

BAŁTYK dla wszystkich



Network Poland



Know-How Hub
Centrum Transferu Wiedzy





Network Poland

**Przeczytanie tego artykułu w wersji elektronicznej,
zgodnie z obliczeniami *Website Carbon Calculator*,
pochłonęło 36,88g CO₂. Pamiętaj jednak o śladzie węglowym
wytworzonym podczas produkcji Twojego
urządzenia elektronicznego!**

prof. dr hab. Jacek Piskozub

Kierownik Zakładu Dynamiki Morza,
Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk

Zagrożenia związane z rosnącym poziomem Morza Bałtyckiego

Nasz gatunek miał o niezwykle szczęście, że okres od wynalezienia rolnictwa (ok. 10 tysięcy lat temu) do początku epoki przemysłowej (około 200 lat temu) był szczególnie stabilny pod względem klimatycznym. Wprawdzie powoli zmieniło się nasłonecznienie półkuli północnej, w rezultacie czego od ok. siedmiu tysięcy lat stawała się ona zimniejsza, jednak były to zmiany powolne i można się było do nich dostosować, nawet jeśli wymagało to opuszczenia pewnych terenów. Zdarzały się epizody wieloletnich susz lub ochłodzeń, wpływające na losy poszczególnych cywilizacji, jednak globalnie był to okres bardzo wolno zmieniającej się temperatury, a zatem także prawie niezmiennego się poziomu morza, szczególnie po zakończeniu topienia się lodowców powstałych podczas ostatniej epoki lodowej, czyli około 7 tysięcy lat temu. Innymi słowy, zaczęliśmy budować stałe osady i miasta na brzegach morskich mniej więcej na początku tego 7-tysięcznego okresu stabilizacji poziomu morza. Istnieje nawet hipoteza mówiąca o tym, że rolnictwo pomogło ustabilizować klimat ostatnich kilku tysięcy lat poprzez emisję CO₂ związaną z wypalaniem lasów i metanu pochodzącego z uprawy ryżu. Były to emisje na tyle niewielkie, że nie wyrównywały w pełni ochłodzenia związanego ze zmianami orbity, w wyniku czego wiek XIX był prawdopodobnie najzimniejszym wiekiem ostatnich 10 tysięcy lat na półkuli północnej.

Wszystko to zmieniło się w momencie gdy ludzkość zaczęła używać masowo paliw kopalnych (kolejno węgla, ropy naftowej i gazu zielnego) w tzw. „okresie przemysłowym”, szczególnie od drugiej połowy XIX wieku. Spowodowało to wzrost zawartości dwutlenku węgla i metanu w atmosferze do wartości nienotowanych w ostatnim milionie lat, a prawdopodobnie nawet kilku milionów. Temperatura globalna wzrosła w wyniku tego już o ponad stopień, a średni poziom morza o ponad 20 cm. Ten trend, spowodowany zarówno topnieniem lądolodu i lodowców na lądzie, jak i rozszerzalnością cieplną ogrzewających się wód oceanów, niestety nadal przyspiesza. W całym XX wieku wzrost poziomu morza wynosił średnio mniej niż 2 mm/rok. Natomiast w okresie badań poziomu morza metodami satelitarnymi, czyli od roku 1992, było to już 3,4 mm/rok, a dla ostatnich 10 lat nawet 4,8 mm/rok. Ta ostatnia liczba, jeśli użyć ją do ekstrapolacji, oznacza wzrost poziomu morza o 48 cm w ciągu stulecia, a zważywszy przyspieszenie tego zjawiska, zapewne znacznie więcej. I rzeczywiście najnowsze projekcje wzrostu poziomu morza do końca XXI wieku szacują średni jego poziom nawet o więcej niż 100 cm powyżej wartości z początku stulecia, szczególnie przy dość prawdopodobnym scenariuszu emisji gazów cieplarnianych, przewidującym przekroczenie ich wartości ustalonych w Porozumieniu Paryskim. W następnym stuleciu wzrost poziomu morza może być nawet szybszy, szczególnie jeśli zostanie zdestabilizowany lądolód Zachodniej Antarktydy,

spoczywający na dnie morskim, a zatem narażony na ogrzewanie nie tylko przez ocieplające się powietrze, ale także przez cieplejszą wodę morską.

Należy zatem zastanowić się jak wpłynie to na sytuację na Morzu Bałtyckim, które ma ciekawą historię związaną właśnie ze zmianami poziomu morza. Podczas szczytu ostatniej epoki lodowej około, 20 tys. lat temu, basen Bałtyku wypełniony był całkowicie lodem z lądolodu skandynawskiego. Dopiero po jego częściowym wycofaniu się, około 13 tys. lat temu rozpoczęła się historia tego akwenu, najpierw jednak jako słodkowodnego jeziora, gdyż poziom oceanu światowego był wówczas 80 m niżej niż obecnie (w maksimum zlodowacenia nawet 130 m), ze względu na ilość wody uwiecznionej wówczas w postaci lodu. Skandynawia również była niżej niż obecnie, pod ciężarem kilkukilometrowej grubości lądolodu. Po zakończeniu zlodowacenia zaczęła się podnosić (tzw. ruchy izostatyczne). W wyniku swoistego wyścigu globalnego poziomu morza i poziomu gruntu w Skandynawii, Bałtyk stał się morzem, połączonym poprzez południową Szwecję z oceanem, potem ponownie jeziorem, aż około 9 tys. lat temu rosnący poziom morza otworzył Cieśniny Duńskie. Od tego czasu średni poziom Morza Bałtyckiego jest praktycznie identyczny z poziomem oceanów.

