

RAPORT Z WYKONANIA MAP ZAGROŻENIA POWODZIOWEGO I MAP RYZYKA POWODZIOWEGO

ZAŁĄCZNIK NR 2

**METODYKA OBLICZANIA MAKSYMALNYCH POZIOMÓW WODY
O OKREŚLONYM PRAWDOPODOBIEŃSTWIE PRZEWYŻSZENIA
DLA WYBRZEŻA ORAZ UJŚCIOWYCH ODCINKÓW RZEK
BĘDĄCYCH POD WPŁYWEM ODDZIAŁYWANIA MORZA
W CELU WYKORZYSTANIA WYNIKÓW DO MODELOWANIA
HYDRODYNAMICZNEGO, A NASTĘPNIE
OPRACOWANIA MAP ZAGROŻENIA POWODZIOWEGO
ORAZ MAP RYZYKA POWODZIOWEGO**



INSTYTUT METEOROLOGII I GOSPODARKI WODNEJ
ODDZIAŁ MORSKI W GDYNI

**METODYKA OBLICZANIA MAKSYMALNYCH POZIOMÓW WODY O OKREŚLONYM
PRAWDOPODOBIENSTWIE PRZEWYŻSZENIA DLA WYBRZEŻA ORAZ UJŚCIOWYCH ODCINKÓW RZEK
BĘDĄCYCH POD WPŁYWEM ODDZIAŁYWANIA MORZA W CELU WYKORZYSTANIA WYNIKÓW DO
MODELOWANIA HYDRODYNAMICZNEGO, A NASTĘPNIE OPRACOWANIA MAP ZAGROŻENIA
POWODZIOWEGO ORAZ MAP RYZYKA POWODZIOWEGO**

Autorzy:

dr inż. Marzenna Sztobryn

mgr inż. Beata Letkiewicz

mgr Monika Mykita

mgr inż. Beata Kowalska

mgr inż. Andrzej Cieślak- Urząd Morski Gdynia

Gdynia, 2010

Spis treści

1. Cel pracy	3
2. Zakres wykonanych prac	3
2.1. Obliczenie wzrostu poziomu wody o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia	4
2.2. Określenie wpływu morza - falowania	5
2.2.1. Wysokość fali podczas ostatniego załamania.....	5
2.2.2. Wysokość nabiegania fali	6
2.2.3. Prawdopodobieństwo wystąpienia wysokiego poziomu nabiegania fal	6
3. Określenie zmian poziomu morza wzdłuż polskiego wybrzeża Bałtyku wywołanych zmianami klimatycznymi według wyników projektu KLIMAT	7
4. Wnioski	8
5. Załącznik nr 1 – Metodyka uwzględniania oddziaływania morza (w tym falowania) na zmiany charakterystycznych poziomów morza, do wykorzystania przy wyznaczaniu stref ryzyka powodziowego	9

1. Cel pracy

Celem pracy było opracowanie metod obliczania maksymalnych poziomów wody o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia dla wybrzeża oraz ujściowych odcinków rzek będących pod wpływem oddziaływania morza (w tym również falowania).

Opracowanie uwzględnia również wpływ zmian klimatu na zmianę poziomu morza.

Sztormowy wiatr dolądowy powoduje wezbrania sztormowe, które są przyczyną powstawania zjawiska cofki w ujściowych odcinkach rzek.

Ujściowe odcinki rzek pozostają pod wpływem morza. Oznacza to, że głównym parametrem charakteryzującym reżim hydrologiczny, a więc i zagrożenie powodziowe jest poziom wody.

Przepływy, ze względu na powstawanie cofki, nie są uwzględniane.

2. Zakres wykonanych prac

Metodyka została określona na podstawie przeprowadzonych badań dla stacji mareograficznych: Trzebież, Świnoujście, Dziwnów, Kołobrzeg, Ustka, Łeba, Władysławowo, Hel, Gdynia, Gdańsk Port Północny, Gdańsk Świbno, Gdańska Głowa, Elbląg, Nowe Batorowo.

