

Maurycy CIUPAK

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej
Biuro Prognoz Hydrologicznych w Krakowie

ZAGROŻENIE POWODZIĄ SZTORMOWĄ MIAST PORTOWYCH WYBRZEŻY MORZA PÓŁNOCNEGO, IRLANDZKIEGO I KANAŁU LA MANCHE

STRESZCZENIE

Artykuł omawia zagrożenie powodzią sztormową miast portowych wzdłuż wybrzeży Morza Północnego, Irlandzkiego i Kanału La Manche. Czynnikiem decydującym o wystąpieniu powodzi sztormowej w opisywanym regionie jest jednoczesne pojawienie się dwóch zjawisk: wysokich pływów morskich i wezbrania sztormowego. Artykuł zwraca uwagę na konieczność poznawania reżimu wodnego i rozpoznawania sytuacji powodziowej mających podstawowe znaczenie: w osłonie hydrologicznej, w zarządzaniu sytuacjami kryzysowymi wynikającymi z zagrożeń naturalnych, ale również w żegludze morskiej.

Słowa kluczowe:

pływy, wezbranie sztormowe, nize atlantyckie, cofka, multiryzyko, Morze Północne

WSTĘP

Większość zjawisk naturalnych będących zagrożeniem dla człowieka jest znana i opisana. Problem sprowadza się do tego, aby groźne zjawisko naturalne można było przewidzieć i podjąć odpowiednie działania pozwalające uniknąć lub złagodzić jego skutki.

W przypadku powodzi stosowane są rozwiązania strukturalne i niestrukturalne. Rozwiązania strukturalne (na przykład wały przeciwpowodziowe, groble, zapory wodne) są trudne do zastosowania. Dodatkowo obciążone są wysokimi kosztami ekonomicznymi oraz ingerencją w środowisko naturalne. Niestrukuralne rozwiązania polegają na określaniu stref zalewowych i rozwijaniu programów dostarczających informację na temat profilaktyki i zachowań na terenach potencjalnie zalewowych.

Poznanie reżimu wodnego, rozpoznanie różnych sytuacji powodziowych ma podstawowe znaczenie w zarządzaniu sytuacją kryzysową wywołaną opisywanymi zagrożeniami¹. W takim procesie należy zwracać uwagę zarówno na czynniki, które prowadzą do powstania sytuacji powodziowej, jak również na przebieg analizowanego zjawiska naturalnego.

Pojawienie się sztormu na otwartym morzu może utrudniać żeglugę, natomiast zbliżenie się wezbrania sztormowego do lądu jest przyczyną spiętrzeń wody w strefie brzegowej i w konsekwencji zagrożeniem powodzią sztormową.

Nie każde przemieszczanie się niżu znad Północnego Atlantyku w stronę Europy stanowi zagrożenie powodzią sztormową u wybrzeży mórz: Północnego, Irlandzkiego i Kanału La Manche.

Celem artykułu jest przybliżenie czytelnikowi uwarunkowań geofizycznych pływów morskich oraz wezbrań sztormowych na półkuli północnej. W artykule podano krótką charakterystykę warunków hydrologiczno-meteorologicznych towarzyszących ekstremalnym zdarzeniom oraz konsekwencje ich wystąpienia w odniesieniu do obszarów zlokalizowanych bezpośrednio w strefie brzegowej, jak i w ujściowych odcinkach rzek, częstokroć oddalonych od linii brzegowej od kilku do kilkuset kilometrów.

