

Komunikat 02/2021
interdyscyplinarnego Zespołu doradczego do spraw kryzysu klimatycznego
przy prezesie PAN
na temat zmiany klimatu i wzrostu poziomu morza

Obserwacje wzrostu poziomu morza

(1) Globalny poziom morza, po kilku tysiącach lat względnej stabilizacji¹ podniósł się od XIX wieku o ponad 20 cm². Specjalny Raport IPCC z 2019 r. na temat oceanu i kriosfery stwierdza na podstawie przeglądu najnowszej literatury naukowej między innymi, że: „Tempo wzrostu średniego poziomu morza w latach 2006-2015 wyniosło 3,6 mm/rok, jest bezprecedensowe w ostatnich stu latach i około 2,5 razy większe niż w latach 1901-1990”^{3,4}. Niezależne, prowadzone różnymi metodami badania pokazują, że nauka rozumie mechanizmy tego wzrostu. Dane o zmianie poziomu morza zbierane przy pomocy metod satelitarnych (altimetrii) są zgodne z pomiarami poziomu morza na stacjach brzegowych (wodowskazach i mareografach)⁵, jak i ocenami na podstawie niezależnie mierzonych wzrostu zawartości ciepła wody morskiej oraz przyrostu masy wód oceanicznych⁶.

(2) Badania naukowe wykazują, że w trakcie wychodzenia z ostatniej epoki lodowej, kiedy średnia temperatura planety wzrosła o ok. 5°C w ciągu ok. 10 tysięcy lat, poziom morza podniósł się o ok. 120 m. Występowały wówczas kilkusetletnie okresy o tempie wzrostu poziomu morza przekraczającym 5 cm/rok⁷, do czego przyczyniała się destabilizacja zanikających lądolodów zarówno półkuli północnej, jak i południowej. Najnowsze wyniki badań pokazują, że podobna destabilizacja zarówno lądolodu Antarktydy Zachodniej, jak i Grenlandii jest możliwa w wyniku antropogenicznej zmiany klimatu w bliskiej przyszłości^{8,9}.

¹ Lambeck et al., 2014, PNAS, <https://doi.org/10.1073/pnas.1411762111>.

² Church, White, 2011, Surv. Geophys., <https://doi.org/10.1007/s10712-011-9119-1>.

³ IPCC, 2019, Summary for Policymakers [w:] IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (Pörtner, Roberts, Masson-Delmotte, Zhai, Tignor, Poloczanska, Mintenbeck, Alegria, Nicolai, Okem, Petzold, Rama, Weyer), <https://www.ipcc.ch/srocc/chapter/summary-for-policymakers/>.

⁴ WCRP Global Sea Level Budget Group, 2018, Earth Syst. Sci. Data, <https://doi.org/10.5194/essd-10-1551-2018>.

Dieng et al., 2017, GRL, <https://doi.org/10.1002/2017GL073308>. Chen et al., 2017, Nature Climate Change, <https://doi.org/doi:10.1038/nclimate3325>. Nerem et al., 2018, PNAS, <https://doi.org/10.1073/pnas.1717312115>.

⁵ Hay et al., 2015, Nature, <https://doi.org/10.1038/nature14093>. Dangendorf et al., 2017, PNAS, <https://doi.org/10.1073/pnas.1616007114>.

⁶ Cazenave et al., 2018, Adv. Space Res., <https://doi.org/10.1016/j.asr.2018.07.017>.

⁷ Hanebuth et al., 2000, Science, <https://doi.org/10.1126/science.288.5468.1033>.

⁸ Feldmann, Levermann, 2015, PNAS, <https://doi.org/10.1073/pnas.1512482112>.

⁹ Bulthuis et al., 2019, The Cryosphere, <https://doi.org/10.5194/tc-13-1349-2019>.

