. 3. Średni roczny odpływ wody z rzeki Łupawy (Smółdzino) i Łeby (Cecenowo)
 Average annual outflows from the Rivers Łupawa (at Smółdzino) and Łeba (at Cecenowo)

Tabela 3. Trend zmian dopływu potamicznego (rzeką Łupawą – Smółdzino i Łebą – Cecenowo) do jezior
 (m³·s⁻¹/10 lat) w okresie 1961-2010
 1961-2010 trends for changes in potamic inflow into lakes (via the Łupawa at Smółdzino, and the Łeba
 at Cecenowo) – in m³·s⁻¹/10 years

Stacja	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Łupawa	0,31	0,44	0,43	0,13	0,11	0,24	0,28	0,12	0,16	0,07	0,02	0,03	0,20
Łeba	0,58	0,74	0,76	0,17	0,33	0,38	0,22	-0,11	0,01	0,09	0,05	0,15	0,27



Ryc. 4. Zależność odpływu rzeczniczego od opadów atmosferycznych: A – Łupawa (Smółdzino), B – Łeba (Cecenowo)
 Dependence of river outflow on precipitation: A – along the Łupawa (at Smółdzino), B – along the Łeba (at Cecenowo)

stem opadów atmosferycznych, szczególnie zimą i wiosną. Symulacje pokazują również silne przesunięcia w kierunku wcześniejszego czasu przepływu szczytowego (do miesiąca), zwłaszcza w zlewniach silnie zdominowanych przez roztopy. Efekty te są powiązane z silnymi tendencjami spadkowymi maksymalnego ekwiwalentu wody ze śniegu, co wiązać należy z ociepleniem.

Zmiany poziomu morza

Jeziro Łebsko i Gardno, z uwagi na połączenie hydrauliczne z Morzem Bałtyckim poprzez Kanał Łeby i Łupawy, poddane są jego wpływowi (Chlost i Cieśliński, 2005). Dowodem na ścisłe powiązanie hydrauliczne morza z jeziorami jest współkształtny przebieg ich poziomów (Choiński i Kaniecki, 2004). Przesunięcie wykresów względem osi pionowej wynika z tego, że zwierciadło wody w jeziorach znajduje się powyżej poziomu morza. Sytuacja taka nie jest stabilna, bowiem poziom Morza Bałtyckiego wykazuje trend dodatni. W latach 1875-1983 poziom Morza Bałtyckiego wzrósł od 10 do 20 cm (Pruszek i Zawadzka, 2008). Do końca XXI w. poziom Morza Bałtyckiego może podnieść się nawet o 80 cm (Miętus, 2003). Może to mieć wielkie znaczenie dla dalszej ewolucji jezior, gdyż zwiększyłyby się częstotliwość intruzji wód morskich oraz kubatura wód zasilających jeziora.

W ostatnim czasie obserwuje się zmniejszanie różnicy w poziomie wody między jeziorem Gardno i Morzem Bałtyckim. Zwierciadło tego jeziora układa się wyżej w stosunku do morza niż zwierciadło jeziora Łebsko i w badanym okresie (1961-2010) dysproporcja ta wynosiła średnio 12 cm. Na zacieranie się różnic między poziomem Bałtyku i jeziora Gardno zwracają uwagę m.in. Jędrasik i Cyberski (2000), którzy tłumaczą to wyłącznie efektem podnoszenia się poziomu morza wywołanym m.in. zmianą klimatu.

Aby porównać wyniki zmian poziomu wody w badanych jeziorach dokonano zatem analizy zmian poziomu morza, stanowiącego dla jezior główną bazę drenażu. Do tego celu wybrano dwa posterunki mareograficzne: w Ustce i Łebie. Analizując zmiany poziomu wody dla poszczególnych lat odnotowano znaczne fluktuacje, z tym że dla obu posterunków były one zbieżne. W obu przypadkach trendy zmian były dodatnie (ryc. 5) i osiągnęły wartości odpowiednio 1,80 cm/10 lat (w Ustce), zaś w przypadku Łeby 1,60 cm/10 lat.

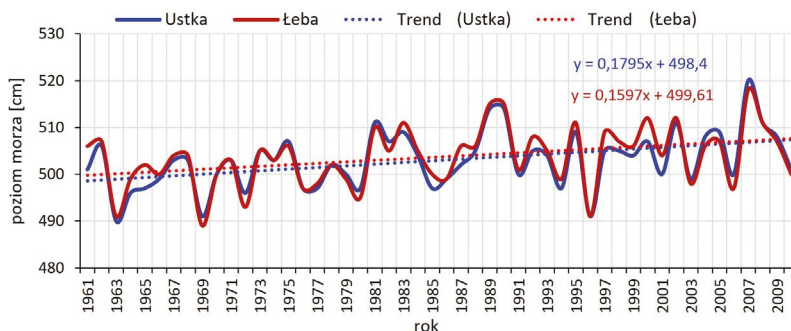
Rozpatrując tendencje zmian średniego poziomu morza w dekadach odnotować należy dużą zgodność. Z analizy współczynników kierunkowych regresji liniowej wynika, że w dwóch pierwszych dekadach trendy były ujemne, z minimum o wartości -4,18 cm/10 lat (Ustka) i -6,18 cm/10 lat (Łeba). W pozostałych dekadach odnotowano tendencję wzrostową poziomu morza, osiągającą maksymalny próg 4,55 cm/10 lat (Ustka) i 6,36 cm/10 lat (Łeba) (tab. 4).

Poszczególne miesiące badanego wielolecia charakteryzowały się podnoszeniem poziomu morza, którego rosnący trend oscylował od 0,19 (grudzień) do 4,27 (marzec) cm/10 lat w Ustce i od 0,06 (lipiec) do 4,35 (marzec) cm/10 lat w Łebie (tab. 5).

Jedynie w jednym miesiącu – grudniu – na posterunku w Łebie odnotowano tendencję spadkową (-0,36 cm/10 lat).

Trendy zmian poziomu morza dla poszczególnych miesięcy w dekadach charakteryzowały się dużym dopasowaniem i powtarzalnością na obu stacjach mareograficznych. W Ustce odnotowano 32 miesiące z trendem dodatnim, podczas gdy w Łebie o trzy miesiące więcej. Rosnący trend dominował w Ustce w dekadzie 2000-2010, zaś spadkowy w dekadzie 1961-1970 (tab. 6). Zakres zmienności trendów wahał się od -26,85 cm/10 lat

do 40,42 cm/10 lat. Natomiast w Łebie w trzeciej, czwartej i piątej dekadzie rozpatrywanego okresu odnotowano najwięcej miesięcy z trendem dodatnim (8 miesięcy), zaś najmniej w dekadzie pierwszej i drugiej (5 miesięcy). Amplituda trendów dla tej stacji pomiarowej wahała się od -32,12 cm/10 lat do 48,91 cm/10 lat (tab. 7). Otrzymane wyniki dla obu posterunków pomiarowych były istotne statystycznie na poziomie 0,01.



Ryc. 5. Średni roczny poziom morza obserwowany na posterunkach pomiarowych w Ustce i Łebie
Average annual level of water in the Baltic as observed at the Ustka and Łeba measuring sites

Tabela 4. Trend zmian średniego poziomu morza w dekadach (cm/10 lat) w okresie 1961-2010
1961-2010 trends for changes in mean sea level in cm/10 years

Jezioro	Dekada					
	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010	1961-2010
Ustka	-1,58	-4,18	3,15	4,06	4,55	1,80
Łeba	-6,18	-4,18	5,58	6,36	1,21	1,60

Tabela 5. Trend zmian średniego poziomu morza cm/10 lat w okresie 1961-2010 w Ustce i Łebie
1961-2010 trends for changes in mean sea level, in cm/10 years in Ustka and Łeba

Jezioro	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Ustka	3,18	3,43	4,27	1,45	1,78	2,73	0,29	1,47	0,59	0,77	1,21	0,19	1,80
Łeba	3,08	3,51	4,35	1,14	1,70	2,76	0,06	1,00	0,83	0,65	1,21	-0,36	1,60

Tabela 6. Trend zmian średniego poziomu morza w Ustce dla poszczególnych miesięcy w dekadach (cm/10 lat) okresu 1961-2010
1961-2010 decade-related (cm/10 years) trends for changes in mean sea level at Ustka in the different months of the year

Ustka	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1961-1970	-12,36	-19,03	-7,21	15,21	2,79	-8,42	-6,06	-18,67	-9,46	18,49	31,82	-7,33
1971-1980	1,58	-19,15	-3,82	-8,85	0,18	-4,61	5,58	4,85	17,46	1,49	-26,85	-21,39
1981-1990	-13,64	5,27	40,42	X	3,15	-3,52	-2,30	8,24	4,67	1,64	-11,66	-4,73
1991-2000	-5,46	18,18	27,64	4,24	-1,52	2,00	7,27	-0,91	-14,97	-0,42	9,94	3,70
2000-2010	-8,06	-15,64	10,79	4,61	8,97	-0,91	2,73	10,97	5,09	9,33	5,21	16,85

Podnoszenie się poziomu Morza Bałtyckiego będzie skutkowało wzrostem udziału wód morskich w bilansie wodnym obu badanych jezior. Z pewną ostrożnością można te wartości przedstawić liczbowo w oparciu o prace Weber (1973) i Chlost (2009), które dokonały obliczeń dopływu od strony morza do jeziora Łebsko w latach odpowiednio 1966-1970 i 2003-2005, stosując tą samą metodę. Na podstawie porównania obu prac ustalono, że w latach 70. XX w. wielkość dopływu wód morskich wyniosła 1540 mm, zaś na początku XXI w. objętość ta podwoiła się i osiągnęła 3190 mm. Wzrosty nastąpiły w większości miesięcy (poza lipcem, wrześniem i październikiem), z maksimum w chłodnej porze roku (XI-IV), w której kubatura wód morskich zwiększyła się czterokrotnie (tab. 8). Chlost (2019) przeprowadziła dodatkowo obliczenia wielkości napływu wód morskich do jeziora Gardno (w latach 2003-2007). Wynika z nich, że do jeziora w tym czasie dostawało się 1396 mm wody. Porównując tę wartość z uzyskaną dla jeziora Łebsko zauważyć można, że jest ona ponad dwukrotnie mniejsza, co należy wiązać z różnicą wielkości i pojemności obu zbiorników oraz kierunkiem odpływu i parametrami kanałów łączących jeziora z morzem.