Lokalna zmiana poziomu morza mająca znaczenie w sensie zagrożeń, to jednak nie rzeczywista zmiana względem np. środka Ziemi (w praktyce np. globalnego systemu odniesienia WGS 84 używanego w nawigacji satelitarnej), a jedynie pozorna, która uwzględnia pionowe ruchy skorupy ziemskiej. Na Bałtyku jest to istotna różnica, gdyż w wyniku nadal trwających ruchów izostatycznych, Skandynawia podnosi się w części północnej prawie o 1 cm rocznie (metr na stulecie), co w okresach niezmiennącego się globalnego poziomu morza oznaczało w Zatoce Botnickiej obniżanie się poziomu morza o prawie metr na stulecie. W południowej części Skandynawii ruchy te są mniejsze, aż do ok 1 mm/rok w Skanii. Na południowym brzegu Bałtyku, od Danii, przez Niemcy, Polskę, aż do Okręgu Kaliningradzkiego, pionowe ruchy gruntu są praktycznie zerowe, a rejonie ujścia Wisły występuje nawet obniżanie się terenu o około 1 mm/rok. W sumie oznacza to, że obecnie na północ od Sztokholmu i Tallina lokalny poziom morza nadal się obniża, a na południe od tej linii ulega podwyższeniu.

Poziom morza, nawet mierzony względem globalnego układu odniesienia takiego jak WGS 84, nie podnosi się wszędzie jednakowo. Jeśli przyczyną zwiększenia się objętości wód oceanu jest topnienie lądolodu np. na Grenlandii, poziom morza podnosi się tym bardziej im dalej od tej wyspy. Wokół niej ulega on nawet obniżeniu. Spowodowane jest to zmniejszeniem przyciągania grawitacyjnego ze strony lodu, którego masa się zmniejszyła. Powoduje to, że największy wzrost poziomu morza występuje obecnie w rejonie tropików, daleko zarówno od Grenlandii jak i Antarktydy. W przypadku Bałtyku nie ma to jednak większego, niż kilku-procentowego, wpływu na wzrost poziomu morza, z wyjątkiem Zatoki Botnickiej, najbliższej położonej tracącemu masę Svalbardowi, gdzie spowoduje to zmniejszenie wzrostu poziomu morza nawet o 20% w stosunku do średniej światowej.

Drugim powodem nierównomiernego wzrostu poziomu morza jest dynamika morza i atmosfery. Prądy i wiatry mogą powodować stałe lub sezonowe dodatkowe zmiany poziomu morza nawet o kilkadziesiąt centymetrów. W przypadku Bałtyku największe znaczenie mają tu zachodnie wiatry umiarkowanych szerokości. Jeśli są silne, wiatr wpycha wodę do Bałtyku,

powodując dodatkowy wzrost poziomu morza szczególnie we wschodniej części. Najczęściej używanym indeksem tych wiatrów jest Indeks Północnoatlantycki, znany zwykle pod swoim angielskojęzycznym skrótem NAO. Ma on tendencje do posiadania podobnych wartości w sąsiednich latach, i na przykład był on zwykle ujemny zimą w latach 70., a dodatni w latach 90.. Jego zimowe wartości są szczególnie istotne dla zagrożeń spowodowanych poziomem morza, ponieważ dodatnie NAO to także okres szczególnie silnych sztormów zimowych. Wszystkie zanotowane historycznie najwyższe stany wody wystąpiły podczas sztormów, szczególnie zimą. Wiatr potrafi bowiem spiętrzyć wodę przy brzegach, w kierunku których wieje oraz na większych basenach morskich półkuli północnej także na prawo od kierunku działania wiatru, w wyniku siły Coriolisa związanej z obrotem ziemi (jest to tzw. „transport Ekmana” od nazwiska szwedzkiego odkrywcy tego zjawiska). Większe sztormy powodują lokalnie spiętrzenia ponad 1 m powyżej średniego poziomu morza. Na Bałtyku zanotowano jednak kilka sztormów z ponad 2-metrowym spiętrzeniem sztormowym, i co najmniej jeden, w roku 1872, który na Zachodnim Bałtyku spowodował spiętrzenie ponad 3-metrowe, doprowadzając do olbrzymich zniszczeń, w tym przerwanie wyspy Uznam. Gdyby taki sztorm powtórzył się obecnie przy średnim poziomie morza o ponad 20 cm wyższym niż wówczas, zasięg spowodowanych zniszczeń byłby jeszcze większy.