Wykorzystano dane z 6 różnej długości okresów obserwacyjnych 1955-2009, 1960-2009, 1965-2009, 1970-2009, 1975-2009, 1980-2009 oraz 3 założonych rozkładów: normalny, logarytmiczno-normalny, ekstremalny.

Poziom wody o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia jest opisany wzorem :

$$H_{p\%} = H_{\text{sr}} + \text{wzrost\%}$$

gdzie :

$H_{p\%}$ – poziom wody o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia [cm],

H_{sr} – średni poziom wody obliczony dla okresu referencyjnego 1970-1990 [cm],

wzrost% - wzrost (anomalía) powyżej średniego poziomu morza H_{sr} , o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia, obliczony na podstawie rozkładu teoretycznego [cm],

Poziom wody o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia przy uwzględnieniu oddziaływania morza i zmian klimatycznych jest opisany wzorem :

$$H_m = H_{p\%} + H_z + \text{wzrost}_k$$

gdzie:

H_m - poziom o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia przy uwzględnieniu oddziaływania morza [cm],

$H_{p\%}$ – poziom wody o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia [cm],

H_z – wysokość ostatniej załamującej się fali określana jako wzrost poziomów wody spowodowana falowaniem [cm], (str.6)

wzrost_k – wzrost poziomu morza wzdłuż polskiego wybrzeża Bałtyku wywołany zmianami klimatycznymi wg wyników projektu KLIMAT [cm].

a. Obliczenie wzrostu poziomu wody o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia

Badania dopasowania empirycznych rozkładów prawdopodobieństwa rozkładami teoretycznymi, zostały przeprowadzone dla stacji mareograficznych:

- Zalewu Szczecińskiego: Trzebież;
- wybrzeża zachodniego Bałtyku Południowego: Świnoujście, Dziwnów;
- wybrzeża środkowego: Kołobrzeg, Ustka;
- dla wybrzeża wschodniego: Łeba, Władysławowo, Hel, Gdynia, Gdańsk Port Północny;
- ujściowego odcinka Wisły: Gdańsk Świbno, Gdańska Głowa;
- Żuław: Elbląg;
- Zalewu Wiślanego: Nowe Batorowo;

dla sześciu, różnej długości okresów 1955-2009 (N – liczba elementów 55), 1960-2009 (N – liczba elementów 55), 1965-2009 (N – liczba elementów 55), 1970-2009 (N – liczba elementów 55), 1975-2009 (N – liczba elementów 55), 1980-2009 (N – liczba elementów 55) oraz 3 założonych prawdopodobieństw przewyższenia.

Na podstawie analizy wyników badań zaleca się wykorzystywanie rozkładu wartości ekstremalnych (Gumbela) dla okresu obejmującego minimum ostatnie 30 lat. Zaleca się, w szczególności, wykorzystywać dane z okresu 1980 – 2009. Rozkład wartości ekstremalnych daje najlepsze przybliżenie, szczególnie w zakresie stanów wysokich.

Rozkłady normalny i log-normalny zaniżają wartości. Nie znajdują potwierdzenia w obserwowanej ekstremalizacji zjawisk w ostatnim okresie.

Rozkład wartości ekstremalnej (skrajnej). Rozkład wartości ekstremalnej (typu I) posiada funkcję gęstości o postaci:

$$f(x) = \frac{1}{\beta} e^{-\frac{x-\mu}{\beta}} e^{-e^{-\frac{x-\mu}{\beta}}}, \quad \text{dla } -\infty < x < \infty \quad \text{i } \beta > 0$$

gdzie:

α oznacza parametr położenia,

β oznacza parametr skali,

e oznacza podstawę logarytmu naturalnego, czasami nazywaną stałą Eulera e (o wartości 2,71...).