Tabela 7. Trend zmian średniego poziomu morza w Łebie dla poszczególnych miesięcy w dekadach (cm/10 lat) okresu 1961-2010
1961-2010 decade-related (cm/10 years) trends for changes in mean sea level at Łeba in the different months of the year

Łeba	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1961-1970	-20,55	-28,91	15,70	14,36	14,55	-8,36	-9,76	-24,79	-12,61	16,06	27,76	-10,42
1971-1980	5,21	-19,76	-5,21	-9,21	-0,73	-7,33	6,91	5,39	22,24	0,06	-32,12	-22,06
1981-1990	-5,82	12,24	48,91	12,12	7,03	-0,24	1,52	7,52	5,03	3,21	-13,39	-7,27
1991-2000	-7,15	24,12	31,15	4,85	-0,49	5,21	9,73	-1,09	-12,97	2,00	14,42	9,70
2000-2010	-12,18	-19,82	7,27	2,73	6,06	-4,00	-2,00	6,67	2,73	7,82	2,49	13,27

Tabela 8. Bilanse wodne jeziora Łebsko – dopływ wód morskich do jeziora (mm)
Water balances for Lake Łebsko — inflow of seawater into the lake (mm)

Autor	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Weber (1966-1970)	28	33	86	25	24	67	286	130	209	359	192	101	1540
Chlost (2003-2007)	474	160	297	237	232	329	159	177	174	242	261	448	3190

Zmiany poziomu wody w jeziorach

Rytm wahań poziomu wody w jeziorach Gardno i Łebsko jest bardzo dynamiczny ze względu na więź hydrauliczną z Morzem Bałtyckim. Współczynnik determinacji określający dopasowanie zmiennych reprezentowanych przez poziom wody w jeziorach i morzu w latach 1961-2010 wynosi odpowiednio 0,67 (Gardno) i 0,81 (Łebsko). Zasadniczą rolę w tej więzi odgrywają parametry ujściowych odcinków rzek (kanałów) łączących jeziora z morzem, w tym szerokość i głębokość profilu zwilżonego (znacznie mniejsza w przypadku jeziora Gardno niż Łebsko) oraz proces częściowego lub całkowitego zapiaszczania kanału w wyniku sztormów, co jest cechą kanału Łupawy w porcie rybackim w Rowach (Chlost, 2019).

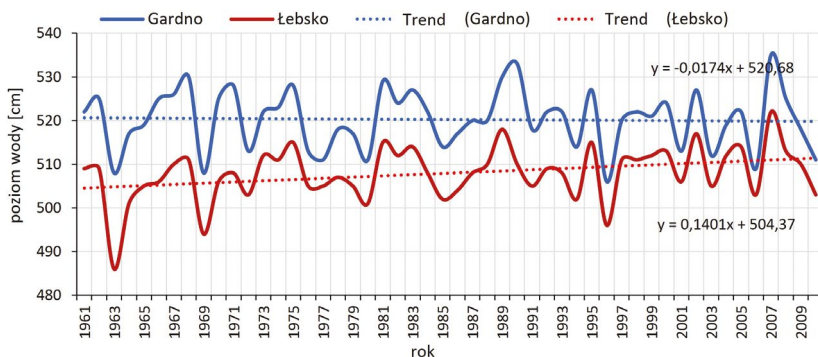
Kontakt z morzem skutkuje częstą zmianą wypełnienia mis jeziornych wodą, z dużymi skrajnościami nie tylko z roku na rok, ale też z miesiąca na miesiąc i z dnia na dzień.

W okresie 1961-2020 średni poziom jeziora Gardno wyniósł 520 cm, a jeziora Łebsko – 508 cm. Liczne fluktuacje w poszczególnych latach ukształtowały trend liniowy zmian w przypadku jeziora Gardno jako ujemny, zaś jeziora Łebsko – jako dodatni (ryc. 6). Jego odzwierciedleniem jest zmniejszenie poziomu wody w jeziorze o Gardno o 1 cm w ciągu badanych 50 lat, a w jeziorze Łebsko – wzrost o 7 cm, co w przeliczeniu na objętość wody wynosi odpowiednio -247 tys. m³ (Gardno) i 4998 tys. m³ (Łebsko). Uzyskane wyniki zmian średniego poziomu były nieistotne statystycznie w przypadku jeziora Gardno, zaś wobec jeziora Łebsko istotne na poziomie 0,05.

To zróżnicowanie trendów między jeziorami zaznaczyło się także w ujęciu dekadowym. W jeziorze Gardno średni trend we wszystkich dekadach, poza latami 1971-1980, był dodatni i zmienił się w zakresie od 1,15 do 3,09 cm/10 lat. Trend ujemny odnotowany w dekadzie 1971-1980 osiągnął wartość -11,88 cm/10 lat i to on rzutował na obniżenie zasobów wodnych jeziora w całym badanym 50-leciu (tab. 8). Z kolei w jeziorze Łebsko, w 3 z 5 dekad trend kształtował się negatywnie, ale ostatecznie, ze względu na duży wzrost poziomu wody w latach 1991-2000, okazał się dodatni dla całego okresu badawczego (tab. 9).

Wahania poziomów wód jeziornych w latach 1961-2010 stanowiły odpowiedź nie tylko na wahania wód morskich, ale też na zmieniające się w czasie opady atmosferyczne, a w niewielkim stopniu także zmiany temperatury powietrza i wody. Ten związek korelacyjny szczególnie wyraźnie zaznaczył się w dekadzie 1971-1980, w której zanotowano zauważalny spadek poziomu wody w wyniku obniżenia zasilania atmosferycznego (ryc. 7).

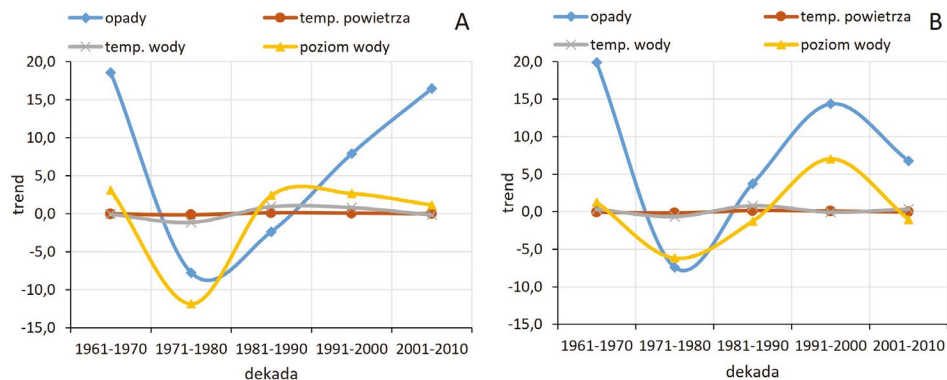
Analizując trendy zmian poziomu wody w perspektywie wartości miesięcznych, należy zwrócić uwagę, że w przypadku jeziora Gardno dominowały trendy negatywne, skupiające się w okresie wiosennym (kwiecień-maj), ale przede wszystkim w miesiącach



Ryc. 6. Średni roczny poziom wody w jeziorach Gardno i Łebsko
Average annual water levels in Lakes Gardno and Łebsko

Tabela 9. Trend zmian średniego poziomu wody w dekadach (cm/10 lat) w okresie 1961-2010 w jeziorze Gardno i Łebsko
1961-2010 decade-related (cm/10 years) trends for changes in average water level in lakes: Gardno and Łebsko

Jezioro	Dekada					1961-2010
	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010	
Gardno	3,09	-11,88	2,42	2,67	1,15	-0,17
Łebsko	1,27	-6,18	-1,27	7,03	-1,03	1,40



Ryc. 7. Trendy wybranych parametrów meteorologicznych i hydrologicznych dla: A – jeziora Gardno, B – jeziora Łebsko

Trends for selected meteorological and hydrological parameters relating to: A – Lake Gardno Lake, B – Lake Łebsko

drugiej połowy roku kalendarzowego, osiągając wówczas wartości minimalne ($<-2,00$) we wrześniu i grudniu (tab. 10). Dodatkowo trendy zanotowano w początkowych miesiącach roku (styczeń, luty, marzec) oraz w czerwcu (od 1,33 do 2,38 cm/10 lat). Poziom wody w jeziorze Łebsko charakteryzował się wystąpieniem ujemnego trendu jedynie w grudniu ($-1,15$ cm/10 lat), a pozostałych miesiącach trendami dodatnimi w zakresie od 0,41 cm/10 lat (wrzesień) do 4,38 cm/10 lat (marzec) (tab. 10).

Porównanie trendów zmian średniego poziomu wody w jeziorach dla poszczególnych miesięcy w dekadach (tab. 11 i 12) wykazało duże zróżnicowanie i niekiedy rozbieżności uzyskanych wyników między akwenami, co świadczy o wpływie warunków zlewniowych i lokalnych, ale przede wszystkim oddziaływania morza na przebieg kształtowania się zasobów wodnych jezior. Spośród 60 miesięcy wielolecia 1961-2010 w Jeziorze Gardno zanotowano 27 miesięcy z trendem dodatnim i 32 miesiące z trendem ujemnym, zaś w przypadku jeziora Łebsko 29 miesięcy z trendem dodatnim i 30 miesięcy z trendem ujemnym. Dekadą, w której dominował wzrost poziomu wody w jeziorze Gardno, okazały się lata 1981-1990 oraz 2001-2010, zaś spadek poziomu w dekadach 1971-1980 i 1991-2000. Z kolei w jeziorze Łebsko najwięcej miesięcy z trendem dodatnim odnotowano w dekadach 1981-1990 (co koresponduje z jeziorem Gardno) i 1991-2000, zaś trend negatywny w dekadach 1971-1980 oraz 2001-2010. Największe dysproporcje poziomu wody w jeziorze Gardno odnotowano w listopadzie, w którym trend zmian wahał się w zakresie od 49,64/10 lat do 48,55 cm/10 lat. Ekstremalne trendy w jeziorze Łebsko wystąpiły w różnych miesiącach i dekadach i oscylowały w przedziale od $-41,33$ cm/10 lat (w listopadzie) do 40,85 cm/10 lat (w marcu).

Kierunek zmian poziomu wody w jeziorach zależy od okresu obserwacji i częstości dokonywanych pomiarów oraz skali, w jakiej rozpatrywane jest to zagadnienie. Według badań [Choińskiego i Kanieckiego \(2004\)](#) średni roczny trend stanów wody za lata 1965-1995 obu jezior wykazywał tendencję wzrostową, przy czym w jeziorze Gardno był dużo mniejszy (0,3 mm/rok) niż w jeziorze Łebsko (1,5 mm/rok).