(3) Wyniki najnowszych badań pokazują, że wzrost poziomu morza przyspiesza od lat 60. XX wieku¹⁰. Przyczyną tego jest coraz szybsze topnienie lodowców i lądolodów, a także w mniejszym stopniu rozszerzalność cieplna wód oceanów i zmniejszenie masy wody na powierzchni i w głębie kontynentów¹¹ oraz w jeziorach¹². Przyspieszenie to doprowadziło do zwiększenia tempa wzrostu poziomu morza w ciągu ostatniej dekady aż do 4,8 mm rocznie¹³.

Projekcje wzrostu poziomu morza

(4) Prognozy wzrostu poziomu morza zależne są od wielkości przyszłych emisji gazów cieplarnianych, dlatego wykonuje się je dla kilku „ścieżek emisji”¹⁴: od przewidujących dotrzymanie zobowiązań z Porozumienia Paryskiego (RCP2.6) dotyczących wzrostu temperatury o 1,5°C do kontynuacji emisji praktycznie bez zmian (RCP8.5). Prognozy takie wykonuje się albo przez dodawanie składowych wpływu od wszystkich procesów wpływających na poziom morza w modelach klimatycznych (prognozy oparte o procesy), albo przez ekstrapolację historycznych zależności między temperaturą globalną a poziomem morza (prognozy półempiryczne)¹⁵.

(5) Specjalny Raport IPCC na temat oceanu i kriosfery z 2019 r.¹⁶ prognozuje, że poziom morza w ostatnich dwóch dekadach XXI wieku wzrośnie z prawdopodobieństwem 2/3 o 29-59 cm dla RCP2.6 oraz o 61-100 cm dla RCP8.5. Należy pamiętać, że przewidywany wzrost poziomu morza nie zatrzyma się w 2100 r. i do 2300 r. prawdopodobny jest jego dalszy wzrost nawet o kilkanaście metrów przy scenariuszu RCP8.5, jednak przy dużej niepewności związanej z dynamiką lądolodu Antarktydy¹⁷. Spodziewane tempo wzrostu poziomu morza będzie przyspieszać zależnie od scenariusza emisji. Autorzy raportu^{18,19} piszą: „Przewiduje się, że tempo średniego światowego wzrostu poziomu morza osiągnie 15 mm/rok w roku 2100, a w XXII wieku przekroczy kilka centymetrów rocznie”.

Projekcje wzrostu poziomu morza w Polsce

(6) Prognozy globalne wymagają zaadaptowania do warunków lokalnych, gdyż takie procesy, jak pionowe ruchy skorupy ziemskiej, zmiany cyrkulacji oceanicznej oraz grawitacyjny wpływ zmian masy lodowców i lądolodów²⁰, wpływają na trend wzrostu względnego poziomu morza (względem lokalnego dna morskiego).

¹⁰ Dagendorff et al., 2019, Nature Climate Change, <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0531-8>.

¹¹ Frederikse et al., 2020, Nature, <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2591-3>.

¹² Prange et al., 2020, Communications Earth & Environment, <https://doi.org/10.1038/s43247-020-00075-6>.

¹³ Voosen, 2020, Science, <https://doi.org/10.1126/science.370.6519.901>.

¹⁴ Meinshausen et al., 2011, Climatic Change, <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0156-z>.

¹⁵ Moore et al., 2013, Rev. Geophys., <https://doi.org/10.1002/rog.20015>.

¹⁶ IPCC, idem, <https://www.ipcc.ch/srocc/>.

¹⁷ Kopp et al., 2017, Earth's Future i Renssen van S., 2019, Nature Climate Change, <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0466-0>.

¹⁸ IPCC, idem, <https://www.ipcc.ch/srocc/chapter/summary-for-policymakers/>.

¹⁹ IPCC, idem, <https://www.ipcc.ch/srocc/>.

²⁰ Milne et al., 2009, Nat. Geoscience, <https://doi.org/10.1038/ngeo544>. Stammer et al., 2013, Annu. Rev. Marine Sci., <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-121211-172406>.