PRZYCZYNY OKRESOWYCH ZMIAN POZIOMU MORZA

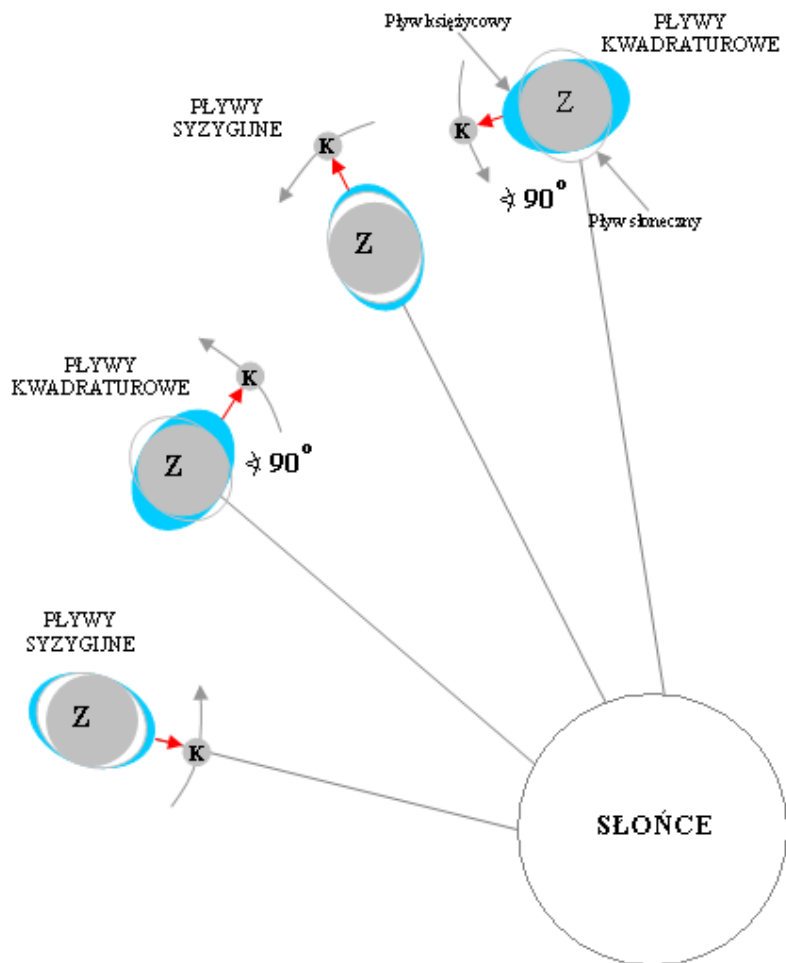
Najczęstszą przyczyną okresowych zmian poziomu morza są pływy oraz wezbrania sztormowe². Pływy spowodowane są przyczynami astronomicznymi - oddziaływaniem grawitacyjnym między Ziemią, Księżycem i Słońcem. Dominującym czynnikiem pobudzającym pływy jest Księżyc, który w przybliżeniu dwukrotnie efektywniej niż Słońce działa na każdy element Ziemi (na przykład na masę wód oceanicznych i morskich). Drugą z sił biorących udział w opisywanym zjawisku jest siła odśrodkowa wywołana obrotem układu ciał Ziemia-Księżyc wokół wspólnego środka masy. Na półkuli Ziemi bliższej Księżycu dominującą siłą jest siła przyciągania grawitacyjnego, a na dalszej siła odśrodkowa. Efektem opisywanego zjawiska jest spiętrzanie wód oceanicznych i morskich (pionowe i poziome ruchy mas wody) w obszarach najbliższej i najdalej położonych od Księżycu³. Spiętrzenia przemieszczają się wraz z dobowym obrotem Ziemi. Zakładając niezmiennosc czynników astronomicznych, należałoby spodziewać się pojawienia na powierzchni Ziemi w ciągu jednej doby księżycowej dwukrotnie wysokiej wody przedzielonej niskimi wodami w jednakowych odstępach czasu. Zmieniające się położenia Księżycu i Słońca wobec Ziemi i tym samym zmieniająca się wartość wypadkowego wektora opisywanych sił oraz różne dodatkowe czynniki pływotwórcze, takie jak: różne głębokości

¹ J. Lambor., *Metody prognoz hydrologicznych*, WKiŁ, Warszawa 1962, s.34.

² St. Trzeciak., *Meteorologia morka z oceanografią*, PWN, Warszawa 2009, s. 220.

³ red. A. Isaacs., *Słownik fizyki*, Wydaw. Prószyński i S-ka, Warszawa 2000, s. 410.

akwenów, nierówności linii brzegowych, bezwładność masy wody powodują zakłócenia w regularności zjawiska pływów. Czas i wielkość pływów dla wielu punktów na Ziemi została wyznaczona na podstawie długoletnich obserwacji. Dane te są publikowane w tablicach pływów (ang. Tide Tables).



Rysunek 1. Położenia Księżyca, Słońca i Ziemi podczas pływów syzygijnych i kwadraturowych.

Źródło: opracowanie własne na podstawie S. Trzeciak., *Meteorologia morka z oceanografią*, PWN, Warszawa 2009, s. 222.

Z punktu widzenia ekstremalnych zdarzeń sztormowych na morzu najważniejsze są pływy o maksymalnej wartości skoku, czyli pływy o największej różnicy między poziomem niskiej i wysokiej wody. Pływy syzygijne (ang. spring tides) (rys. 1) występują w okresie, w którym Ziemia, Księżyc i Słońce znajdują się w linii

prostej i wektor siły wypadkowej ma największą wartość (kierunek wektorów sił składowych jest taki sam, zwroty mogą być zgodne lub przeciwne). Skutkiem tego zjawiska są występujące na Ziemi maksymalne pływy morskie.