Z kolei [Cieśliński \(2013\)](#) analizując zmienność poziomu wody w jeziorach (na podstawie odczytu z sondy samorejestrującej), rozpatrywaną w interwale godzinnym, zauważył wahania zachodzące w przeciągu kilku godzin rzędu 10-20 cm na jeziorze

Tabela 10. Trend zmian średniego poziomu wody cm/10 lat w okresie 1961-2010 w jeziorach Gardno i Łebsko
1961-2010 trends for changes in average water level in cm/10 years in lakes: Gardno and Łebsko

Jezioro	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Gardno	1,33	2,38	2,12	-0,96	-0,40	1,49	-1,44	-1,28	-2,22	-0,94	-0,59	-2,11	-0,17
Łebsko	2,34	3,48	4,38	0,80	1,23	2,68	0,53	0,99	0,41	0,88	0,74	-1,15	1,40

Tabela 11. Trend zmian średniego poziomu wody jeziora Gardno poszczególnych miesięcy w dekadach (cm/10 lat) okresu 1961-2010
1961-2010 decade-related trends (cm/10 years) for changes in the average water level of Lake Gardno in the different months of the year

Gardno	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1961-1970	-5,39	-16,06	-0,79	22,85	18,97	2,55	-15,33	-20,49	-11,94	17,09	48,55	0,61
1971-1980	-9,82	-22,85	-17,82	-8,61	-10,73	-17,39	4,91	-0,24	14,03	0,06	-49,64	-18,55
1981-1990	-15,33	-11,52	36,97	7,33	X	0,49	-2,00	9,46	11,70	9,76	-20,22	-9,09
1991-2000	-12,30	12,67	26,18	-2,85	-1,70	4,79	-8,61	-3,21	-21,03	-4,67	16,49	5,15
2001-2010	-6,42	-22,55	0,06	2,18	5,39	-5,58	-4,67	9,88	-0,79	7,58	9,52	18,67

Tabela 12. Trend zmian średniego poziomu wody jeziora Łebsko poszczególnych miesięcy w dekadach (cm/10 lat) okresu 1961-2010
1961-2010 decade-related trends (cm/10 years) for changes in the average water level of Lake Łebsko in the different months of the year

Łebsko	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1961-1970	-8,91	-17,94	-2,12	20,30	14,46	1,76	-9,27	-18,12	-11,33	15,09	34,00	-1,88
1971-1980	-3,09	-18,91	-4,49	-5,82	-1,76	-7,27	6,42	1,52	16,73	-0,36	-41,33	-14,30
1981-1990	-11,52	-5,03	36,97	10,36	1,76	-1,64	0,12	9,70	4,85	8,06	-17,52	-11,64
1991-2000	-2,67	21,70	40,85	1,58	1,82	6,61	-	1,33	13,15	-1,39	19,76	4,67
2001-2010	-16,36	-25,03	0,91	-0,06	6,55	-4,30	-4,30	5,39	-2,06	8,00	-1,94	12,91

Gardno i 20-30 cm na jeziorze Łebsko. Amplituda wahań w okresie badań jeziora Gardno (23.07.2008-20.03.2009) wyniosła 73 cm i była niemal o 20 cm mniejsza (92 cm) niż odnotowana w jeziorze Łebsko w okresie 29.09.2008-24.04.2009.

Wyniki badań z sond samorejestrujących wskazują zatem, że dynamika procesu zmian poziomu wody na obu jeziorach jest duża i daje podstawy do twierdzenia, że będą one objęte działaniami coraz częściej występujących zjawisk ekstremalnych, wywołanych m.in. zmianą klimatu.

Zmiany temperatury wody i długości sezonu lodowego

Istotnym parametrem określającym fizyczne cechy wód jeziornych jest temperatura wody, która w okresie zimowym odpowiada za powstawanie zjawisk lodowych. Pośrednio temperatura wody może współdecydować o zasobach wodnych jezior ze względu na fakt, iż jej wzrost może wpłynąć na zwiększenie ubytku wody w wyniku parowania (Helfer et al., 2012). Ponadto w powiązaniu z temperaturą wody kształtuje się natężenie procesów che-

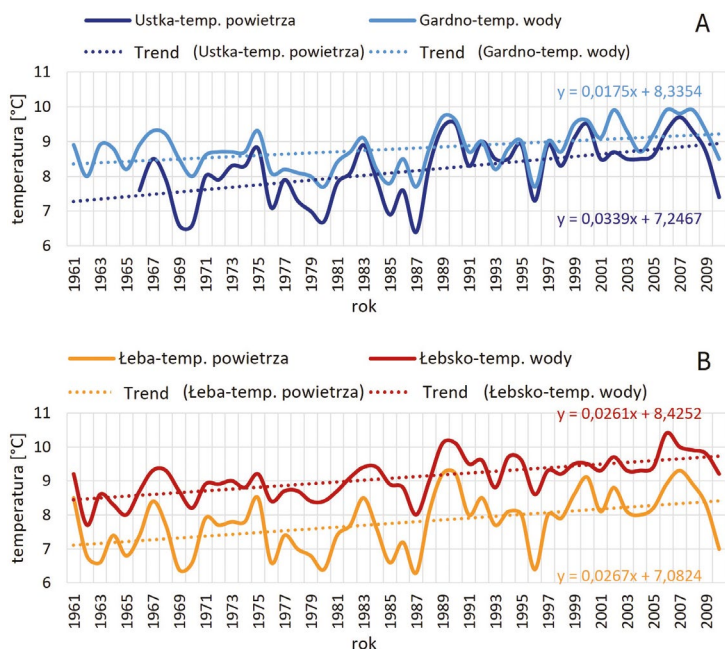
micznych oraz biologicznych w środowisku wodnym, a przez to szybszy lub powolniejszy rozwój organizmów żywych. Tak więc wzrost temperatury wody może rzutować na wydłużenie okresu wegetacyjnego i rozprzestrzenianie się szuwarów i makrofitów redukujących powierzchnię retencyjną jezior. Potwierdzają to obserwacje i międzynarodowe badania eksperymentalne na terenie Europy (Ersoy et al., 2020). Wzrost temperatury wody prowadzi też do redukcji stężenia tlenu rozpuszczonego w wodzie i ograniczenia zdolności asymilacyjnych ładunków zanieczyszczeń dopływających do jezior (Biedka, 2013), co także może generować intensywny proces zarastania, zwłaszcza przy dostawie i akumulacji w osadach dennych związków azotu i potasu (Lawniczak-Malińska i Achtenberg, 2018).

Jeziro Gardno i Łebsko, ze względu na swoje cechy morfometryczne, należą do jezior niestratyfikowanych, a położenie w strefie brzegowej morza powoduje, iż podlegają permanentnej mikcji. Cechują się słabą przezroczystością wody. O ich reżimie termicznym decydują zmiany temperatury powietrza, ale ten naturalny wzorzec może być modyfikowany przez swobodną wymianę wód z morzem (Girjatowicz, 2007). Według badań Kirschstein (2013), na obszarze środkowego wybrzeża – w Ustce i Łebie – temperatura powietrza wykazuje tendencję wzrostową na poziomie odpowiednio 1,6°C i 1,3°C/60 lat (1951-2010) i co ważne, dodatnie trendy notowane są we wszystkich miesiącach roku. Największe, istotne statystycznie wzrosty temperatury powietrza zarejestrowano w miesiącach luty-maj (1,7-3,2°C/60 lat) oraz lipiec-sierpień (1,4-1,9°C/60 lat). Obserwowane zmiany temperatury powietrza znalazły bezpośrednie przełożenie na przebieg temperatury wody w jeziorach Gardno i Łebsko. W wieloleciu 1961-2010, pomimo licznych fluktuacji, tendencja zmian temperatury wody obu jezior okazała się także dodatnia (ryc. 8). Średni wzrost temperatury wody oszacowano na 0,18°C/10 lat dla jeziora Gardno i 0,26°C dla jeziora Łebsko (ryc. 8, tab. 13), co w przeliczeniu na cały okres badawczy odpowiada 0,9°C/50 lat (Gardno) oraz 1,3°C/50 lat (Łebsko). Należy zauważyć, że wyraźnie większy wzrost temperatury wody notowany jest w jeziorze Łebsko, co jest o tyle ciekawe, że jezioro to ma trzykrotnie większą powierzchnię i zdecydowanie większą pojemność niż jezioro Gardno. Świadczy to o możliwym oddziaływaniu na temperaturę wody uwarunkowań lokalnych, m.in. intensywności wymiany wody czy wielkości zjawiska intruzji wód morskich.

W poszczególnych miesiącach roku badanego wielolecia trend wzrostowy temperatury wody w jeziorze Gardno mieścił się w zakresie od 0,07°C/10 lat (wrzesień) do 0,33°C/10 lat (lipiec), a w jeziorze Łebsko od 0,07°C/10 lat (listopad) do 0,50°C/10 lat (kwiecień). Ujemny trend odnotowano jedynie w jeziorze Gardno w październiku (-0,07°C/10 lat), natomiast w jeziorze Łebsko nie odnotowano w tym miesiącu zmian.

Rozpatrując z kolei trendy wielkości zmiany temperatury wody w dekadach, stwierdzono, że w jeziorze Gardno dekady obejmujące lata 1961-1970 i 1971-1980 charakteryzowały się spadkami temperatury na poziomie odpowiednio -0,06°C/10 lat i -1,13°C/10 lat, natomiast dekady 1981-1990 i 1991-2000 – wzrostami, stosownie o 0,94°C/10 lat i 0,81°C/10 lat. W ostatniej analizowanej dekadzie (2001-2010) zanotowano ponowny spadek o -0,16°C/10 lat. Inaczej zachowywały się trendy temperatury w jeziorze Łebsko, w którym na przemian występowały spadki i wzrosty temperatury wody. W dekadzie pierwszej, trzeciej i piątej wystąpiły trendy wzrostowe odpowiednio o 0,32°C/10 lat, 0,81°C/10 lat i 0,36°C/10 lat, podczas gdy w dekadzie drugiej i czwartej trendy spadkowe, przyjmując wartości adekwatnie -0,64°C/10 lat i -0,06°C/10 lat (tab. 14).

Trendy zmian średniej temperatury wody jeziora Gardno w poszczególnych miesiącach w podziale na dekady układały się niejednorodnie. W połowie miesięcy dominowały



Ryc. 8. Średnia roczna temperatura jeziora: A – Gardno i B – Łebsko
Average annual temperatures of the Lakes: A – Gardno and B – Łebsko

Tabela 13. Trend zmian średniej temperatury wody $^{\circ}\text{C}/10$ lat w okresie 1961-2010 w jeziorze Gardno i Łebsko
1961-2010 trends for changes in average water temperature in $^{\circ}\text{C}/10$ years in lakes: Gardno and Łebsko

Jezioro	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Gardno	0,18	0,14	0,24	0,27	0,28	0,11	0,33	0,23	0,07	-0,07	0,08	0,22	0,18
Łebsko	0,24	0,18	0,29	0,50	0,46	0,11	0,47	0,42	0,22	0,00	0,07	0,23	0,26

Tabela 14. Trend zmian średniej temperatury wody w dekadach ($^{\circ}\text{C}/10$ lat) okresu 1961-2010 w jeziorach Gardno i Łebsko
1961-2010 decade-related ($^{\circ}\text{C}/10$ years) trends for changes in average water temperature in lakes: Gardno and Łebsko

Jezioro	Dekada				
	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010
Gardno	-0,06	-1,13	0,94	0,81	-0,16
Łebsko	0,32	-0,64	0,81	-0,06	0,36

tendencje spadkowe temperatury wody, kształtujące się w granicach od $-0,16^{\circ}\text{C}/10$ lat do $2,58^{\circ}\text{C}/10$ lat, a w połowie wzrostowe, w zakresie od $0,02^{\circ}\text{C}/10$ lat do $2,95^{\circ}\text{C}/10$ lat. Najwięcej miesięcy z dodatnim trendem zanotowano w dekadzie 1981-1990 (9 miesięcy), zaś najmniej w dekadzie 1961-1970 i 1971-1980 (4 miesiące) (tab. 15).