(7) Dla Bałtyku długoterminowy obserwowany trend wzrostu poziomu morza jest, w granicach błęd pomiarowego, podobny do trendu globalnego²¹, co potwierdzają również pomiary satelitarne²².

(8) W przypadku polskiego wybrzeża prognozy wzrostu rzeczywistego poziomu morza są również zbliżone do globalnych prognoz^{23,24}. Jednak w przypadku pozornego wzrostu poziomu morza (względem lokalnego dna morskiego), mającego bezpośredni wpływ na infrastrukturę przybrzeżną, należy do tego dodać jeszcze wpływ pionowych ruchów skorupy ziemskiej spowodowanych zarówno dostosowywaniem się skorupy ziemskiej do zmniejszonego obciążenia lądolodem po zakończeniu ostatniej epoki lodowej (izostazja), jak i tektoniką płyt skorupy ziemskiej²⁵. Są one nadal niedostatecznie zbadane dla polskiego wybrzeża²⁶. Wstępne wyniki wskazują na brak pionowych ruchów dna dla zachodnich krańców polskiego wybrzeża²⁷ oraz jego środkowej części, a także na obniżanie się o około 1 mm/rok wybrzeża w rejonie Zatoki Gdańskiej i nawet 2 mm/rok w rejonie Żuław²⁸. To może spowodować w tym rejonie przyspieszenie wzrostu względnego średniego poziomu morza o dodatkowe ok. 10-20 cm na stulecie, skutkując zwiększeniem zagrożeń związanych ze wzrostem poziomu morza i obejmowaniem przez te zagrożenia coraz większych obszarów, w tym tak ważnych dla kraju miejscach, jak historyczna część Gdańska, Żuławy czy Półwysep Helski.

Poziom morza i zdarzenia ekstremalne

(9) Dodatkowym istotnym czynnikiem stwarzającym zagrożenie dla strefy brzegowej są wezbrania sztormowe. Autorzy raportu^{29,30} piszą: „Wzrost poziomu morza na świecie spowoduje w większości lokalizacji wzrost częstotliwości występowania zdarzeń ekstremalnych. Przewiduje się, że lokalne wartości poziomu morza, które historycznie występowały raz na wiek, będą występować w ramach wszystkich scenariuszy RCP, co najmniej raz w roku, w większości lokalizacji, do 2100 r. Przewiduje się, że wiele nisko położonych terenów i małych wysp będzie doświadczać historycznych zdarzeń stulecia przynajmniej raz w roku, do 2050 r. Rok, w którym historyczne wydarzenie stulecia stanie się wydarzeniem rocznym, przypada najwcześniej na RCP8.5, a najpóźniej na RCP2.6. Rosnąca częstotliwość występowania wysokiego poziomu wody może mieć poważne skutki w wielu miejscach”.

²¹ BACC Author Team, 2014, Second assessment of climate change for the Baltic Sea basin, <https://www.baltic-earth.eu/BACC2/>.

²² Stramska, Chudziak, 2013, Recent multiyear trends in the Baltic Sea level, *Oceanologia*, 55(2), s. 319-337, <https://doi.org/10.5697/oc.55-2.319>.

²³ Kowalska et al., 2015, Flood and erosion management on a dynamic spit: the Hel Peninsula, Poland [w:] Coastal risk management in a changing climate, 2015, Elsevier, s. 669.

²⁴ Kopp et al., 2014, Earth's Future, <https://doi.org/10.1002/2014EF000239>.

²⁵ Harff, Deng, Groh, Dudzińska-Nowak, Fröhle, Hünicke, Soomere, Zhang, 2017, What determines the change of coastlines in the Baltic Sea? [w:] Harff, Furmańczyk, Storch von, 2017, Coastline Changes of the Baltic Sea from South to East – Past and Future Projection Coastal Research Library, vol 19, Springer, Heidelberg, s. 15-35.