Pływy kwadraturowe (ang. neap tides) występują w sytuacji, gdy Ziemia, Księżyc i Słońce tworzą ze sobą kąt prosty. Wartość wektora wypadkowego jest zredukowana, a w konsekwencji na Ziemi pojawiają się niższe piętrzenia wody. Pływy syzygijne występują zatem podczas pełni (Księżyc i Słońce są w koniunkcji) i nowiu (Księżyc i Słońce są w opozycji), natomiast najniższy (minimalny) pływ kwadraturowy w czasie pierwszej i ostatniej kwadry.

Analizując powodzie sztormowe, w których ważną rolę odgrywa zjawisko pływów, należy zwrócić uwagę na jeszcze dwie cechy. Wysokość pływów⁴ na otwartych wodach oceanów przeciętnie wynosi od 40 do 60 cm, natomiast w pobliżu niektórych brzegów wielokrotnie się zwiększa. Drugą bardzo ważną cechą pływów jest opóźnienie lub przyspieszenie wysokiej wody syzygijnej. U wybrzeży Norwegii opóźnienie wynosi 3 dni, w Holandii – 2,5 dnia, a u wybrzeży Francji i Anglii 2 dni po syzygii, natomiast w Skagerraku pojawia się na 2 dni przed syzygią⁵.

Na wysokość pływów wpływa wielkość masy wody. Pływy w wielu morzach śródlądowych są praktycznie niezauważalne. Źródłem siły grawitacji jest masa ich ciał. Mała masa wody w basenie mórz śródlądowych w porównaniu do wód oceanicznych jest przyciągana z mniejszą siłą. Przykładem morza śródlądowego o nieistotnym znaczeniu zjawiska pływów jest Morze Bałtyckie. W tym przypadku główną przyczyną okresowych zmian poziomu morza będą wezbrania sztormowe.

Przyczyną wezbrań sztormowych jest wypadkowe oddziaływanie niskiego ciśnienia atmosferycznego oraz wiatru. Przyjmuje się, że ilościowa zmiana poziomu morza odpowiada zmianie ciśnienia atmosferycznego. Spadek ciśnienia o 1hPa, w stosunku do wartości 1013 hPa powoduje podniesienie poziomu morza o 1 cm⁶.

Niżej atlantyckie docierające do Europy tworzą się u brzegów Ameryki (północne wybrzeże Stanów Zjednoczonych i wybrzeże Kanady), na atlantyckim froncie polarnym przebiegającym na wysokości około 50 – 60° szerokości geograficznej północnej i oddzielającym masy powietrza polarnego od zwrotnikowego. Masa powietrza kształtowana jest nad obszarami źródłowymi (tam gdzie ciepły Prąd Zatokowy spotyka zimny Prąd Labradorowski). Ciepła masa tworzy się nad obszarami, których temperatura jest wyższa niż temperatura powietrza. W takim powietrzu powstaje równowaga chwiejna, której towarzyszy zjawisko konwekcji sprzyjające pionowemu mieszaniu się powietrza. Jeżeli powyższy proces zachodzi nad oceanem, to wraz z unoszonym powietrzem przenoszona jest również para wodna a two-

⁴ St. Trzeciak., *Meteorologia morską z oceanografią*, PWN, Warszawa 2009, s. 226.

⁵ Tamże, *Meteorologia morską z oceanografią*, PWN, Warszawa 2009, s. 227

⁶ St. Trzeciak., *Meteorologia morską z oceanografią*, s. 232.

rząca się masa powietrza będzie zawierała dużo wilgotności⁷. Właściwości mas powietrza zmieniają się także w trakcie ich przemieszczania nad inne rejony kuli ziemskiej. Tracą swoje pierwotne cechy i nabierają cech obszaru, nad którym się przemieszczają (transformacja masy powietrza). Jest to bardzo ważne zagadnienie, gdyż napływająca masa powietrza z Atlantyku po dotarciu do Europy będzie ciepła i wilgotna.

Niżej atlantyckie wędrują na wschód ku wybrzeżom Europy zachodniej i zależnie od sytuacji barycznej droga ich wędrówki może się różnić⁸. Zimą niżej podążają w pobliże Wysp Brytyjskich a następnie kierują się na wschód lub na północny wschód. Część niżów wybiera inną drogę. Przemieszczają się bardziej w kierunku południowym tak, że ośrodek niżu znajduje się nad północnymi Niemcami lub nad zachodnim Bałtykiem. Jednocześnie na zachód od Wysp Brytyjskich rozbudowuje się układ wysokiego ciśnienia. Taka sytuacja jest bardzo niebezpieczna. Na półkuli północnej w niżu kierunek poruszającego się powietrza jest przeciwny do ruchu wskazówek zegara, natomiast w wyżu przyjmuje kierunek zgodny. W obszarze podwyższonego ciśnienia na wschód od jego centrum zlokalizowanym na zachodnim wybrzeżu Wysp Brytyjskich wieje wiatr z północy, natomiast w niżu przemierzającym się na południe Morza Północnego, na zachód od jego ośrodka także wieje silny wiatr północny. W takiej sytuacji barycznej nad całym Morzem Północnym panuje silny wiatr wiejący z północy, wywołujący silne spiętrzanie wody.