Nieregularność trendu zmian temperatury wody odnotowano także w przypadku jeziora Łebsko (tab. 16), jednak był on wyraźnie zdominowany przez wartości dodatnie.

Na 60 analizowanych miesięcy, aż 35 charakteryzowało wzrostem temperatury wody, podczas gdy w jeziorze Gardno takich miesięcy było 29. W przypadku trendów dodatnich mieściły się one w zakresie od $0,02^{\circ}\text{C}/10$ lat do $2,65^{\circ}\text{C}$, zaś dla trendów ujemnych odnotowano wartości na poziomie od $-0,29^{\circ}\text{C}/10$ lat do $-2,68^{\circ}\text{C}/10$ lat. Najwięcej miesięcy z dodatnim trendem zanotowano w dekadzie 1981-1990 (11 miesięcy), zaś najmniej w dekadzie 1971-1980 (4 miesiące).

Przebadano również trendy zmian minimalnej i maksymalnej temperatury wody w wieloletnim okresie 1984-2010. Określając istotność statystyczną zmian temperatury wody w jeziorach, ustalono, że dla obu jezior uzyskane wyniki były istotne na poziomie 0,05.

W obu przypadkach odnotowano trendy dodatnie. Temperatura minimalna wzrosła średnio o $0,55^{\circ}\text{C}/10$ lat w jeziorze Gardno, a w jeziorze Łebsko o $0,28^{\circ}\text{C}/10$ lat. Tendencje zmian temperatury maksymalnej były nieco mniejsze i wyniosły odpowiednio $0,21^{\circ}\text{C}/10$ lat (Gardno) i $0,09^{\circ}\text{C}/10$ lat (Łebsko). W poszczególnych miesiącach badanego okresu dominowały trendy dodatnie z nielicznymi wyjątkami (styczeń, luty, maj, grudzień), kiedy odnotowano trendy ujemne (tab. 17 i 18). Otrzymane wyniki korespondują z badaniami

Tabela 15. Trend zmian średniej temperatury wody jeziora Gardno poszczególnych miesięcy w dekadach ($^{\circ}\text{C}/10$ lat) okresu 1961-2010
1961-2010 decade-related ($^{\circ}\text{C}/10$ years) trends for changes in the average water temperature of Lake Gardno in the different months of the year

Gardno	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1961-1970	-0,46	-0,42	-0,48	-1,19	0,90	-0,51	0,27	2,13	-1,16	-0,64	-0,46	0,98
1971-1980	-0,51	-1,58	-1,81	-2,54	-2,58	0,50	-3,45	-1,74	0,45	0,02	0,66	-1,06
1981-1990	0,18	2,95	1,50	1,26	2,30	2,32	0,63	-0,58	-0,48	0,17	-0,62	-0,57
1991-2000	-0,43	1,24	-0,34	1,45	-1,58	2,02	-1,35	-0,61	0,47	2,79	1,69	0,87
2000-2010	0,22	-0,83	-0,16	1,00	-1,36	-0,33	0,66	-0,61	–	-1,36	0,82	0,11

Tabela 16. Trend zmian średniej temperatury wody jeziora Łebsko poszczególnych miesięcy w dekadach ($^{\circ}\text{C}/10$ lat) okresu 1961-2010
1961-2010 decade-related ($^{\circ}\text{C}/10$ years) trends for changes in the average water temperature of Lake Łebsko in the different months of the year

Łebsko	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1961-1970	–	0,15	-0,48	-0,60	1,11	0,03	1,10	2,65	-0,31	-0,40	-0,48	1,46
1971-1980	-1,35	-2,09	-1,50	-1,09	-1,03	1,41	-2,68	-0,90	0,48	0,72	1,29	-0,45
1981-1990	1,30	2,38	0,84	0,21	1,29	2,01	1,38	0,36	0,19	0,22	-0,86	0,30
1991-2000	-0,53	0,78	-0,69	0,23	0,79	-0,29	-1,68	-1,47	-0,51	1,47	1,10	0,02
2000-2010	0,80	-0,41	0,78	1,86	-1,49	0,98	0,59	-1,12	0,50	-1,46	1,68	1,16

Tabela 17. Trend zmian temperatury minimalnej ($^{\circ}\text{C}/10$ lat) w latach 1984-2010 w jeziorze Gardno i Łebsko
1984-2010 trends for changes in minimum temperature ($^{\circ}\text{C}/10$ years) in lakes: Gardno and Łebsko

Jezioro	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Gardno	-0,06	-0,02	0,02	0,96	1,32	0,60	1,08	0,82	0,81	0,66	0,24	0,33	0,55
Łebsko	-0,04	-0,17	0,00	0,81	0,41	0,34	0,74	0,20	0,52	0,18	0,13	0,25	0,28

Tabela 18. Trend zmian temperatury maksymalnej ($^{\circ}\text{C}/10$ lat) w latach 1984-2010 w jeziorze Gardno i Łebsko 1984-2010 trends for changes in maximum temperature ($^{\circ}\text{C}/10$ years)) in lakes: Gardno and Łebsko

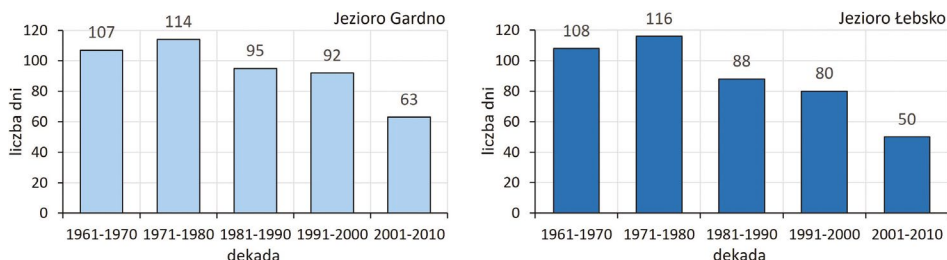
Jezioro	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Gardno	-0,26	-0,08	0,49	0,84	-0,91	0,06	0,44	0,56	0,53	0,10	0,78	0,02	0,21
Łebsko	-0,59	-0,21	0,02	0,28	-0,43	0,25	0,87	0,51	0,36	-0,18	0,56	-0,44	0,09

jeziora Gardno zespołu [Ptak et al. \(2019, 2022\)](#), chociaż odnoszą się do innego przedziału czasowego. Badania wskazały, że największe fluktuacje temperatury minimalnej w jeziorze Gardno notuje się w maju, z kolei najmniejsze – w styczniu, a dodatkowo trendy wzrostu temperatury dominują w miesiącach cieplej pory roku. Natomiast istotne statystycznie trendy wzrostu temperatury maksymalnej w jeziorze Gardno przypadają na kwiecień. Ponadto, wśród wybranych jezior Polski północnej, maksymalna roczna temperatura w jeziorze Gardno cechuje się największą rozpiętością wahań sięgającą $9,4^{\circ}\text{C}$, sierpień jest miesiącem o największej amplitudzie zmian, zaś październik – o najmniejszej.

Uzyskane trendy zmienności temperatur średnich i ekstremalnych wody są wyraźnym wskaźnikiem zmian klimatu, które w ujęciu makroskalowym są pochodną oddziaływania różnych systemów cyrkulacyjnych, w tym oscylacji północnoatlantyckiej (NAO) i oscylacji arktycznej (OA). Na ten aspekt zwracają uwagę prace [Wrześcińskiego et al. \(2015\)](#) oraz [Wrześcińskiego i Ptaka \(2017\)](#), wskazujące na istotny statystycznie wpływ zwłaszcza dodatniej fazy oscylacji w pierwszej kolejności na temperaturę powietrza, a w sposób pośredni na temperaturę wody. Wpływ ten jest tym silniejszy, im jezioro jest płytsze (jak np. Gardno). Największy, dodatni wpływ NAO i OA odnotowano przede wszystkim w okresie zimowym, przy wartościach współczynnika korelacji dla jeziora Gardno kształtujących się wówczas w zakresie od 0,41 do 0,62.

Inne badania ([Ptak et al., 2018](#)) prowadzone na 14 jeziorach położonych w północnej Polsce pokazują, że w latach 1972-2016 nastąpił wzrost temperatury wód o $0,34^{\circ}\text{C}/10$ lat. Analiza wykazała dodatkowo szybsze tempo nagrzewania się wód w zachodniej Polsce. Można to wytłumaczyć krótszym czasem trwania pokrywy lodowej. Ponadto na zmiany temperatury wody miały wpływ inne czynniki, w tym położenie jezior, ich parametry morfometryczne, prędkość wiatru, przezroczystość wody i czas wymiany wody. Podobne zmiany widoczne są także dla rzek przyziemnych, m.in. rzeki Łęby i Łupawy, które są głównymi dopływami badanych jezior. Według [Ptaka et al. \(2016\)](#) w latach 1971-2015 nastąpiło ocieplenie ich wód od $0,26^{\circ}\text{C}$ do $0,31^{\circ}\text{C}/10$ lat. W skali miesiąca największy wzrost odnotowano w kwietniu i wyniósł średnio $0,46^{\circ}\text{C}/10$ lat. Według autorów wahania temperatury wody były w szczególności determinowane zmianą klimatu i silnie skorelowane z temperaturą powietrza. Lokalne czynniki charakterystyczne dla rzek przybrzeżnych, tj. obecność infrastruktury małych elektrowni wodnych oraz przewaga zasilania wód podziemnych, miały drugorzędny wpływ na zmiany reżimu termicznego analizowanych rzek.

Dodatnie trendy zmian temperatury powietrza i wody nie pozostały bez wpływu na zmiany długości sezonu lodowego badanych jezior. Zarówno w jeziorze Gardno, jak i Łebsko odnotowano spadki liczby dni z lodem. W pierwszych dwóch dekadach okresu 1961-2010 w obu jeziorach średnia liczba dni z lodem przekraczała 100 (ryc. 9), by w ostatniej dekadzie zmniejszyć się o połowę. Niekorzystnej transformacji uległy wszystkie parametry pokrywy lodowej. Przesunięcie czasu trwania pokrywy lodowej na jeziorze Łebsko zostało oszacowane na $0,5$ - $2,3$ dni/10 lat ([Ptak i Sojka, 2021](#)).