Jakich zagrożeń należy się zatem spodziewać ze strony wzrastającego poziomu morza na Bałtyku w obecnym stuleciu? Średni poziom morza w Bałtyku wzrastać będzie prawie równie szybko jak poziom globalny, szczególnie w jego południowej części. Na północy sytuacja będzie mitygowana izostatycznym podnoszeniem się lądu chociaż przed końcem stulecia poziom morza może zacząć wzrastać nawet w Zatoce Botnickiej. Na południu jednak będą rejon wybrzeża (np. żyzny rejon Żuław w ujściu Wisły), gdzie lokalny poziom morza będzie się podnosił szybciej niż globalny w wyniku lokalnego osadzania się osadów rzecznych. Trzeba będzie zatem przygotować się na wzrost poziomu morza przekraczający 1 m ponad stan szacowany globalnie przy scenariuszu dużych emisji gazów cieplarnianych, którym jak na razie podąża świat. W związku z tym kraje, takie jak Dania, przewidują w swoich planach zabezpieczenie brzegów w tym stuleciu przed podniesieniem się poziomu morza nawet o 1,4 m.

Czy do zagrożeń powodziowych przyczynią się zmiany w prędkości wiatrów i wielkości fali? Tego niestety nie wiemy. Wprawdzie notuje się obecnie trend do zwiększania się średniej wielkości wiatru na oceanach, ale nie jest pewne czy jest on skutkiem globalnego ocieplenia czy naturalnej zmienności. Ta ostatnia ma cykliczność o długości nawet kilkudziesięciu lat co utrudnia odróżnienie jej skutków od długoterminowego trendu przy seriach danych podobnej długości (np. pomiarów satelitarnych). Modele klimatyczne, natomiast, różnią się w ocenie przyszłych zmian prędkości wiatrów w szerokościach umiarkowanych. Ostatnim porównaniu projekcji klimatycznych zleconym przez IPCC (CMIP5), mniej więcej połowa modeli przewidywała wzrost prędkości wiatrów, a połowa zmniejszenie się. Trzeba jednak brać pod uwagę, że niezależnie od trendu związanego z globalnym ociepleniem, możliwy jest powrót do okresu ekstremalnie silnych sztormów na Bałtyku, podobnego do tego z przełomu XIX i XX wieku. Rozsądek nakazywałby przy planowaniu ochrony wybrzeża uwzględniać możliwość zwiększenia się intensywności sztormów.

Czego zatem należy się obawiać w następnych dziesięcioleciach? Przede wszystkim zimowych

sztormów. Obecnie, podczas ich występowania, spiętrzenie wody przy brzegach i fale już regularnie powoduje podtopienia w miejscowościach portowych, szczególnie na południu Bałtyku, w Polsce i w Niemczech. W XIX wieku, czy na początku XX stulecia, budowano nabrzeża portowe wystarczająco wysoko, aby woda nie przelewała się przez nie podczas sztormów, z wyjątkiem rekordowo silnych. Od tego czasu poziom morza podniósł się jednak o ponad 20 centymetrów, a np. w Polsce podczas remontu nabrzeży nie podnosi się nawet o centymetr. Konieczna jest zmiana myślenia i podnoszenie infrastruktury nie tylko o te 20 czy 30 cm, ale nawet o dodatkowe kilkadziesiąt aby zapewnić bezpieczeństwo terenom do nich przylegającym na następne dekady. Konieczne jest również podnoszenie wysokości wałów i murów przeciwpowodziowych (ang. „sea walls”). W dłuższej perspektywie ujścia rzek w miejscowościach portowych powinny zostać wyposażone we wrota powodziowe, zamykane podczas spiętrzeń sztormowych. Tego typu inwestycje powinny zapewnić bezpieczeństwo nawet do końca XXI wieku.

Jeśli jednak wzrost poziomu morza będzie rósł dalej i jego docelowy poziom będzie wyższy o kilka metrów od dzisiejszego, co nie jest wykluczone, samo podnoszenie wałów i nabrzeży oraz zamykanie wrót sztormowych mogą nie wystarczyć dla ochrony całej obecnej linii wybrzeża. W takim wypadku trzeba będzie zaplanować co należy bronić, a co można oddać morzu, przynajmniej podczas spiętrzeń sztormowych. Tego rodzaju planowanie jest już przeprowadzane w niektórych państwach, jak np. w Niemczech.

Można by oczywiście myśleć o jeszcze śmielszych rozwiązaniach jak tamy w Cieśninach Duńskich czy w poprzek Kanału La Manche i Morza Północnego (niedawno zaproponowany projekt NEED), które ochroniłyby cały Bałtyk. Pierwszy z nich nigdy nie był popularny w Danii gdzie musiałyby powstać tamy, a drugi wymagałby zgody aż trzech krajów, Francji, Wielkiej Brytanii i Norwegii (czterech w wypadku uzyskania niepodległości przez Szkocję) i wydatków bezprecedensowych w historii ludzkości, na jego budowę, utrzymanie i nieustanne wypompowywanie olbrzymich ilości wody wynikających z przewagi opadów i dopływu wody rzekami nad parowaniem dla Bałtyku i Morza Północnego. Jak na razie jest to zatem idea raczej z kategorii „political fiction” niż realistyczna możliwość.