Latem trasy niżów na półkuli północnej przesuwają się znacznie na północ. W konsekwencji liczba niżów docierających do Europy jest mniejsza. Ma to wpływ na liczbę wezbrań sztormowych i powodzi sztormowych obserwowanych w Europie Zachodniej, ale także u wybrzeży Bałtyku.

WYBRANE POWODZIE SZTORMOWE WZDŁUŻ WYBRZEŻA MORZA PÓLNOCNego, IRLANDZKIEGO I KANAŁU LA MANCHE

Powódź sztormowa na wschodnim wybrzeżu Morza Północnego w Anglii – zima 1953 r.

Na półkuli północnej najbardziej rozległe cyklony obserwuje się na północnym Atlantyku w rejonie Islandii i na Północnym Pacyfiku w rejonie Wysp Aleucich⁹.

Pod koniec stycznia 1953 roku zaobserwowano wysokie pływy na Morzu Północnym. Jednocześnie 29 stycznia rozpoczął się tam jeden z najsilniejszych

⁷ A. Popławska., Z. Rawa., *Meteorologia ogólna. Meteorologia synoptyczna*. IMGW, Warszawa 2003, s. 70.

⁸ S. P. Chromow., *Meteorologia i klimatologia*, PWN, Warszawa 1977, s. 318.

⁹ A. Popławska., Z. Rawa., *Meteorologia ogólna. Meteorologia synoptyczna*. IMGW, Warszawa 2003, s. 84.

sztormów w XX wieku. Niż z ośrodkiem 1003 hPa utworzył się na południowym zachodzie od brzegów Islandii i pogłębiając skierował się w kierunku północno-wschodnim. W pobliżu Wysp Brytyjskich skręcił na południe. W ciągu około 30 godzin ciśnienie spadło o kolejne 24 hPa. W godzinach porannych 30 stycznia ośrodek niżu został zaobserwowany na północny-zachód od wybrzeży Szkocji. Na Morzu Irlandzkim w tym czasie pojawiły się wysokie fale sztormowe rozpędzane wiatrem wiejącym od strony morza do lądu. Siła wiatru dochodziła do 12 stopni w skali Beauforta. Rankiem 31 stycznia zarejestrowano najniższe ciśnienie równe 966 hPa. Na zachód od Wysp Brytyjskich rozbudował się obszar podwyższonego ciśnienia atmosferycznego. Z jednej strony silny północny wiatr zaczął wieć na wschód od jego centrum, z drugiej strony na zachód od ośrodka przemieszczającego się na południe niżu. Nierównomierny rozkład ciśnienia atmosferycznego (poziome różnice ciśnienia), którego miarą jest wysoki gradient ciśnienia wprowadzał w ruch masę powietrza. Prędkość wiatru dochodziła do $56 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Silne wiatry spychały olbrzymią masę wody z Atlantyku w kierunku Morza Północnego i dalej w kierunku południowym. Morze Północne jest morzem płytkim w porównaniu z Oceanem Atlantyckim. Powoduje to, że spiętrzone wody w Atlantyku wpływając na płytkie wody Morza Północnego wywołują dramatyczny wzrost jego poziomu.