Ryc. 9. Zmiany długości sezonu lodowego na jeziorze Gardno i jeziorze Łebsko
Changes in the duration of the ice seasons in Lakes Gardno and Łebsko

Uzyskane wyniki potwierdzają spostrzeżenia [Choińskiego et al. \(2015\)](#), którzy wskazali, że dla 18 polskich jezior w okresie 1961–2010 czas trwania pokrywy lodowej zmniejszył się o 5,6 dnia/10 lat, a średnia grubość lodu o 6,1 cm/10 lat. Wielkość tych wartości dla poszczególnych jezior malała od wschodniej do zachodniej Polski.

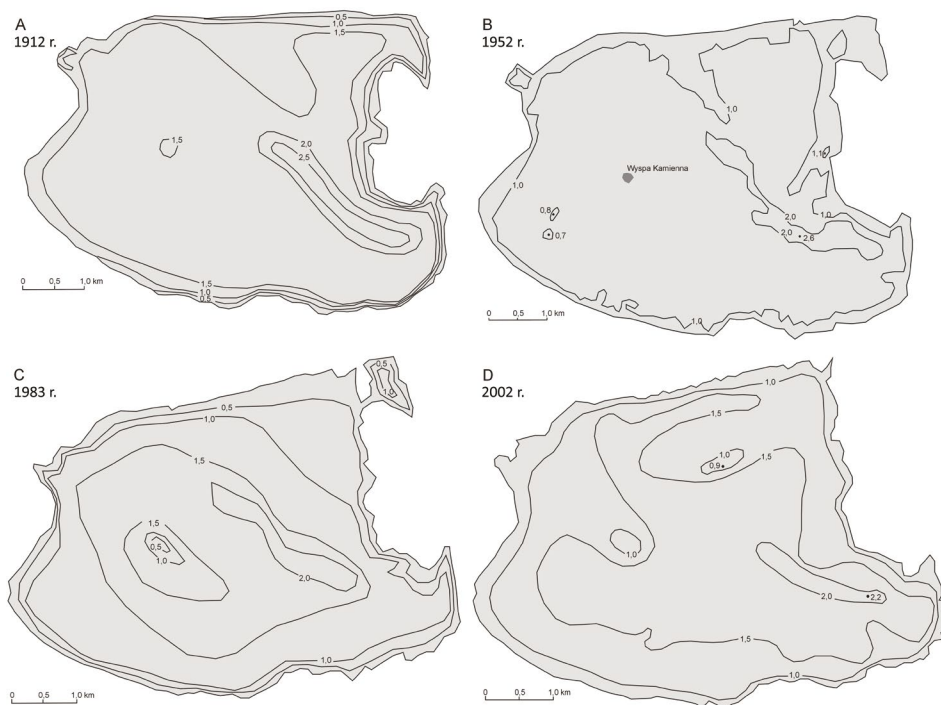
Według [Wrzesińskiego et al. \(2015\)](#) zmiany te należy wiązać z oddziaływaniem faz NAO, zaś według [Ptaka et al. \(2019\)](#) należy je wiązać dodatkowo z takimi telekoneksjami jak SCAND, EA, EAWR. Przypuszcza się, że do lat 2080–2100 jedna czwarta jezior sezonowo pokrytych lodem będzie trwale wolna od lodu ([Woolway i Merchant, 2019](#)). Podobny scenariusz przewiduje [Bartosiewicz et al. \(2021\)](#), wskazując, że większość jezior w północnej Polsce będzie szybko tracić pokrywę lodową i do końca stulecia nastąpi przypuszczalnie całkowity jej zanik, a prawdopodobieństwo występowania warunków wolnych od lodu dla jeziora Gardno kształtuje się na poziomie 4–18% w zależności od prognoz klimatycznych. Według niektórych scenariuszy spodziewany jest niższy trend ocieplenia w przyszłych latach niż dotychczas obserwowany, niemniej jednak zachodzące zmiany będą miały brzemienne skutki dla bilansu wodnego, jakości wody jezior Gardno i Łebsko i tak już obciążonych doptywem zanieczyszczeń z ich zlewni, ale też prawidłowego funkcjonowania ekosystemów wodnych ([Piccolroaz et al., 2021](#)).

Zmiany parametrów morfometrycznych i morfologicznych

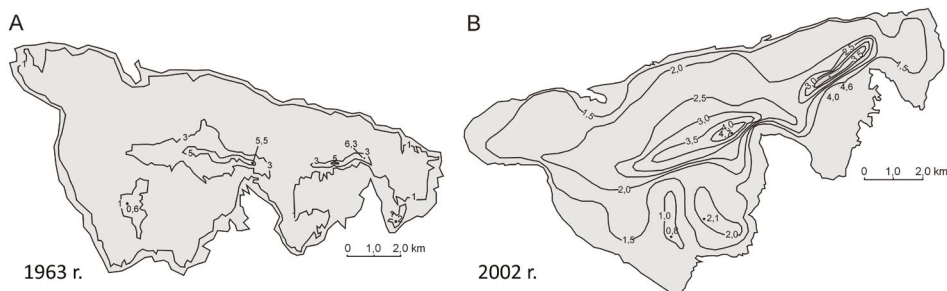
Plany batymetryczne jeziora Gardno i Łebsko wykonane w okresie 1912–2002 wskazują, że kształty mis obu jezior podlegają ewolucji w wyniku zmian linii brzegowej (ryc. 10, ryc. 11) i głębokości maksymalnej (ryc. 12). Rozkład izobat w misach analizowanych jezior jest wyrównany. W obu jeziorach dobrze zarysowany jest głęboczek główny. Dno jeziora Gardno jest płaskie. Stosunki głębokościowe charakteryzują zasadniczo trzy izobaty: 1 m, 1,5 m i 2,0 m, występujące generalnie w pobliżu linii brzegowej. Jedynie izobata 2,0 m znajduje się we wschodniej części jeziora i towarzyszy rynnie w dnie jeziora o kierunku północno-zachodnim.

W przypadku Łebska w morfometrii dna widoczne jest dodatkowo koryto dawnej rzeki przepływającej przez obecną misę jeziora. Koryto to przybiera postać dwóch rynien podzielonych płyczną o głębokości 2 m. Rynna głębsza (o maksymalnej głębokości 5 m) znajduje się pośrodku jeziora, a płytsza (3,5 m) znajduje się w części północno-wschodniej. Długości rynien wynosi łącznie około 4 km.

Dodatkowe informacje o morfometrii obu jezior podaje praca Ptaka (2013), w której zaprezentowano dane o zmianach powierzchni akwenów w odniesieniu do czterech lat (1900, 1960, 1975 i 2000 r.), a o zmianach objętości jezior – do dwóch (1900 i 1960). Według autora objętość wody w jeziorze Gardno w przeciągu 60 lat (1900-1960) zwiększyła



Ryc. 10. Porównanie planów batymetrycznych jeziora Gardno: A – z 1912 r. (Kunisch, 1913), B – z 1959 r. (IRŚ, 1959), C – z 1983 r. (Wojciechowski, 1990), D – z 2002 r. (Choiński i Kaniecki, 2004)
Comparison of bathymetric plans for Lake Gardno: A – from 1912 (Kunisch, 1913), B – from 1959. (IRŚ, 1959), C – from 1983 (Wojciechowski, 1990), D – z 2002 r. (Choiński & Kaniecki, 2004)



Ryc. 11. Porównanie planów batymetrycznych jeziora Łebsko: A – z 1963 r. (IRŚ, 1963), B – z 2002 r. (Choiński i Kaniecki, 2004)
Comparison of bathymetric plans for Lake Łebsko: A – from 1963 (IRŚ, 1963), B – from 2002 (Choiński & Kaniecki, 2004)

się o 10,4%, z 28 mln m³ do 30,9 mln m³ wody. W tym czasie odnotowano także wzrost powierzchni (o 7,3%), by w kolejnych latach zaobserwować tendencję spadkową. Ten zmienny w czasie trend spowodował, iż generalnie okres obejmujący 100 lat (1900-2000) cechował się zmniejszeniem całkowitej powierzchni jeziora na poziomie zaledwie 1,7%. Nieco inne wyniki otrzymano w przypadku jeziora Łebsko. Kubatura zretencjonowanej wody uległa redukcji ze 160 mln m³ w roku 1900 do 117,5 mln m³ w roku 1960, zatem o 26,6%. Z kolei powierzchnia jeziora w okresie badań podlegała stałej tendencji spadkowej, wynoszącej w latach 1900-2000 7,1%. Zaobserwowano jednak, że zmiany powierzchni w przeliczeniu na rok charakteryzowały się szybszym tempem zmniejszania powierzchni jeziora do roku 1975, a spowolnieniem procesu w ostatnim okresie badawczym.

Badania innych autorów prowadzone na obu jeziorach nie zawsze w pełni korespondują z wyżej przytoczonymi danymi, co jest rezultatem przyjęcia innego przedziału czasowego lub podejścia badawczego. Według [Balickiego \(1980\)](#) w latach 1930-1980 zasoby wodne jeziora Gardno zmniejszyły się o 6 mln m³, co stanowi około 16% jego objętości. Natomiast [Tobolski et al. \(1997\)](#) wskazują, że w okresie 1936-1996 powierzchnia jeziora Gardno zmniejszyła się o 100 ha (średnio w roku o 0,7 ha), a jeziora Łebsko uległa redukcji o 382 ha (średnio w roku o 6,4 ha). Z kolei [Schechtl \(1984\)](#), który prowadził badania na jeziorze Łebsko, stwierdził przyspieszenie tempa zarastania akwenu wraz z upływem czasu. Według autora, w okresie 1884-1920 powierzchnia jeziora Łebsko skurczyła się o 104 ha (średnio o 2,9 ha w roku), zaś w latach 1921-1983 o 650 ha (średnio o 10,5 ha w roku).

Najnowsze badania dotyczące zmian powierzchni obu jezior przeprowadzono w oparciu o wskaźnik NDVI. Wskazują one, że powierzchnia jeziora Gardno w okresie 2000-2014 zmniejszyła się o 167,7 ha ([Mironik et al., 2019](#)), a jeziora Łebsko od roku 1941 o około 382 ha ([Michałowska i Hejmanowska, 2008](#)).

Zebrane dane pokazują, że misy jezior Gardno i Łebsko podlegają transformacji w kierunku zmian wpływających negatywnie na ich funkcjonowanie, wkraczając nieuchronnie w stadium zaniku. Trend tych zmian nie jest odosobniony i jak podają badania [Choińskiego et al. \(2014\)](#), podlegają mu także inne jeziora polskiej strefy brzegowej (Jamno, Bukowo), wskazując jako przyczynę złożone procesy zlewniowo-morfometryczne.