Dystrybuanta. Dystrybuanta rozkładu wartości ekstremalnych ma postać:

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{x-\mu}{\beta}}}$$

b. Określenie wpływu morza - falowania

Wysokość nabiegania fali na brzeg zależy od wysokości fali w momencie ostatniego załamania oraz od wielkości współczynnika odbicia nabiegającej fali od brzegu (załącznik 1).

i. Wysokość fali podczas ostatniego załamania

Należy zakładać, że w przypadku wystąpienia podwyższonego poziomu wody w wyniku spiętrzenia sztormowego, ostatnie załamanie fali nastąpi również na skarpie skłonu brzegowego, ponieważ w tym miejscu następuje relatywnie gwałtowna zmiana głębokości wody. Wysokość załamującej się fali będzie odpowiednio większa: jeżeli poziom wody będzie podwyższony o wartość Z_s ponad stan średni, to wysokość ostatniej załamującej się fali H_z nie przekroczy wysokości $0.7(0.5 \text{ m} + Z_s)$.

ii. Wysokość nabiegania fali

Nabieganie fali na brzeg nie odbijający fal

W warunkach podwyższonego stanu wody rzędną wysokości nabiegania fali Rz_n , można określić wg poniższego wzoru:

$$Rz_n = Z_s + H_z$$

gdzie Z_s – spiętrzenie sztormowe ponad stan średni 0.00 m npm [m]

H_z – wysokość ostatniej załamującej się fali [m]

$$H_z = 0.7 (0.5 + Z_s)$$

Nabieganie fali na brzeg odbijający

Zaleca się przyjęcie, że jeżeli tylko jest dostateczna głębokość wody przed brzegiem odbijającym, to wysokość fali uderzającej zawsze jest dwa razy większa niż fali podchodzącej.

Takie samo założenie proponuje się przyjąć w przypadku brzegu naturalnego (wydmowego) obudowanego konstrukcją odbijającą. Jest to uzasadnione tym, że powtarzające się odbicia fal od konstrukcji powodują szybkie pogłębianie dna na jej przedpolu, umożliwiające podwojenie wysokości fal.

Nabieganie fali na ujściowe odcinki rzek

Określenie wysokości fali w ujściowych odcinkach rzek jest bardzo trudne. Spiętrzenie wody wydłuża czas odpływu wody z rzeki. Można oszacować maksymalną wysokość fali w tym miejscu. Należy przyjąć margines bezpieczeństwa, który zawiera: oscylacje/ wahania poziomu 5 cm +falowanie 10 cm. W przypadku gdy w ujściu rzeki znajduje się port dodatkowo zabezpieczony falochronem wartość ta ulegnie zmniejszeniu.

iii. Prawdopodobieństwo wystąpienia wysokiego poziomu nabiegania fal

Z powyższych analiz wynika, że prawdopodobieństwo wystąpienia wysokiego poziomu nabiegania fali na brzeg nie zależy od prawdopodobieństwa występowania ekstremalnego falowania na głębokiej wodzie. Zależy ono wyłącznie od częstości spiętrzeń sztormowych.

3. Określenie zmian poziomu morza wzdłuż polskiego wybrzeża Bałtyku wywołanych zmianami klimatycznymi według wyników projektu KLIMAT

Określenie wpływu zmian klimatu na wzrost poziomu morza opracowano na podstawie wyników realizowanego przez IMGW projektu KLIMAT „Wpływ zmian klimatu na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo (zmiany, skutki i sposoby ich ograniczania, wnioski dla nauki, praktyki inżynierskiej i planowania gospodarczego.), finansowanego przez Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego, oś priorytetowa Innowacyjna Gospodarka. W ramach zadania 6 Bałtyk jako element systemu klimatycznego i jego rola w tworzeniu się stanów zagrożenie, podzadanie 6.1 Wpływ zmian klimatycznych na zmiany średniego poziomu morza i występowania jego ekstremalnych wartości w rejonie polskiego wybrzeża Morza Bałtyckiego i scenariusze zmian, zespół w składzie mgr Ewa Jakusik, prof. IMGW PIB dr hab. Mirosław Miętus, mgr Dawid Biernacik, mgr Robert Wójcik, mgr Michał Pilariski, mgr Bartosz Czernecki, Marta Kowalczyk, opracował scenariusze zmian poziomu morza dla głównych stacji mareograficznych wzdłuż polskiego wybrzeża w odniesieniu do okresu referencyjnego 1971-1990 dla wybranych scenariuszy emisji gazów cieplarnianych (B1, A1B, A2), dla lat 2011-2030 oraz 2081-2100, z uwzględnieniem wpływu czynnika cyrkulacyjnego oraz spodziewanych zmian globalnego poziomu morza wg IPCC. W tabeli 1 oraz tab. 2 przedstawiono wartości wzrostu poziomu morza [cm] wzdłuż polskiego wybrzeża Bałtyku wywołane zmianami klimatycznymi wg scenariusza emisyjnego A2 (najbardziej pesymistycznego).