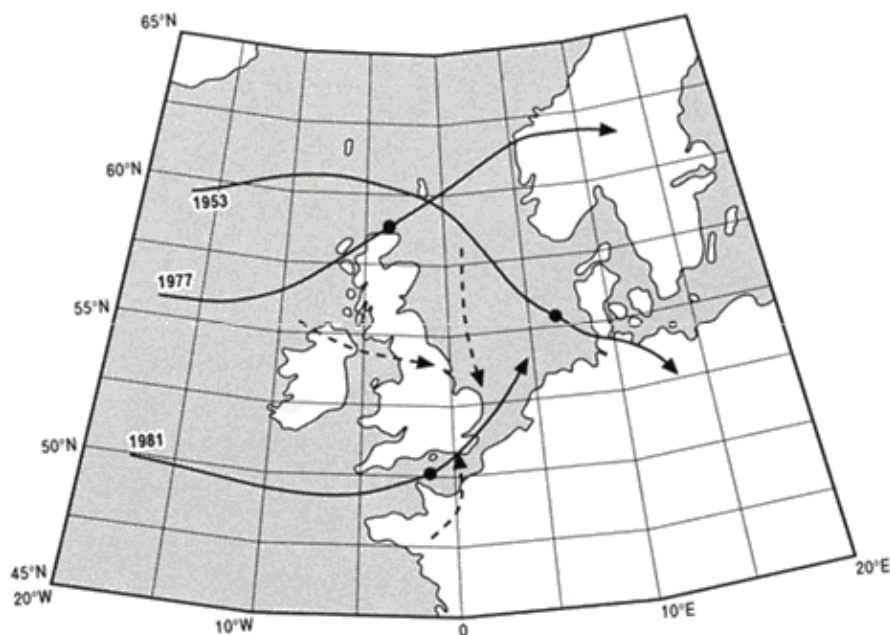
W opisywanym zdarzeniu, fala wezbraniowa przesuwiała się wzdłuż wschodnich wybrzeży szkockich, następnie angielskich, a w kolejnej dobie woda była spychana w kierunku południowo-zachodniego wybrzeża Holandii. Tor ruchu układu niskiego ciśnienia (linia ciągła) wraz z polem wiatru (linia przerywana – linie prądu) w czasie katastrofalnej powodzi zimą 1953 roku przedstawiono na rys. 2.

Powyższe zjawisko w połączeniu z wysokim pływem spowodowało podniesienie poziomu morza o około 3 m. Na wschodnim wybrzeżu Anglii morze zaczęło przelewać się przez umocnienia brzegowe. W ujściach rzek pojawiło się zjawisko cofki. Woda morska wdzierała się w górę rzek nawet do kilkudziesięciu kilometrów (zatopiona miejscowość Saltfleet położona około 60 km w górę rzeki South Dike). Zostały zniszczone miejscowości leżące bezpośrednio na wybrzeżu, na przykład Mablethorpe na wybrzeżu Lincolnshire czy Sutton. Fala dotarła w głąb ujścia rzeki Great Ouse do zatoki Wash i zniszczyła miejscowość King's Lynn. Wielka fala docierała do kolejnych miejscowości południowo-wschodniego wybrzeża Anglii: Great Yarmouth i Harwick. Wielka woda została wepchnięta w lejkowate ujście Tamizy, zatapiając Canvey Island.

Południowo-wschodnie wybrzeża Anglii były wielokrotnie zalewane przez morze¹⁰. Tego typu zdarzenia odnotowano w latach: 1236, 1287, 1570, 1663, 1897. Główną przyczyną katastrofalnych powodzi były wysokie pływy oraz przemieszczające się nize atlantyckie. Fala pływu na Morzu Północnym ma około 950 km długości, okres 11 godzin i 40 minut. Na przebycie drogi od wybrzeży Szkocji do ujścia Tamizy potrzebuje około 12 godzin. Konsekwencją wysokich pływów i wezbrania

¹⁰ R. Castleden., *Największe katastrofy w dziejach świata*, Bellona, Warszawa 2009, s. 346.

sztormowego w styczniu 1953 roku była budowa bariery przeciwpowodziowej na Tamizie.



Rysunek 2. Tor ruchu układów niskiego ciśnienia atmosferycznego (ciągła linia) w czasie zdarzeń sztormowych w roku: 1953, 1977 i 1981 oraz skojarzone z powyższymi zdarzeniami pole wiatru w postaci linii prądów (przerywana linia) nad Morzem Północnym.

Źródło: Y. Zong., M. J. Tooley, *A historical Record of Coastal Floods in Britain: Frequencies and Associated Storm Tracks, Natural Hazards*, 29, s. 24.

Powódź sztormowa na południowo-zachodnim wybrzeżu Morza Północnego w Holandii – zima 1953 r.

Powódź sztormowa na południowo-zachodnim wybrzeżu Holandii była spowodowana wędrówką opisanego wyżej układu niskiego ciśnienia atmosferycznego w stronę Danii (rys.2). W nocy z 31 stycznia na 1 lutego 1953 roku katastrofa dotknęła wybrzeża Holandii. Północny i północno-zachodni wiatr w lewym sektorze przemieszczającego się układu niskiego ciśnienia z siłą huraganu spotęgował przyływ wody. Spiętrzenie wody pchane początkowo wzdłuż wschodnich wybrzeży szkockich, potem angielskich zostało skierowane w stronę wąskiego akwenu Morza Północnego, kończącego się wąskim około 33 km płytkim przewężeniem Cieśniny