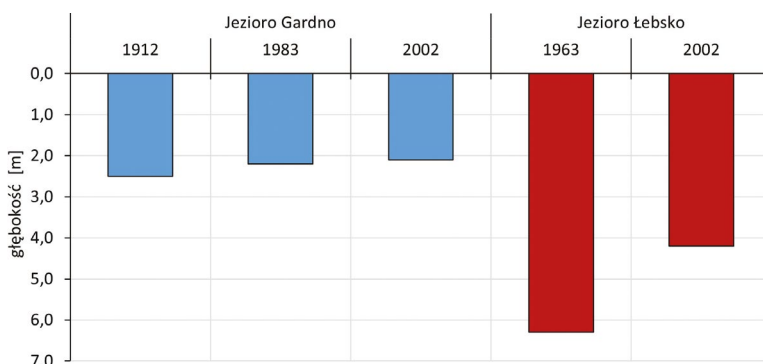
Jednym z ważniejszych powodów zaniku jezior Gardno i Łebsko, a co za tym idzie ograniczenie możliwości retencyjnych, jest ich zarastanie (łądowanie) głównie szuwarami trzcinowymi *Phragmites communis* oraz przesuwanie się pasa mierzejowego. Tempo zmian linii brzegowej jeziora Łebsko w latach 1891-1965 wyniosło od 0,5 do 1,2 m/rok ([Miszalski, 1973](#)). Szacuje się, że rozprzestrzenianie się szuwarów powoduje ubytek lustra wody jeziora Łebsko w tempie 0,3-3,0 m/rok ([Piotrowska, 1997](#)). W przeszłości czynnikiem sprawczym redukcji powierzchni obu jezior był intensywny drenaż Niziny Gardneńsko-Łebskiej w wyniku przeprowadzonych prac melioracyjnych ([Chlost i Sikora, 2015](#)). Pomimo zaprzestania odwodnienia proces kurczenia się lustra wody i ekspansji trzcinowisk w obu jeziorach nadal postępuje. Proces ten należy wiązać częściowo z obciążeniem substancjami odżywczymi wód jeziornych pochodzących z dostawy zanieczyszczeń rzekami dopływającymi do jezior ([Burchardt, 2005](#)), a częściowo z następstwem oddziaływania efektów zmiany klimatu, widocznych od lat 80. ubiegłego wieku, zwłaszcza pojawiających się susz hydrologicznych ([Xi et al., 2021](#)).

Według [Choińskiego i Kanieckiego \(2004\)](#) transformacja kształtu linii brzegowej i batymetrii jezior to także wynik zamulania osadami nanoszonymi przez rzeki (Łupawę i Łebę). Uruchomienie transportu i depozycji osadów w jeziorach następuje w wyniku gwał-

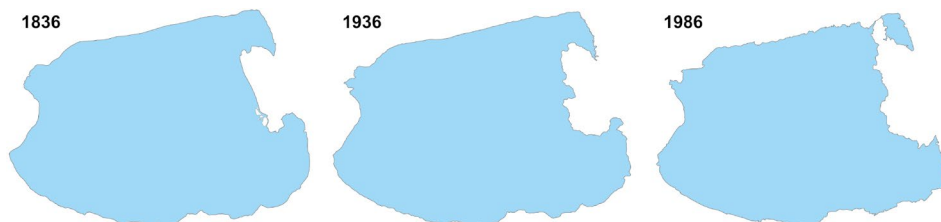
townych opadów atmosferycznych, których liczba w ostatnim czasie wzrasta w związku ze wzrostem ekstremalnych zjawisk pogodowych. Badania wskazują, że kubatura osadów wnoszonych do jeziora Gardno przez rzekę Łupawę wynosi odpowiednio 3,73 tys. ton/rok, co przekłada się na roczne wypływanie masy jeziora rzędu 0,06 mm (Balicki, 1980). Z kolei rzeka Łeba dostarcza do jeziora Łebsko 6,14 tys. ton materiału rocznie.

Przy założeniu obecnego tempa zaniku badanych jezior, stosując wzór Kerekesa (1977), trwałość jeziora Gardno szacowana jest na 1350 lat, a jeziora Łebsko na 2100 lat. Aby zobrazować dynamikę zmian, jakie zachodzą w obu jeziorach, na rycinie 13 przedstawiono zmiany kształtu jeziora Gardno w okresie zaledwie 150 lat, włącznie z wydzieleniem w II połowie XX w. Jeziora Smołdzińskiego.

Zaprezentowane powyżej materiały rejestrujące zmiany powierzchni badanych jezior wpisują się w obserwowane zmiany klimatu, a w szczególności zmiany temperatury powietrza i wody. Dotyczy to przede wszystkim lat 60. i 70. XX w., kiedy nastąpił wzrost tempa zaniku jezior, przerwany krótkotrwałym okresem wyhamowania procesu pod koniec wieku i ponownym wzrostem zjawiska na początku XXI w. Pomimo występujących fluktuacji tendencja stałego zarastania jezior jest jednak niezmienna. Potwierdzają to także obliczenia Mironika et al. (2019), prowadzone w okresie 2000-2014 na przykładzie jeziora



Ryc. 12. Zmiany głębokości maksymalnej w jeziorze Łebsko i jeziorze Gardno w wybranych latach
Changes in the maximum depths of Lakes Łebsko and Gardno in selected years



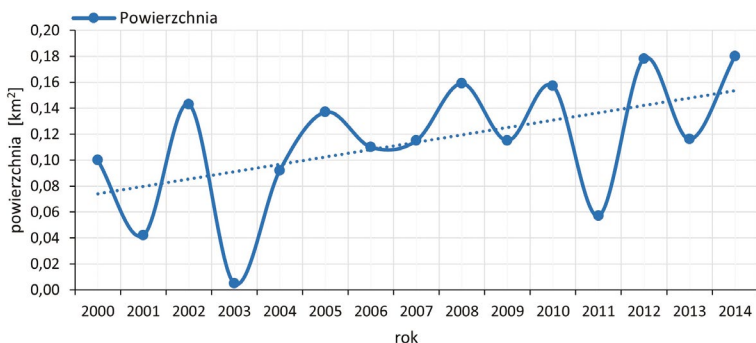
Ryc. 13. Powstanie Jeziora Smołdzińskiego

1836 – Die Preussischen Gradabteilungsblätter in skali 1:25000 (1836-1837), 1936 – Messtischblätter Topographische Karte in skali 1:25000 (1936-1942), 1986 – Wojskowa Mapa Topograficzna w skali 1:50000 (1985-1986)

The development of Lake Smołdzińskie

1836 – Die Preussischen Gradabteilungsblätter in scale 1:25000 (1836-1837), 1936 – Messtischblätter Topographische Karte in scale 1:25000 (1936-1942), 1986 – Military topographical map in scale 1:50000 (1985-1986)

Gardno. Wskazują one, że rozkład zmienności zarastania efektywnego w jeziorze Gardno jest zróżnicowany. Wyraźnie zaznaczają się lata ze wzmożoną aktywnością procesu oraz lata wyraźnego spadku jego intensywności (ryc. 14), przy czym biorąc pod uwagę badane 15-lecie, proces wykazuje tendencję wzrostową. Trend liniowy wykonany na podstawie istniejących danych potwierdza powolny wzrost powierzchni zarastania jeziora Gardno, co jest naturalnym procesem cechującym wszystkie jeziora w obecnym klimacie.



Ryc. 14. Zmiany powierzchni efektywnego zarastania wraz z trendem liniowym

Źródło: Mironik et al. (2019).

Changes in the area of effective overgrowth along with the linear trend

Wnioski

Realizacja celu i uzyskane w toku badań wyniki nie pozwalają na jednoznaczne stwierdzenie, w jakim kierunku podąży ewolucja badanych jezior i w jaki sposób będą kształtowały się ich zasoby wodne, ponieważ parametry opisujące ich cechy hydrologiczne i fizyczne zmieniają się niesynchronicznie, a często przeciwstawnie w stosunku do zachowania żywotności i funkcji jezior. Niemniej jednak zarysowuje się tendencja do kurczenia się ich powierzchni, a tym samym utraty pierwotnych zdolności retencyjnych. Parametry podlegają dodatniej lub ujemnej zmianie w czasie. Przyczyn tego stanu rzeczy należy upatrywać w lokalnych warunkach geograficznych, w jakich funkcjonują jeziora oraz w obserwowanej od II połowy XX w. zmianie klimatu. Konsekwencją globalnego ocieplenia jest wzrost poziomu morza, udokumentowany na przykładzie stacji mareograficznych w Ustce i Łebie, a badane jeziora są silnie z nim skorelowane, co oznacza równoczesny wzrost poziomu jeziora Gardno i Łebsko. Każde z nich, ze względu na warunki zlewniowe, lokalne i indywidualny charakter połączenia z Morzem Bałtyckim, reaguje nieco inaczej i w innej skali czasu. Na proces ten wyraźnie odpowiada jezioro Łebsko, którego lustro wody w wieloletniu 1961-2010 podniosło się średnio o 1,40 cm/10 lat, podczas gdy w jeziorze Gardno zmalało (-0,17 cm/10 lat). Następnym pozytywną odpowiedzi jeziora Łebsko na podwyższenie poziomu morza był dwukrotny wzrost udziału wód morskich w jego bilansie wodnym, chociaż do tego wyniku należy podchodzić z rozwagą, ze względu na zbyt krótki okres porównawczy.

Kierunek zmian zasobów wód atmosferycznych jest trudny do interpretacji, gdyż z analizy danych pochodzących z dwóch posterunków opadowych, położonych stosun-

kowo blisko siebie, uzyskano skrajnie różne wyniki. Na stacji Ustce trend zmian opadów atmosferycznych w całym wieloleciu okazał się ujemny (-11,6 mm/10 lat), zaś w Łebie – dodatni (5,36 mm/10 lat), co może wynikać z ogólnej cechy opadów występujących w Polsce, które są bardzo zróżnicowane czasowo i przestrzennie, ze względu na ścieranie się mas powietrza oceanicznego i kontynentalnego. Pozytywne trendy natomiast uzyskano wobec wielkości dopływu potamicznego największych rzek zasilających jeziora. Obliczenia dla rzeki Łupawy wykazały wzrost objętości przepływu na poziomie $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}/10 \text{ lat}$, a dla rzeki Łeby – $0,27 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}/10 \text{ lat}$.

Zmiany, jakie realizują się wskutek ocieplenia atmosfery na polskim wybrzeżu, skutkują zmianami cech fizycznych wód jeziornych poprzez dodatni trend temperatury wody wahający się w zakresie od $0,18^\circ\text{C}/10 \text{ lat}$ (Gardno) do $0,26^\circ\text{C}/10 \text{ lat}$ (Łebsko), w rezultacie czego następuje zmniejszenie liczby dni, w których na jeziorach występuje pokrywa lodowa. W ciągu 50 badanych lat liczba ta zmniejszyła się z ponad 100 do około 50-60. Zachowanie zaobserwowanego trendu będzie skutkowało w przyszłości wydłużeniem okresu wegetacyjnego i ekspansją roślinności w strefie litoralu, której biomasa będzie odkładać się w misach jezior, prowadząc do ich wyptykania i zmniejszania powierzchni pokrytej wodą.

Ryciny i tabele, pod którymi nie zamieszczono źródeł, są opracowaniem własnym Autorów artykułu.

