



Wpływ zmiany klimatu na przyszłe warunki występowania zlodzenia Bałtyku

Scenariusze zmian zlodzenia Bałtyku

Scenariusze zmian zlodzenia na Bałtyku zostały opracowane w odniesieniu do okresu referencyjnego 1971-1990 z wykorzystaniem zidentyfikowanych metodami statystycznego downscalingu relacji między regionalnym polem wymuszenia (ciśnienie atmosferyczne, temperatura powietrza z poziomu 2 m n. p. g., temperatura powietrza z poziomu 700 hPa) a zlodzeniem Bałtyku. Informacje o przyszłych zmianach pola wymuszenia pozyskano z dwóch symulacji globalnych: ECHAM-5 oraz HadCM3. Przyszłe zmiany zlodzenia na Bałtyku zostały wyznaczone dla wybranych scenariuszy emisyjnych (B1, A1B, A2).

Średnia liczba dni ze zlodzeniem na polskim wybrzeżu w okresie referencyjnym 1971-1990 wyniosła 16,4 dnia w Świnoujściu, 9,5 w Kołobrzegu, 8,7 w Ustce, 2,3 w Helu, 11,1 w Gdyni oraz 7,7 w Gdańsku. Scenariusze opracowane na podstawie symulowanych przez modele globalne zmian regionalnej cyrkulacji atmosferycznej wskazują, że w okresie 2011-2030 liczba dni ze zlodzeniem ulegnie stosunkowo niewielkim zmianom. Zakres oraz kierunek zmian uzależnione są od scenariusza emisyjnego – w przypadku B1 zmiany nie przekroczą, z wyjątkiem Helu, $\pm 6\%$, w przypadku A1B nastąpi spadek od ok. 4% w Świnoujściu wzrastający w kierunku wschodnim do niemal 12% w Gdańsku, z kolei w przypadku A2 liczba dni z lodem wzdłuż całego wybrzeża zwiększy się o ok. 10-15%. Pod koniec XXI w. (2081-2100) modele oparte na wszystkich scenariuszach emisyjnych wskazują dość wyraźny spadek liczby dni ze zlodzeniem – ich liczba zmniejszy się od ok. 30% (B1) do ok. 40% (A2).

Znacznie większe zmiany występowania zlodzenia są przewidywane na podstawie zmian temperatury powietrza na poziomie 2 m n. p. g. W tym przypadku znaczny spadek liczby dni z lodem zaznacza się już w okresie 2011-2030 – od ok. 40% (A2) do niemal 60% (A1B). Dla okresu 2081-2100 wyniki sugerują, iż zlodzenie wzdłuż polskiego wybrzeża będzie zjawiskiem incydentalnym (B1) lub nie wystąpi w ogóle (A1B, A2).

Przewidywana liczba dni ze zlodzeniem wzdłuż polskiego wybrzeża – scenariusze wiązkowe opracowane na podstawie przyszłych zmian regionalnego pola barycznego dla wybranych scenariuszy emisyjnych (B1, A1B i A2)

| | | Świnoujście | Kołobrzeg | Ustka | Hel | Gdynia | Gdańsk |
|-----------|-----|-------------|-----------|-------|-----|--------|--------|
| 2011-2030 | B1 | 15,4 | 9,4 | 9,1 | 2,6 | 10,6 | 7,9 |
| | A1B | 15,7 | 8,6 | 7,9 | 2,1 | 9,9 | 6,8 |
| | A2 | 18,3 | 10,7 | 10,0 | 2,6 | 12,1 | 8,4 |
| 2081-2100 | B1 | 12,7 | 6,6 | 6,0 | 1,6 | 7,7 | 5,2 |
| | A1B | 10,0 | 6,0 | 5,9 | 1,8 | 6,7 | 5,1 |
| | A2 | 9,3 | 5,6 | 5,5 | 1,6 | 6,5 | 4,8 |

Przewidywana liczba dni ze zlodzeniem wzdłuż polskiego wybrzeża – scenariusze wiązkowe opracowane na podstawie przyszłych zmian regionalnego pola temperatury powietrza z poziomu 2 m n.p.g. dla wybranych scenariuszy emisyjnych (B1, A1B i A2)

| | | Świnoujście | Kołobrzeg | Ustka | Hel | Gdynia | Gdańsk |
|-----------|-----|-------------|-----------|-------|-----|--------|--------|
| 2011-2030 | B1 | 8,5 | 4,2 | 3,9 | 1,0 | 4,9 | 3,4 |
| | A1B | 9,5 | 4,2 | 3,6 | 0,9 | 4,9 | 3,1 |
| | A2 | 10,1 | 5,5 | 5,2 | 1,4 | 6,2 | 4,5 |
| 2081-2100 | B1 | 1,0 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,3 | 0,1 |
| | A1B | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | A2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

Przewidywana liczba dni ze zlodzeniem wzdłuż polskiego wybrzeża – scenariusze wiązkowe opracowane na podstawie przyszłych zmian regionalnego pola temperatury powietrza z poziomu 700 hPa dla wybranych scenariuszy emisyjnych (B1, A1B i A2)

| | | Świnoujście | Kołobrzeg | Ustka | Hel | Gdynia | Gdańsk |
|-----------|-----|-------------|-----------|-------|-----|--------|--------|
| 2011-2030 | B1 | 9,0 | 5,1 | 4,7 | 1,3 | 5,9 | 4,1 |
| | A1B | 8,1 | 4,9 | 4,8 | 1,3 | 5,4 | 4,0 |
| | A2 | 11,2 | 7,2 | 7,1 | 2,0 | 8,0 | 6,0 |
| 2081-2100 | B1 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | A1B | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | A2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

Zbliżone rezultaty otrzymano na podstawie zmian temperatury na poziomie 700 hPa, a więc w swobodnej atmosferze na wysokości ok. 3 km. Nieco mniejszy jest w tym przypadku spadek liczby dni z lodem przewidywany dla okresu 2011-2030 – od ok. 20% (A2) do ok. 45% (B1, A1B). Z kolei pod koniec XXI w. zlodzenie na polskim wybrzeżu praktycznie nie będzie już występowało.