Tab.1. Anomalie średniego poziomu morza wzdłuż polskiego wybrzeża Bałtyku wywołane zmianami klimatycznymi wg scenariuszy emisyjnych A2 w okresie 2011-2030 oraz 2081-2100, w stosunku do okresu 1971-1990.

stacja	wzrost _k [cm] dla okresu 2011-2030 wg scenariusza A2	wzrost _k [cm] dla okresu 2081-2100 wg scenariusza A2
Świnoujście	5	27
Kołobrzeg	5	28
Ustka	5	28
Łeba	5	28
Władysławowo	5	28
Hel	5	28
Gdynia	5	28
Gdańsk	5	28
Gdańsk – Ujście Wisły	5	28

Tab.2. Anomalie maksymalnego poziomu morza wzdłuż polskiego wybrzeża Bałtyku wywołane zmianami klimatycznymi wg scenariusza emisyjnego A2 w okresie 2011-2030 oraz 2081-2100, w stosunku do okresu 1971-1990.

stacja	wzrost _k [cm] dla okresu 2011-2030 wg scenariusza A2	wzrost _k [cm] dla okresu 2081-2100 wg scenariusza A2
Świnoujście	6	38
Kołobrzeg	6	39
Ustka	6	36
Łeba	6	34
Władysławowo	6	34
Hel	6	35
Gdynia	6	34
Gdańsk	6	35
Gdańsk – Ujście Wisły	6	36

4. Wnioski

Na podstawie analizy wyników badań, do obliczenia poziomu wody o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia, zaleca się wykorzystywanie rozkładu wartości ekstremalnych (Gumbela) dla okresu obejmującego minimum ostatnie 30 lat. Ze względu na zalecenia Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej, przy uwzględnianiu zmian klimatycznych proponuje się wykorzystanie wyników scenariusza emisyjnego A2 (najbardziej pesymistycznego) określających zmiany maksymalnych poziomów wody.

5. Załącznik nr 1 – Metodyka uwzględniania oddziaływania morza (w tym falowania) na zmiany charakterystycznych poziomów morza, do wykorzystania przy wyznaczaniu stref ryzyka powodziowego

Zagrożenie powodziowe od strony morza zależy od „stanu morza”, t.j. chwilowego przeciętnego położenia zwierciadła wody ponad wieloletni średni poziom morza, oraz od wysokości nabiegania fali na brzeg.

Wysokość nabiegania fali na brzeg zależy od wysokości fali w momencie ostatniego załamania oraz od wielkości współczynnika odbicia nabiegającej fali od brzegu.

Wysokość fali podczas ostatniego załamania

Z punktu widzenia zagrożenia powodziowego zaplecza brzegu morskiego, istotnymi cechami transformacji fal w strefie płytkowodnej są:

- Stopniowa zmiana kierunku propagacji fali na coraz bliższy prostopadłemu do brzegu. W przypadku falowania sztormowego fale dochodzą praktycznie prostopadle do brzegu i dlatego mogą nabiegać na pełną teoretycznie możliwą wysokość.
- Redukcja wysokości fali następująca głównie w rezultacie wielokrotnego załamania. Wysokość fali w strefie płytkowodnej jest ograniczona głębokością wody. Jeżeli wysokość fali H jest \geq od 0.7 lokalnej głębokości wody d to następuje załamanie fali. Szacuje się, że w wyniku każdego kolejnego załamania fala traci połowę energii. Ponieważ energia fali jest proporcjonalna do kwadratu jej wysokości, to po załamaniu wysokość fali wynosi ok. $H/1.41$.