Piśmiennictwo

- Balicki, H. (1980). Szkic hydrograficzny zlewni jeziora Gardno. *Wiadomości IMiGW*, 4, 8-10.
- Baranowski, D. (2008). The climate of Łeba. *Baltic Coastal Zone*, 12, 75-84.
- Bartosiewicz, M., Ptak, M., Woolway, R., & Sojka, M., (2021). On thinning ice: effects of atmospheric warming, changes in wind speed and rainfall on ice conditions in temperate lakes (Northern Poland). *Journal of Hydrology*, 597, 125724. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125724>
- Biedka, P. (2013). Wpływ zmian temperatury na przebieg procesów związanych z eutrofizacją jezior. *Ekonomia i Środowisko*, 45(2), 242-254.
- Burchardt, L. (red.). (2005). *Ekosystemy wodne Słowińskiego Parku Narodowego*. Poznań: Wydawnictwo Naukowe UAM.
- Byun, K., Chiu, C.M. & Hamlet, A.F. (2019). Effects of 21st century climate change on seasonal flow regimes and hydrologic extremes over the Midwest and Great Lakes region of the US. *Science of The Total Environment*, 650(1), 1261-1277. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.063>
- Chlost, I. (2009). Stany wody a bilans wodny jeziora Łebsko. W: R. Bogdanowicz, J. Fac-Beneda (red.), *Zasoby i ochrona wód. Obieg wody i materii w zlewniach rzecznych* (p. 211-220). Gdańsk: Wydawnictwo FRUG.
- Chlost, I. (2019). Water balance of Lake Gardno. *Limnological Review*, 19(1), 15-23. <https://doi.org/10.2478/limre-2019-0002>.
- Chlost, I., & Cieśliński, R. (2005). Change of level of waters lake Łebsko. *Limnological Review*, 5, 17-26.
- Chlost, I., & Sikora, M. (2015). The impact of anthropogenic pressure on the change of water relations in Gardno-Łeba Lowland. *Quaestiones Geographicae*, 34(3), 17-31. <https://doi.org/10.1515/quageo-2015-0030>, ISSN 0137-477X
- Choiński, A. (2006). *Katalog jezior Polski*. Poznań: Wydawnictwo Naukowe UAM.

- Choiński, A. (2017). Change of morphometric coastal lakes. W: Obolewski, K. (red.), *The ecological status of the southern Baltic coastal lakes* (p. 19-39). Warszawa: PWN.
- Choiński, A., & Kaniecki, A. (2004). Plan ochrony Słowińskiego Parku Narodowego. Tom IV: Plan ochrony wód powierzchniowych. Smółdzino (maszynopis).
- Choiński, A., & Ptak, M. (2019). Occurrence, genetic types, and evolution of lake basins in Poland. W: E. Korzeniewska, M. Harnisz (red.), *Polish river basins and lakes – Part I. The Handbook of Environmental Chemistry* (s. 69-87). Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-12123-5_4
- Choiński, A., Ptak, M., & Ławniczak, A.E. (2016). Changes in water resources of Polish lakes as influenced by natural and anthropogenic factors. *Polish Journal of Environmental Studies*, 25(5), 1883-1890. <https://doi.org/10.15244/pjoes/62906>
- Choiński, A., Ptak, M., Skowron, R. & Strzelczak, A. (2015). Changes in ice phenology on Polish lakes from 1961 to 2010 related to location and morphometry. *Limnologica*, 53, 42-49. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2015.05.005>
- Choiński, A., Ptak, M., & Strzelczak, A. (2012). Examples of lake disappearance as an effect of reclamation. Works in Poland. *Limnological Review*, 4, 161-167. <https://doi.org/10.2478/v10194-012-0056-2>
- Choiński, A., Ptak, M., & Strzelczyk, A. (2014). Present-day evolution of coastal lakes based on the example of Jamno and Bukowo (the Southern Baltic coast). *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 43(2), 178-184. <https://doi.org/10.2478/s13545-014-0131-1>
- Cieśliński, R. (2013). Short-term changes in specific conductivity in Polish coastal lakes (Baltic Sea basin). *Oceanologia*, 55(3), 639-661. <https://doi.org/10.5697/oc.55-3.639>
- Cieśliński, R. (2018). Changes in hydrological, physical and chemical properties of water in closed/open coastal lakes due to hydrotechnical structures. *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 47(4); 345 – 358. <https://doi.org/10.1515/ohs-2018-0033>
- Cieśliński, R., Chlost, I., & Budzisz, M. (2016). Water circulation and recharge pathways of coastal lakes along the southern Baltic Sea in northern Poland. *Limnological Review*, 16(2); 63-75. <https://doi.org/10.1515/limre-2016-0007>
- Ersoy, Z., Scharfenberger, U., Baho, D.L., Bucak, T., Feldmann, T., Hejzlar, J., Levi, E.E., Mahdy, A., Nöges, T., Papastergiadou, E., Stefanidis, K., Šorf, M., Søndergaard, M., Trigał, C., Jeppesen, E., & Beklioglu, M. (2020). Impact of nutrients and water level changes on submerged macrophytes along a temperature gradient: A pan-European mesocosm experiment. *Global Change Biology*, 26, 6831-6851. <https://doi.org/10.1111/gcb.15338>
- Girjatowicz, J.P. (2003). Ice conditions in coastal lakes of the southern Baltic Sea. *Annales de Limnologie*, 39(4), 317-331. <https://doi.org/10.1051/limn/2003026>
- Girjatowicz, J.P. (2007). *Katalog złodzenia i warunków termicznych polskiego wybrzeża*. Szczecin: Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego.
- Gusev, E.M., Nasonova, O.N., Kovalev, E.E., & Ayzel, G.V. (2019). Impact of Possible Climate Change on Extreme Annual Runoff from River Basins Located in Different Regions of the Globe. *Water Resources*, 46, 126-136. <https://doi.org/10.1134/S0097807819070108>
- Halbfass, W. (1901a). *Beiträge zur Kenntnis der pommerschen Seen*. Gotha: J. Perthes.
- Halbfass, W. (1901b). *Ergebnisse seiner Seenforschung in Pommern*. Verh. der Gesellschaft für Erdkunde, 28.
- Halbfass, W. (1904). *Weitere Beiträge zur Kenntnis der Pommerschen Seen*. Pettermanns Mitteilungen Ergänzungsheft.

- Helfer, F., Lemckert, Ch., & Zhang, H. (2012). Impacts of climate change on temperature and evaporation from a large reservoir in Australia. *Journal of Hydrology*, 475, 365-378.
<http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.10.008>
- IRŚ. (1959). *Plan batymetryczny jeziora Gardno*. Olsztyn: Instytut Rybactwa Śródlądowego.
- IRŚ. (1963). *Plan batymetryczny jeziora Łebsko*. Olsztyn: Instytut Rybactwa Śródlądowego.
- Jędrasik, J., & Cyberski, J. (2000). The water exchange in estuarine lakes of the southern Baltic Sea as on the Gardno example. *Oceanological Studies*, 29(3), 43-66.
- Joehnk, K.D., Huisman, J., Sharples, J., Sommeijer, B., Visser, M.P., & Stroom, M.J. (2008). Summer heatwaves promote blooms of harmful cyanobacteria. *Global Change Biology*, 14(3), 495-512.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01510.x>
- Kaniecki, A. (1997). The influence of anthropopressure on water relations in the Wielkopolska Lowland. *Geographia Polonica*, 68, 65-80.
- Kerekes, J. (1977). The index of lake basin permanence. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie*, 62(2), 291-293. <https://doi.org/10.1002/iroh.1977.3510620207>
- Kiage, L., & Walker, N. (2009). Using NDVI from MODIS to monitor duckweed bloom in lake Maracaibo: Venezuela. *Water Resources Management*, 6, 1125-1135.
<https://doi.org/10.1007/s11269-008-9318-9>
- Kirschstein, M. (2013). *Zmienność temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w północno-zachodniej Polsce*. Słupsk: Akademia Pomorska w Słupsku.
- Kolendowicz, L., & Bednorz, E. (2011). Wybrane elementy klimatu Słowińskiego Parku Narodowego w różnych skalach przestrzennych. *Prace i Studia Geograficzne*, 47, 205-213.
- Kunisch, E. (1913). Der Gardensee und Gr. Dolgensee. Mit einem Anhang: Ein Beitrag zur Kenntnis des Lebasees. *Jahresbericht Geografischer Gesellschaft Greiswald*, 12, 149-233.
- Lawniczak-Malińska, A., & Achtenberg, K. (2018). Indicator Values of emergent vegetation in overgrowing lakes in relation to water and sediment chemistry. *Water*, 498(10).
<https://doi.org/10.3390/w10040498>
- Liira, J., Feldman, T., Maemets, H., & Peterson, U. (2010). Two decades of macrophyte expansion on the shores of a large shallow northern temperate lake – A retrospective series of satellite images. *Aquatic Botany*, 93, 207-215. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2010.08.001>
- Lin, X., Zhang, Y., Yao, Z., Gong, T., Wang, H., Chu, D., Liu, L., & Zhang, F. (2008). The trend on runoff variations in the Lhasa River Basin. *Journal of Geographical Sciences*, 18, 95-106.
<https://doi.org/10.1007/s11442-008-0095-4>
- Maberly, S.C., O'Donnell, R.A., Woolway, R.I., Cutler, M.E.J., Gong, M., Jones, I.D., Merchant, C.J., Miller, C.A., Politi, E., Scott, M., Thackeray, S.J., & Tyler, A.N. (2020). Global lake thermal regions shift under climate change. *Nature Communications*, 11, 1232.
<https://doi.org/10.1038/s41467-020-15108-z>
- Marsz, A., & Styszyńska, A. (2021). *Inercja rocznego odpływu całkowitego rzek Polski względem międzyrocznej zmienności przebiegu elementów klimatycznych*. Badania fizjograficzne. Seria A. Geografia fizyczna, 12; 159-179. <https://doi.org/10.14746/bfg.2021.12.9>
- Michałowska, K., & Hejmanowska, B. (2008). Możliwości wykorzystania wieloczasowych obrazów znormalizowanego indeksu wegetacji (NDVI) i archiwalnych ortofotomap do badania zmienności wybranych elementów środowiska, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 18, 397-407.
- Miętus, M. (2003). Long-term sea level variability along the Polish coast of the Baltic Sea. W: K. Haman, B. Jakubiak, J. Zabczyk (red.), *Probabilistic Problems in Atmospheric and Water Sciences*. Seria Fizyka Atmosfery (s. 170-181). Warszawa: Wydawnictwo ICM.