Przewidywane zmiany cyrkulacji atmosferycznej nad Północnym Atlantykiem i Europą przyczynią się do relatywnie niewiel-

kich zmian liczby dni z lodem na polskim wybrzeżu w okresie 2011-2030. Nasilające się z czasem zmiany cyrkulacji spowodują jednak, iż występowanie zlodzenia ulegnie wyraźnemu ograniczeniu pod koniec XXI w. Biorąc z kolei pod uwagę przewidywany systematyczny wzrost temperatury powietrza znaczny spadek liczby dni z lodem może wystąpić już w najbliższym dwudziestolecu, a pod koniec XXI w. polskie wybrzeże może być całkowicie wolne od zjawisk lodowych.



Wpływ zmiany klimatu na przyszłe warunki występowania zlodzenia Bałtyku

Scenariusze zmian zlodzenia Bałtyku

Opracowano także modele statystyczno-empiryczne opisujące relacje między regionalnym polem wymuszenia (cyrkulacja atmosferyczna, temperatura powietrza) a wskaźnikiem surowości zlodzenia dla 7 akwenów Bałtyku. Wskaźnik ten umożliwia klasyfikację oraz opis przestrzennej zmienności surowości zlodzenia. Wysokie wartości wskaźnika świadczą o długotrwałym zlodzeniu, podczas gdy niskie – o łagodnym przebiegu.

Scenariusze zmian wskaźnika surowości zlodzenia dla okresu 2011-2030 wskazują spadek jego wartości na wszystkich rozpatrywanych akwenach, niezależnie od wykorzystanego predyktora zmian. Rozpatrując zmiany cyrkulacji atmosferycznej (SLP) nastąpi spadek wskaźnika średnio o ok. 10%, największy na Bałtyku Zachodnim i Południowym (o ok. 16-18%), zmniejszając się w kierunku północnym (brak zmian w Zatoce Botnickiej). W przypadku scenariuszy bazujących na zmianach temperatury powietrza z poziomu 2 m n. p. g. spadek ma być znacznie większy i przekroczyć 35%, z wyjątkiem Norra Kvarken (ok. 27%) i Zatoki Botnickiej (ok. 14%). Zmiany temperatury powietrza w swobodnej atmosferze (700 hPa, ok. 3 km n. p. m.) spowodują z kolei spadek średnio o ok. 15%, największy (ok. 22%) na Morzu Alandzkim i Morzu Botnickim.

W okresie 2081-2100 przewidywane zmiany wskaźnika surowości zlodzenia są znacznie większe. W przypadku modelu opartego na zmianach cyrkulacji atmosferycznej spadek wartości wyniesie średnio ok. 25%, przekraczając 30% na Bałtyku Zachodnim, Bałtyku Południowym i Morzu Alandzkim, najmniejszy spadek z kolei przewidywany jest w Zatoce Botnickiej (ok. 5%). Scenariusz bazujący na zmianach temperatury pokazuje wyraźnie większy spadek wartości wskaźnika. Zmiany na wszystkich akwenach osiągną 86-97%, świadcząc o niemal całkowitym zaniku zlodzenia. Jedyne w Zatoce Botnickiej wartość wskaźnika ulegnie zmniejszeniu o ok. 45%. Znaczne zmiany pokazuje także scenariusz oparty na zmianach tem-



(fot. T. Krywoszejew)

Przewidywana wartość wskaźnika surowości zlodzenia na wybranych akwenach Bałtyku – scenariusze wiązkowe opracowane na podstawie przyszłych zmian regionalnego pola barycznego (SLP), temperatury powietrza z poziomu 2 m n.p.g. (t 2 m) i temperatury powietrza z poziomu 700 hPa (t 700) dla scenariusza emisyjnego A1B

| Okres | Predyktor | Bałtyk Zachodni | Bałtyk Południowy | Zatoka Fińska | Morze Alandzkie | Morze Botnickie | Norra Kvarken | Zatoka Botnicka |
|---|-----------|-----------------|-------------------|---------------|-----------------|-----------------|---------------|-----------------|
| Wartość referencyjna z okresu 1971-1990 | | | | | | | | |
| | | 1,3 | 1,9 | 4,3 | 2,3 | 4,1 | 6,2 | 7,9 |
| Scenariusze | | | | | | | | |
| 2011-2030 | SLP | 1,0 | 1,6 | 4,1 | 2 | 3,8 | 6,0 | 7,9 |
| | t 2 m | 0,8 | 1,1 | 2,8 | 1,3 | 2,5 | 4,6 | 6,8 |
| | t 700 | 1,1 | 1,6 | 3,8 | 1,8 | 3,2 | 5,4 | 7,3 |
| 2081-2100 | SLP | 0,8 | 1,2 | 3,3 | 1,4 | 3,0 | 5,3 | 7,5 |
| | t 2 m | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,8 | 4,3 |
| | t 700 | 0,3 | 0,3 | 1,0 | 0,2 | 0,2 | 1,7 | 5,2 |

peratury powietrza na poziomie 700 hPa. Z wyjątkiem Zatoki Botnickiej przewiduje się spadek wartości wskaźnika o po-

nad 70%, a na Morzu Alandzkim i Morzu Botnickim nawet o ok. 95%.