

MEMO

Til: Lyngby-Taarbæk Kommune

Att.: Bo Henrik Mogensen (BOHEM@ltk.dk)

Cc:

Fra: Kasper Kærgaard (kak@dhigroup.com), DHI A/S

DHI ref.: 11830889

Projekt: Taarbæk - Klimatilpasning

Dato: 8-1-2024

Emne: Effekten af et dykket rev på bølgeopskyl i Taarbæk

1 Introduktion

I forbindelse med projektet "Klimatilpasning af Taarbæks kyststrækning" har Lyngby-Taarbæk kommune bedt DHI A/S (DHI) om at undersøge effekten af at etablere et dykket rev på bølgehøjden langs kysten. Dette er sket på baggrund af henvendelse fra flere borgere i Taarbæk som mener at etablering af et dykket rev vil kunne reducere bølgerne langs kysten, og dermed bidrage til at reducere det nødvendige niveau af stormflodssikringen langs kysten.

Fra Lyngby-Taarbæk kommune har DHI modtaget et kort dokument der beskriver det rev der skal undersøges. Placeringen af revet er vist på Figur 1 og tværsnittet af revet er vist på Figur 2.

Det bemærkes at kronen på revet er placeret 30 cm under normal vandstand således at revet ikke kan ses under normale vandstande i Øresund. Det betyder dog at revet ved en 20-års stormflodshændelse vil være dækket af 170 cm vand og under 100-års hændelsen af 188 cm vand, se også Tabel 1.

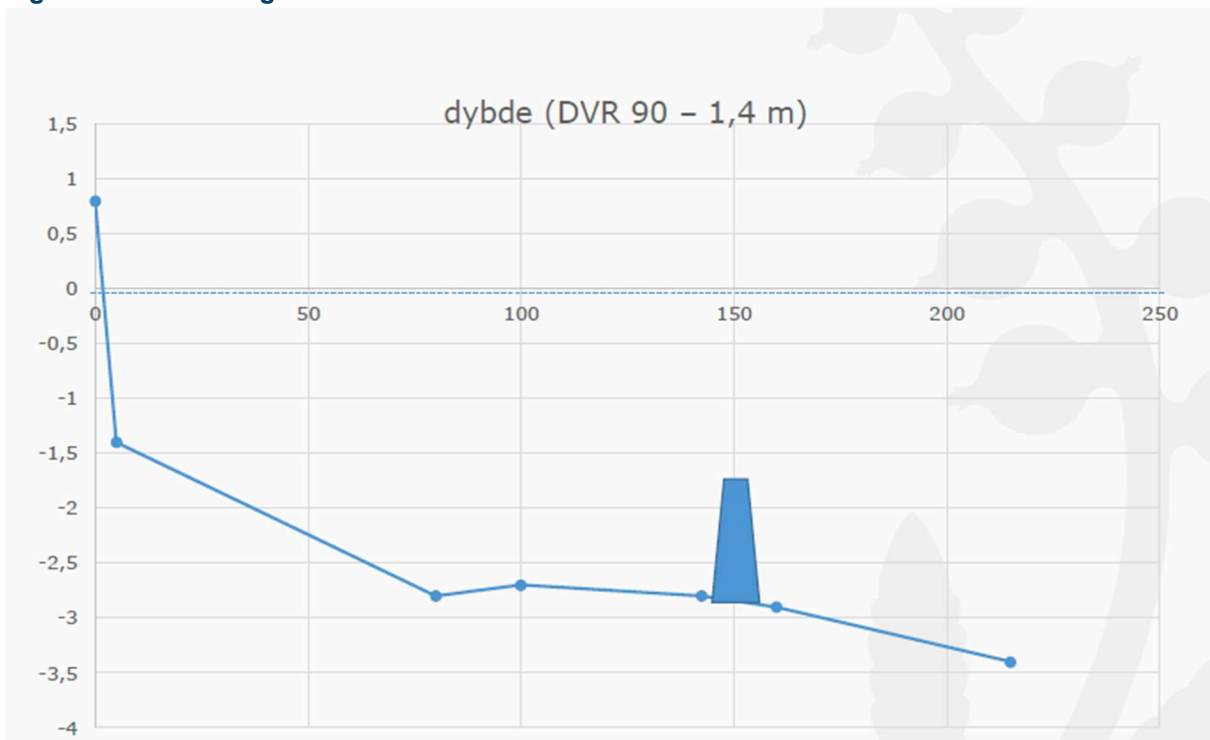
I Taarbæk er den nødvendige højde på højvandsbeskyttelsen langs kysten en funktion af både vandstanden under stormflod og størrelsen på bølgerne der skyller op af højvandsbeskyttelsen. Bidraget fra bølgeopskyllet varierer langs kysten i Taarbæk idet bølgehøjden varierer. Dermed kan den nødvendige højde på beskyttelsen for et givet risikoniveau (med en given retur periode) i princippet reduceres ved at reducere højden på bølgerne. Dette kunne i princippet gøres med et undersøisk rev, problemet med denne løsning er at et undersøisk rev kun vil have en begrænset effekt på bølgehøjden under stormflod fordi der under stormflod er meget vand over kronen på revet og bølgerne derfor kan passere revet relativt upåvirket. Det foreslåede rev som er dykket 30 cm under normal vandstand, vil være dykket 170 cm under en 20-års stormflod. Dermed vil det kun påvirke bølgerne i mindre grad. Således virker det undersøiske rev mindst når der er mest brug for det.