- Mironik, K., Młodzik, A. & Cieśliński, R. (2019). Ocena tempa i kierunków zarastania jezior przy wykorzystaniu znormalizowanego różnicowego wskaźnika wegetacji NDVI na przykładzie jeziora Gardno, *Prace i Studia Geograficzne*, 64(3), 145-160.
- Miszalski, J. (1973). *Współczesne procesy eoliczne na Pobrzeżu Słowińskim. Studium Fotointerpretacyjne*. Dokumentacja Geograficzna. Warszawa: Instytut Geografii PAN.
- Papastergiadou, E.S., Retalis, A., Apostolakis, A., & Georgiadis, Th. (2008). Environmental monitoring of spatio-temporal changes using remote sensing and GIS in a mediterranean wetland of Northern Greece. *Water Resources Management*, 22(5), 579-594.
<https://doi.org/10.1007/s11269-007-9179-7>
- Piccolroaz, S., Zhu, S., Ptak, M., Sojka, M., & Du, X. (2021). Warming of lowland Polish lakes under future climate change scenarios and consequences for ice cover and mixing dynamics. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 34, 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100780>
- Piotrowska, H. (red.). (1997). *Przyroda Słowińskiego Parku Narodowego*. Poznań-Gdańsk: Bogucki Wydawnictwo Naukowe.
- Pociask-Karteczka, J. (2011). River runoff response to climate changes in Poland (East-Central Europe). W: *Hydro-climatology: variability and change*. Proceedings of symposium J-H02, IUGG 2011, Melbourne, Australia. IAHS Publication, 344, 182-187.
- Pruszek, Z., & Zawadzka, E. (2008). Potential implications of sea-level rise for Poland. *Journal of Coastal Research*, 24(2), 410-422. <https://doi.org/10.2112/07A-0014.1>
- Ptak, M. (2013). Zmiany powierzchni i batymetrii wybranych jezior pojezierza pomorskiego. *Prace Geograficzne*, 133, 61-76.
- Ptak, M., Choiński, A. & Kirvel, J. (2016). Long-term water temperature fluctuations in coastal rivers (Southern Baltic) in Poland. *Bulletin of Geography. Physical Geography Series*, 11, 35-42.
<https://doi.org/10.1515/bgeo-2016-0013>
- Ptak, M., Choiński, A., Sojka, M. & Zhu, S. (2021). Changes in the water resources of selected lakes in Poland in the period 1916-2020 as information to increase their availability. *Sustainability*, 13(13), 7298. <https://doi.org/10.3390/su13137298>
- Ptak, M., Olowoyeye, T., & Sojka, M. (2022). Trends of changes in minimum lake water temperature in Poland. *Applied Science*, 12, 12601. <https://doi.org/10.3390/app122412601>
- Ptak, M., & Sojka, M. (2021). The disappearance of ice cover on temperate lakes (Central Europe) as a result of climate warming. *Geographical Journal*, 187(3), 200-213.
<https://doi.org/10.1111/geoj.12385>
- Ptak, M., Sojka, M., Choiński, A., & Nowak, B. (2018). Effect of environmental conditions and morphometric parameters on surface water temperature in Polish lakes. *Water*, 10(5), 580.
<https://doi.org/10.3390/w10050580>
- Ptak, M., Sojka, M., & Kozłowski, M. (2019). The increasing of maximum lake water temperature in lowland lakes of central Europe: case study of the Polish Lakeland. *International Journal of Limnology*, 55(6). <https://doi.org/10.1051/limn/2019005>
- Ptak, M., Tomczyk, A., & Wrzesiński, D. (2018). Effect of teleconnection patterns on changes in water temperature in Polish lakes. *Atmosphere*, 66(9), <https://doi.org/10.3390/atmos9020066>
- Ptak, M., Tomczyk, A.M., Wrzesiński, D. & Bednorz, E. (2019). Effect of teleconnection patterns on ice conditions in lakes in lowland Poland. *Theoretical and Applied Climatology*, 138, 1961-1969.
<https://doi.org/10.1007/s00704-019-02929-2>
- Schechtl, A. (1984). Plan urządzenia gospodarstwa leśnego na okres 1.01.1983 do 31.12.1992, Słowiński Park Narodowy, I: część ogólna planu. Szczecinek: Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej (maszynopis).

- Schulz, S., Darehshouri, S., Hassanzadeh, E., Tajrishy, M., & Schüth, C. (2020). Climate change or irrigated agriculture – what drives the water level decline of Lake Urmia. *Scientific Reports*, 10, 236. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-57150-y>
- Shorthouse, C.A., & Arnell, N.W. (1997). Spatial and temporal variability in European river flows and the North Atlantic oscillation. *IAHS Publication*, 246, 77-85.
- Szopowski, Z. (1962). *Wybrane zagadnienia związane z wymianą wód pomiędzy jeziorem Łebsko a morzem*. Materiały do monografii polskiego brzegu morskiego, z. 3. Gdańsk-Poznań: PWN.
- Tobolski, K., Mocek, A., & Dzieciotowski, W. (1997). *Gleby Słowińskiego Parku Narodowego w świetle historii roślinności i podłoża*. Bydgoszcz – Poznań: Homini.
- Weber, M. (1973). Próba obliczenia bilansu wodnego jeziora Łebsko. *Wiadomości Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej*, 96(4), 69-73.
- Wojciechowski, A. (1990). *Analiza litofacyjna osadów jeziora Gardno*. Seria Geografia, 49. Poznań: Wydawnictwo UAM.
- Woolway, R.I., Kraemer, B.M., Lenters, J.D., Merchant, C.J., O'Reilly, C.M., & Sharma, S. (2020). Global lake responses to climate change. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1, 388-403. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0067-5>
- Woolway, R.I., & Merchant, C.J. (2019). Worldwide alteration of lake mixing regimes in response to climate change. *Nature Geoscience*, 12, 271-276. <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0322-x>
- Wrzesiński, D. (2014). Zróżnicowanie reżimu odpływu rzek w północno-zachodniej Polsce. *Badania Fizjograficzne. Seria A – Geografia Fizyczna*, 65, 261-274. <https://doi.org/10.14746/bfg.2014.5.18>
- Wrzesiński, D., Choiński, A., Ptak, M., & Skowron, R. (2015). Effect of the North Atlantic Oscillation on the pattern of lake ice phenology in Poland. *Acta Geophysica*, 63, 1664-1684. <https://doi.org/10.1515/acgeo-2015-0055>
- Wrzesiński, D., & Ptak, M. (2017). An investigation of water level fluctuations in Polish lakes in various phases of the winter North Atlantic Oscillation. *Geology, Geophysics & Environment*, 43(2), 151-163. <https://doi.org/10.7494/geol.2017.43.2.151>
- Xi, Y., Peng, S., Ciais, P., & Chen, Y. (2021). Future impacts of climate change on inland Ramsar wetlands. *Nature Climate Change*, 11, 45-51. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00942-2>
- Xia, X.H., Wu, Q., Mou, X.L., & Lai, Y.J. (2014). Potential impacts of climate change on the water quality of different water bodies. *Journal of Environmental Informatics*, 25(2), 85-98. <https://doi.org/10.3808/jei.201400263>
- Xia, X., Wu, Q., Zhu, B., Zhao, P., Zhang, S., & Yang, L. (2015). Analyzing the contribution of climate change to long-term variations in sediment nitrogen sources for reservoirs/lakes. *Science of The Total Environment*, 523, 64-73. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.03.140>
- Xie, Y., Zhang, Y., Lan, H., Mao, L., Zeng, S., & Chen, Y. (2018). Investigating long-term trends of climate change and their spatial variations caused by regional and local environments through data mining. *Journal of Geographical Sciences*, 28(6), 802-818. <https://doi.org/10.1007/s11442-018-1506-9>
- Yang, X., Warren, R., He, Y., Ye, J., Li, Q. & Wang, G. (2018). Impacts of climate change on TN load and its control in a River Basin with complex pollution sources. *Science of The Total Environment*, 615, 1155-1163. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.288>
- Zhang, G., Yao, T., Chen, W., Zheng, G., Shumck, C.K., Yang, K., Piao, S., Sheng, Y., Yi, S., Li, J., O'Reilly, C., Qi, S., Shen, S., Zhang, H. & Jia, Y. (2019). Regional differences of lake evolution across China during 1960s-2015 and its natural and anthropogenic causes. *Remote Sensing of Environment*, 221, 386-404. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.11.038>
- Żmudzka, E. (2009). Współczesne zmiany klimatu Polski. *Acta Agrophysica*, 13(2), 555-568.

Summary

This paper offers a synthetic account of selected hydrological and physical characteristics of two coastal lakes in Poland, under the apparent influence of changes to be observed in elements of climate. The focus was on those characteristics whose changes can affect lake morphometry and water resources significantly. The two coastal lakes in Poland selected for study were Lakes Gardno and Łebsko, both of which are situated in the area of Słowiński National Park. To achieve the objective, it was necessary to analyse the parameters shaping the lakes' resources, also as a reflection of their respective positions in the catchment of, and in hydraulic connectivity with, the main drainage base, i.e. that of the Baltic Sea. The parameters characterised were therefore: precipitation, potamic inflow, lake levels and fluctuations in levels, and seaward alimentation. All of these aspects were considered in relation to the 50-year period of 1961-2010. The study also considered processes occurring in the lake basins themselves (surface changes, shallowing), as well as physical properties of the water (temperature, ice).

In the event, it emerged that the work was unable to establish unequivocally the directions in which the two studied lakes could be thought to be evolving. There are nevertheless many indications that the anticipated process of transformation over a geological timescale will be accelerated, resulting in the final (disappearance) stage being reached much faster than would be expected from the natural, harmonic process of ageing of lakes. Leaving aside the fact of human influence in the context, many studied parameters describing the hydrological and physical properties of the two lakes could be regarded as manifesting trends correlated with global warming.

On the one hand, the recorded increases in potassium inflows equal to $0.20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}/10$ years (along the River Łupawa) and $0.27 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}/10$ years (along the River Łeba), as well as in sea level (equal to 1.6-1.8 cm/10 years), offer a guarantee of stable water resources forming in the lakes, and should denote increased water levels. In the event, however, the research actually shows the two lakes reacting differently to supply, to the extent that the negative trend for water level in Lake Gardno (of $-0.17 \text{ cm}/10$ years) contrasts with the positive one noted for Lake Łebsko (equal to $1.40 \text{ cm}/10$ years).

On the other hand, volumes of water retained naturally could be expected to be impaired by observed increases in air temperature – and consequently water temperature, as well as frequently occurring droughts, increased water losses due to evaporation, and unfavourable morphometric features of the lakes. Furthermore, increased supply of sediments by rivers as a consequence of increased flow would be expected to bring about reductions in area, with faster overgrowth taking place. Reed communities at present occupy 4.1% of Lake Gardno and 9.1% of Lake Łebsko. Since 1836, the lakes are estimated to have shrunk by some 237 ha (9.1%) in the case of Lake Gardno, and 546 ha (7.2%) in the case of Lake Łebsko.

Meanwhile, positive trends for water temperature in both lakes resulted in a decline in the number of days with ice phenomena over the 50-year study period – from over 100 to just 50-60.