Kaletańskiej. Woda morska przelewała się przez istniejący w Holandii system wałów i grobli przeciwpowodziowych zalewając duże obszary na wyspach i na stałym lądzie. Masa wody wdarła się między innymi do części południowej Holandii, Zelandii i Północnej Brabancji¹¹. Zjawisko cofki pojawiło się w jednej z odnóg rzeki Skaldy – Westerschelde, niszcząc miejscowości: Catzand i Kruiningen. Druga odnoga (wschodnia odnoga – Oosterschelde) była odcięta od morza tamą. Duże straty materialne poniosła Holandia w ujściu rzeki Waal jednego z głównych ramion ujścia Renu do Morza Północnego. Kulminacja fali wezbrania sztormowego wystąpiła na 3 godziny przed spodziewaną syzygią. W przypadku synchronizacji obu zjawisk opisywane zdarzenie mogłoby zakończyć się zdecydowanie większymi stratami.

Zimowa powódź sztormowa w 1953 roku na południowo-zachodnim wybrzeżu Holandii charakteryzowała się przejściem dwóch fal wezbraniowych. Druga fala, która pojawiła się popołudniu 1 lutego wdarła się na poldery przez groble zniszczone przy przejściu pierwszej fali.

Konsekwencją opisywanego zdarzenia było rozpoczęcie przez rząd holenderski realizacji programu budowy systemu tam i zapór wodnych w ramach projektu Deltawerken. W ramach tego przedsięwzięcia zbudowano między innymi: proste groble, skomplikowane ruchome zapory wodne, bramę przeciw falową Maeslantkering chroniącą nadbrzeża Rotterdamu¹².

Powódź sztormowa na południowo-zachodnim wybrzeżu Morza Północnego w Niemczech – zima 1962 r.

Przyczyną zimowej powodzi z 16-tego na 17-tego lutego 1962 roku był gwałtowny sztorm, który objął swoim zasięgiem niemieckie wybrzeże Morza Północnego oraz dolną Łabę i Wezerę. Sztorm został wygenerowany w wyniku przejścia układu niskiego ciśnienia z zespołem frontów atmosferycznych z południowej części Morza Arktycznego przez Morze Norweskie i Północne w stronę wybrzeża niemieckiego. W efekcie od Morza Północnego nadciągnął bardzo silny wiatr, którego prędkość dochodziła do $55 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. W ujściowym odcinku rzeki Łaby powstała cofka, utrudniająca odpływ rzeki do Zatoki Helgolandzkiej. Utworzyła się wysoka fala wezbraniowa, która przerwała wały przeciwpowodziowe, groble i wdarła się w głąb lądu zatapiając ogromne obszary kraju. Podobna sytuacja utworzyła się w ujściowym odcinku rzeki Wezery. Największe straty zanotowano w Hamburgu, w którym ponad 120 km^2 powierzchni znalazło się pod wodą.

Warto zwrócić uwagę, że obok czynnika geofizycznego, przyczyną opisanych katastrof był czynnik ludzki. We wszystkich opisanych zdarzeniach nie sprawdziły się istniejące w tamtym czasie systemy ostrzegania ludności o zagrożeniach naturalnych. Ochrona przeciwpowodziowa, praktycznie zorganizowana była tylko

¹¹ R. Castleden., *Największe katastrofy w dziejach świata*, Bellona, Warszawa 2009, s. 350.

¹² B. Średniawa., *Bariera przeciwpowodziowa na Tamizie*, INTERNET – adres: www.mt.com.

na poziomie lokalnym. Taki stan uniemożliwiał wymianę informacji pomiędzy sąsiednimi jednostkami administracyjnymi, co wpłynęło na brak koordynacji ratownictwa. W wyniku opisanych zdarzeń, rządy poszczególnych krajów podjęły długofalowe działania strukturalne i niestrukturalne mające na celu w przyszłości zapobiec lub osłabić negatywne skutki na przykład powodzi sztormowych.

Powódź sztormowa u zachodnich wybrzeży Anglii – jesień 1977 r.

W dniach od 9 do 12 listopada 1977 roku przemieszczał się układ niskiego ciśnienia z kierunku północno-wschodniego w stronę północnej Szkocji. Ciśnienie w ośrodku niżu spadło z 972 hPa do 960 hPa. Z przejściem zatoki niskiego ciśnienia związany był nierównomierny rozkład ciśnienia atmosferycznego. Zagęszczanie gradientu barycznego było przyczyną wzrostu wiatru do siły sztormu z kierunków zachodnich. Prędkość wiatru wzrosła do $25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Długotrwałe oddziaływanie wiatru na powierzchnię Morza Irlandzkiego wygenerowało fale wezbraniowe, które zaczęły przemieszczać się w stronę Zatoki Morecambe (rys. 3).