W przypadku naturalnego brzegu morskiego, z typowym profilem poprzecznym, ostatnie załamanie następuje na skarpie tzw. skłonu brzegowego, na przedpolu którego głębokość wody wynosi zazwyczaj ok. 0.4-0.5 m. Zatem w warunkach średnich stanów wody w morzu wysokość ostatniej załamującej się fali nie przekroczy 0.35 m niezależnie od tego jak duże były fale na głębokiej wodzie.

Należy zakładać, że w przypadku wystąpienia podwyższonego poziomu wody w wyniku spiętrzenia sztormowego, ostatnie załamanie fali nastąpi również na skarpie skłonu brzegowego, ponieważ w tym miejscu następuje relatywnie gwałtowna zmiana głębokości wody. Wysokość załamującej się fali będzie odpowiednio większa: jeżeli poziom wody będzie podwyższony o wartość Z_s ponad stan średni, to wysokość ostatniej załamującej się fali H_z nie przekroczy wysokości $0.7(0.5 \text{ m} + Z_s)$.

Wysokość nabiegania fali

Nabieganie fali na brzeg nie odbijający fal

W rozumieniu niniejszej ekspertyzy, brzegiem nie odbijającym fali jest każdy brzeg wydmowy, nie obudowany równoległymi do brzegu konstrukcjami pionowościennymi lub skarpowymi, w tym konstrukcjami narzutowymi, usytuowanymi w dowolnym miejscu profilu poprzecznego brzegu między linią wody a skarpą wydmy włącznie.

Dla brzegów nie odbijających fali przyjmuje się, że w przypadku nabiegania fali prostopadle do linii brzegowej, wysokość nabiegania ponad aktualny poziom wody jest równa wysokości ostatniej załamującej się fali. Zatem w warunkach średnich stanów wody wysokość nabiegania nie przekroczy rzędnej +0.35 m npm.

W warunkach podwyższonego stanu wody rzędną wysokości nabiegania fali Rz_n można określić wg poniższego wzoru:

$$Rz_n = Z_s + H_z$$

gdzie Z_s – spiętrzenie sztormowe ponad stan średni 0.00 m npm [m]

H_z – wysokość ostatniej załamującej się fali [m]

$$H_z = 0.7 (0.5 + Z_s)$$

Nabieganie fali na brzeg odbijający

Przez brzeg odbijający fale rozumie się każdy brzeg obudowany równoległymi do brzegu konstrukcjami pionowościennymi lub skarpowymi, w tym konstrukcjami narzutowymi, usytuowanymi w dowolnym miejscu profilu poprzecznego brzegu między linią wody a skarpą wydmy włącznie. Brzegami odbijającymi fale są również brzegi klifowe, ponieważ w warunkach spiętrzenia sztormowego fale docierają bezpośrednio do zwartego i prawie pionowościennego podnóża klifu, od którego następuje praktycznie pełne odbicie fali. Jednak, z uwagi na znaczne wysokości zaplecza klifów, pomija się je w dalszej analizie.

Ściśle zgodnie z teorią pełne odbicie fali (współczynnik odbicia = 1) następuje tylko wtedy, gdy fala podchodzi prostopadle do brzegu obudowanego twardą pionową ścianą. Jeżeli głębokość wody przed tą ścianą jest dostatecznie duża, to wówczas następuje podwojenie wysokości uderzających w ścianę fal w stosunku do wysokości fali podchodzącej H_p . Gdy obudowa brzegu jest skarpowa i/lub wykonana w sposób rozpraszający energię uderzających w konstrukcję fal, to wówczas następuje częściowa redukcja odbicia (współczynnik odbicia < 1) i wysokość uderzających fal H_u mieści się w przedziale $H_p < H_u < 2H_p$. Jednak w praktyce okazuje się, że rzeczywiste odbicie fal

od konstrukcji skarpowych jest prawie takie same jak od konstrukcji pionowych. Dlatego, biorąc pod uwagę zachowanie niezbędnego marginesu bezpieczeństwa, zaleca się przyjęcie, że jeżeli tylko jest dostateczna głębokość wody przed brzegiem odbijającym, to wysokość fali uderzającej zawsze jest dwa razy większa niż fali podchodzącej.