²⁶ Idem, s. 388.

²⁷ Lampe et al., 2010, *Quaternary Sci. J.*, <https://doi.org/10.3285/eg.59.1-2.01>.

²⁸ Graniczny et al., 2015, *Baltica*, <https://doi.org/10.5200/baltica.2015.28.07>.

²⁹ IPCC, idem, <https://www.ipcc.ch/srocc/chapter/summary-for-policymakers/>.

³⁰ IPCC, idem, <https://www.ipcc.ch/srocc/>.

(10) Najwyższe zanotowane wartości wezbrań sztormowych na polskim wybrzeżu osiągały poziom przekraczający o 2 m poziom średni^{31,32}. Istniejąca literatura przedmiotu sugeruje zwiększoną przyszłą sztormowość dla rejonu Europy centralnej i Bałtyku, jednak niepewność tych projekcji jest wciąż duża³³. Jednak podsumowanie prac światowych^{34,35} sugeruje, że w perspektywie 30 lat prawdopodobne będą wezbrania, które mogą być kilkakrotnie częstsze niż w przeszłości.

(11) W związku z postępującym i przyspieszającym zagrożeniem wzrostem poziomu morza zespół wskazuje na konieczność szybkich działań dostosowujących prawodawstwo i infrastrukturę do wyzwań związanych z tym zjawiskiem w następnych dekadach, w szczególności:

- opracowanie strategii ochrony wybrzeża uwzględniającej zagrożenie związane ze wzrostem poziomu morza w perspektywie kilkudziesięcio-, a nawet stuletniej,
- opracowanie wymagań dotyczących planowania i projektowania inwestycji infrastrukturalnych, uwzględniających zarówno dotychczasowy wzrost poziomu morza, jak i maksymalny wzrost przewidywany w następnych dziesięcioleciach,
- opracowanie wytycznych związanych z gospodarką przestrzenną, dotyczących zarówno środków ochrony wybrzeża i rejonów przybrzeżnych (w tym wrót powodziowych chroniących polskie miejscowości portowe), jak i określenia sposobów użytkowania terenów zagrożonych coraz częstszymi zalaniem związanymi ze wzrostem poziomu morza, nawet do uwzględnienia możliwości bezpowrotnej utraty niektórych z nich.

(12) Mając na uwadze efektywność podejmowanych działań adaptacyjnych z zakresu gospodarki wodnej, należy nadać wyraźnie wyższy priorytet wydatkom związanym z ochroną wybrzeża.

(13) Nieuchronny charakter i narastające tempo wzrostu poziomu morza pokazują bezpośrednio niebezpieczeństwo, jakie niesie ze sobą postępująca antropogeniczna zmiana klimatu. W razie niepowodzenia w redukcjach emisji, w być może już bliskiej perspektywie historycznej trzeba będzie zmierzyć się z problemem stopniowej utraty infrastruktury w obecnej strefie przybrzeżnej i przygotować się na postępujące zalewanie coraz większej powierzchni lądu.

³¹ Zeidler R.B, Wróblewski A., Miętus M., Dziadziuszko Z., Cyberski J., 1995, Wind, Wave, and Storm Surge Regime at the Polish Baltic Coast, *Journal of Coastal Research*, [w:] K. Rotnicki (ed.), *Polish coast: past, present, future*. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 22, 33 – 55

³² Wiśniewski, Wolski, 2011, Physical aspects of extreme storm surges and falls on the Polish coast, *Oceanologia*, 51(S1), s. 373-390, <https://doi.org/10.5697/oc.53-1-TI.373>.

³³ Mölter et al., 2016, Review on the Projections of Future Storminess over the North Atlantic European Region, *Atmosphere*, 7(60), <https://doi.org/10.3390/atmos7040060>.

³⁴ IPCC, idem, <https://www.ipcc.ch/srocc/chapter/summary-for-policymakers/>.

³⁵ Ibidem.