Nałożenie się dwóch zjawisk: wysokich pływów i fali wezbraniowej spowodowało gwałtowny wzrost poziomu morza. Zaobserwowany stan wody był o prawie 2 m wyższy niż zaobserwowany 2 godziny wcześniej poziom morza w czasie kulminacji pływu syzygijnego. Nałożenie się tych dwóch czynników było przyczyną powodzi sztormowej, której konsekwencją było zatopienie wielu miast u wybrzeży Zatoki Morecambe. W wielu miejscach miasta Morecambe głębokość wody przekraczała 0,5 m.

Powódź sztormowa u południowych i południowo-zachodnich wybrzeży Anglii – zima 1981 r.

Po zimnym grudniu 1981 roku nad Północnym Atlantykiem utworzył się niż z ośrodkiem 960 hPa. Niż wraz z zespołem frontów atmosferycznych przemieszczał się w kierunku wschodnim. 30 grudnia dotarł nad Kanał La Manche. W tym czasie u zachodnich wybrzeży Walii w rejonie morskiej stacji hydrologicznej w Milford Haven przy wejściu do Kanału Bretońskiego zaobserwowano wysokie pływy. W momencie kulminacji fali sztormowej związanej z opisywanym niżem i kulminacji pływów, poziom morza w Milford Haven był o 3,5 m wyższy od jego wartości średniej. Przemierzający się układ niskiego ciśnienia wzdłuż Kanału La Manche wywoływał silne wiatry z prędkościami dochodzącymi do $22 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ i w konsekwencji powódź sztormową, która objęła swoim zasięgiem całe południowe wybrzeże Anglii.



Rysunek 3. Podział wybrzeża Wysp Brytyjskich na trzy części: wschodnie wybrzeże od Aberdeen do Ramsgate, wybrzeże południowe i południowo-zachodnie od Dover do Milford Haven oraz wybrzeże zachodnie od Milford Haven do Glasgow.

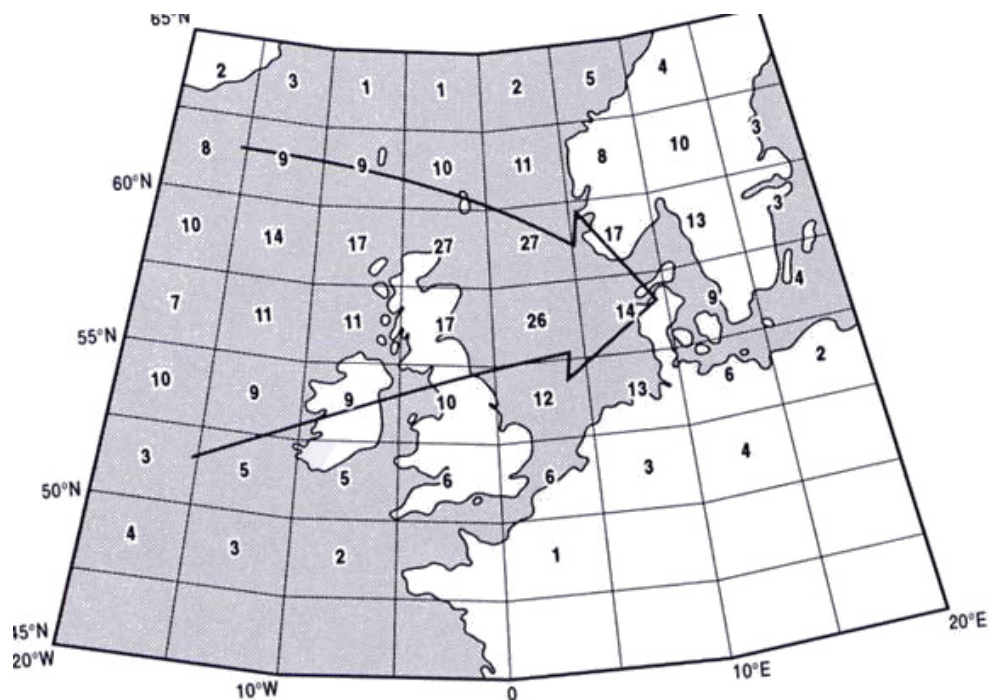
Źródło: Y. Zong., M. J. Tooley, *A historical Record of Coastal Floods in Britain Frequencies and Associated Storm Tracks, Natural Hazards*, 29, s. 23.