Takie samo założenie proponuje się przyjąć w przypadku brzegu naturalnego (wydmowego) obudowanego konstrukcją odbijającą. Jest to uzasadnione tym, że powtarzające się odbicia fal od konstrukcji powodują szybkie pogłębianie dna na jej przedpolu, umożliwiające podwojenie wysokości fal.

Prawdopodobieństwo wystąpienia wysokiego poziomu nabiegania fal

Z powyższych analiz wynika, że prawdopodobieństwo wystąpienia wysokiego poziomu nabiegania fali na brzeg nie zależy od prawdopodobieństwa występowania ekstremalnego falowania na głębokiej wodzie. Zależy ono wyłącznie od częstości spiętrzeń sztormowych.

Należy jednak zwrócić uwagę, że na niektórych odcinkach brzegu, w związku z ich szczególnym położeniem w stosunku do kierunków z których występują ekstremalne wiatry, i w powiązaniu ze szczególnymi warunkami generacji falowania na przyległych akwenach (zachodnie i północne brzegi Zatoki Gdańskiej, północne i zachodnie brzegi Zalewu Wiślanego oraz zachodnie(?) brzegi Zalewu Szczecińskiego) wysokie poziomy wody występują przy odlądowych lub prawie odlądowych kierunkach wiatru. Fale w takiej sytuacji są bardzo niskie i wysokość nabiegania nie przekroczy 10 cm. Z kolei fale, które mogłyby osiągnąć przy ostatnim załamaniu znaczące wysokości (np. ok. 1m) są generowane przy kierunkach wiatru, powodujących obniżenie poziomu wody przy brzegu. W rezultacie ostatnie załamanie fali następuje na tle poziomu wody w strefie stanów niskich lub co najwyżej średnich. Zatem na tych odcinkach brzegu zagrożenie powodzią nie wiąże się z nabieganiem fali, lecz tylko z wysokością spiętrzenia.

Możliwa jest szczególna sytuacja, gdy po okresie trwania wiatru, powodującego wysokie spiętrzenie wody, nastąpi gwałtowna zmiana kierunku (silnego) wiatru na kierunek generujący wysokie fale przy brzegu. Wówczas wysokość nabiegania fali będzie duża. Jednak taki stan będzie krótkotrwały, bo zmiana kierunku wiatru spowoduje obniżenie poziomu morza.

Zagrożenie powodzią a wysokość nabiegania fali

Należy zwrócić uwagę, że:

- W czasie spiętrzeń sztormowych fale nabiegają na brzeg co kilka sekund (przeciętnie 6-8 s), tj. co 6-8 s woda może osiągać maksymalną wysokość nabiegania, lecz nie stoi stale na tym poziomie;
- Ilości wody docierającej do najwyższej części profilu brzegu na który nabiegają fale są stosunkowo małe – co wynika z kształtu fali tuż przed załamaniem; do najwyższych 20% wysokości nabiegania dociera mniej niż 7% objętości fali.

Uwzględniając powyższe, można bezpiecznie przyjąć, że zagrożenie powodzią od nabiegających fal sięga do wysokości nie większej niż 0,5 wysokości nabiegania.

Wpływ skutków zmiany klimatu

Z punktu widzenia zagrożenia powodziami od strony morza, istotne są dwa rodzaje skutków:

- wzrost częstości i siły sztormów z niekorzystnych kierunków i w związku z tym częstości spiętrzeń sztormowych oraz
- wzrost średniego poziomu morza.

Przewiduje się, że w przypadku brzegów wydmowych, nie obudowanych konstrukcjami odbijającymi, profil poprzeczny brzegu nie ulegnie zmianie, a jedynie odpowiednio przesunie się w stronę lądu. W przypadku brzegów utrzymywanych przy pomocy sztucznego zasilania profil nawet nie powinien ulec przemieszczeniu. Zatem względne wysokości nabiegania fal będą takie same jak to opisano w p. 2. Podwyższeniu ulegnie tylko średni poziom morza do którego należy odnieść wyliczone wartości nabiegania.

Zmiany klimatu zmieniają statystyki spiętrzeń sztormowych, a zatem statystyki ekstremalnych stanów morza.