PODSUMOWANIE

W artykule opisano zagrożenia powodzią sztormową miast portowych wybrzeża Morza Północnego, Morza Irlandzkiego i Kanału La Manche. Czynniki decydującymi o wystąpieniu powodzi sztormowej w opisywanym rejonie świata są pływy morskie oraz zjawisko wezbrania sztormowego. Pływy morskie są wynikiem oddziaływania grawitacyjnego Księżyca i Słońca oraz bezwładności układu ciał Księżyc – Ziemia – Słońce, natomiast wezbrania sztormowe wynikają z oddziaływania ciśnienia atmosferycznego i wiatru na powierzchnię morza. Katastrofalne

powodzie są wynikiem niekorzystnej synchronizacji wystąpienia opisanych wyżej czynników.

Bardzo ciekawa jest analiza częstotliwości przemieszczania się układów niskiego ciśnienia w kierunku trzech wyodrębnionych części wybrzeża Wysp Brytyjskich: wschodniego (rys.4), południowego i południowo-zachodniego oraz zachodniego (rys.5). Wschodnie wybrzeże doświadczyło zdecydowanie większej liczby wystąpień wezbrań sztormowych w porównaniu do wybrzeża południowego i południowo-zachodniego oraz zachodniego. Najgroźniejsze tory układów niżowych przebiegają z rejonu Islandii, Morza Arktycznego w stronę Wysp Brytyjskich i dalej na Wschód.



Rysunek 4. Częstotliwość przemieszczania się ośrodków niskiego ciśnienia w stronę wschodniego wybrzeża Wysp Brytyjskich.

Źródło: Y. Zong., M. J. Tooley, *A historical Record of Coastal Floods in Britain Frequencies and Associated Storm Tracks*, *Natural Hazards*, 29, s. 25.

Warto podkreślić, że obok głównych dwóch czynników geofizycznych: pływów i wezbrań sztormowych o ryzyku zagrożenia powodzią sztormową decydują także zmiany klimatu oraz czynniki antropogeniczne. Działalność człowieka na terenie miasta portowego zwłaszcza w miastach zlokalizowanych w ujściach rzek często polega na ograniczaniu i zagospodarowywaniu naturalnych rozlewisk, wzniesieniu nabrzeży portowych, budowaniu bulwarów, wyrównywaniu brzegów, pozy-

skiwaniu wody pitnej dla mieszkańców ze zbiorników wody gruntowej¹³. Powyższe przedsięwzięcia skutecznie zwiększają przepływ rzeki w czasie wezbrań oraz obniżają grunt i tym samym zwiększają ryzyko wystąpienia powodzi sztormowych.



Rysunek 5. Częstotliwość przemieszczania się ośrodków niskiego ciśnienia w stronę zachodniego wybrzeża Wysp Brytyjskich.

Źródło: Y. Zong., M. J. Tooley, *A historical Record of Coastal Floods in Britain Frequencies and Associated Storm Tracks, Natural Hazards*, 29, s. 26.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Castleden R., *Największe katastrofy w dziejach świata*. Bellona, Warszawa 2009.
- [2] Chromow S. P., *Meteorologia i klimatologia*. PWN, Warszawa 1977.
- [3] Isaacs A. (red.), *Słownik fizyki*. Wydaw. Prószyński i S-ka, Warszawa 2000.
- [4] Lambor J., *Metody prognoz hydrologicznych*. WKiŁ, Warszawa 1962.

¹³ R. Muir Wood., M. Dayton, Burgess P., Wright T., *Catastrophe loss modelling of storm-surge flood risk in eastern England*, *Phil. Trans. R. Soc.* 2005, 363, s. 1420.

- [5] Muir Wood R., Dayton M., Berger A., Burgess P., Wright T., *Catastrophe loss modelling of storm-surge flood risk in eastern England*. Phil. Trans. R. Soc. 2005.
- [6] Popławska A., Rawa Z., *Meteorologia ogólna. Meteorologia synoptyczna*. IMGW, Warszaw 2003.
- [7] Średniawa B., *Bariera przeciwpowodziowa na Tamizie.*, www.mt.com.
- [8] Trzeciak S., *Meteorologia morska z oceanografią*. PWN, Warszawa 2009.
- [9] Zong Y., Tooley M. J., *A historical Record of Coastal Floods in Britain: Frequencies and Associated Storm Tracks*. Natural Hazards, 2008.

COASTAL FLOOD HAZARD IN SEA PORTS ALONG NORTH SEA, IRISH SEA AND ENGLISH CHANNEL COASTS

ABSTRACT

The paper discusses coastal flood hazard in sea ports along North Sea, Irish Sea and Channel English coasts. The simultaneous occurrence of two phenomena: high tides and storm-surges they are factors which decide a case existing coastal flood in described region. The paper draws attention to necessity identification of water regime and recognition of floods situation which have the basic mean for hydrological monitoring and emergency management in time for natural hazards situation and for seafaring too.