DHI har tidligere forklaret ovenstående for både kommunen og borgerne i Taarbæk, men nærværende notat dokumenterer og kvantificerer yderligere og kan dermed bidrage til forståelsen for hvorfor et

undersøisk rev kun virker i mindre grad under en 20-års stormflodshændelse og i endnu mindre grad for en 100-års stormflodshændelse.



Figur 1: Placering af undersøisk rev.



Figur 2: Tværsnit af undersøisk rev.

Tabel 1: Fremskrevne ekstremværdier for udvalgte oplevede vandstandsstigninger baseret på Kystdirektoratets højvandsstatistik for Københavns Havn.

DVR 90	20 år	50 år	100 år	500 år
+0 (2017)	143 cm	152 cm	158 cm	172 cm
+35 cm	178 cm	187 cm	193 cm	207 cm
+50 cm	193 cm	205 cm	208 cm	232 cm
+100 cm	243 cm	252 cm	258 cm	272 cm

Opdraget for opgaven består af følgende aktiviteter:

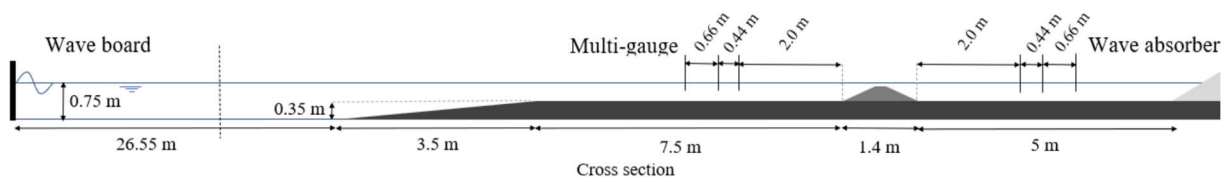
- Aktivitet 1: Validering af spektral bølgemodelen for transmissionen af bølger hen over et dykket rev, dvs. sammenligning med måledata fra fysisk modelforsøg.
- Aktivitet 2: Beregning i 1D af bølgetransmissionen over revet.
- Aktivitet 3: Beregning i 2D af bølgefeltet for 100 års stormen i Taarbæk med og uden rev for at kunne kvantificere effekten af revet.

For hver aktivitet beskrives metoder og resultater i det følgende.

2 Aktivitet 1: Validering af bølgemodellen.

Bølgemodellen som benyttes i nærværende studie, er MIKE 21 FM Spectral Waves. Modellen beregner udbredelse og transmission af bølger under påvirkning af vind, bathymetrien, bund-ruhed og bølgebrydning under antagelse af lineær bølge teori. Modellen er blandt de førende numeriske modeller i verden og er bredt anerkendt blandt forskere og teknikere som arbejder indenfor feltet. Modellen er beskrevet i detaljer i MIKE by DHI (2024).

For at vise at modellen kan beregne transmissionen af bølger hen over revet korrekt er modellen valideret mod målinger foretaget i fysiske modelforsøg af bølgetransmissionen over et rev der minder lidt om det foreslåede for Taarbæk. Målingerne er beskrevet i van Gent et al. (2023). De fysiske modelforsøg er lavet i bølge-renden vist Figur 3.



Figur 3: Forsøgsopstilling for de fysiske modelforsøg, fra van Gent (2023).
Vanddybden over revet var 0.1 m.

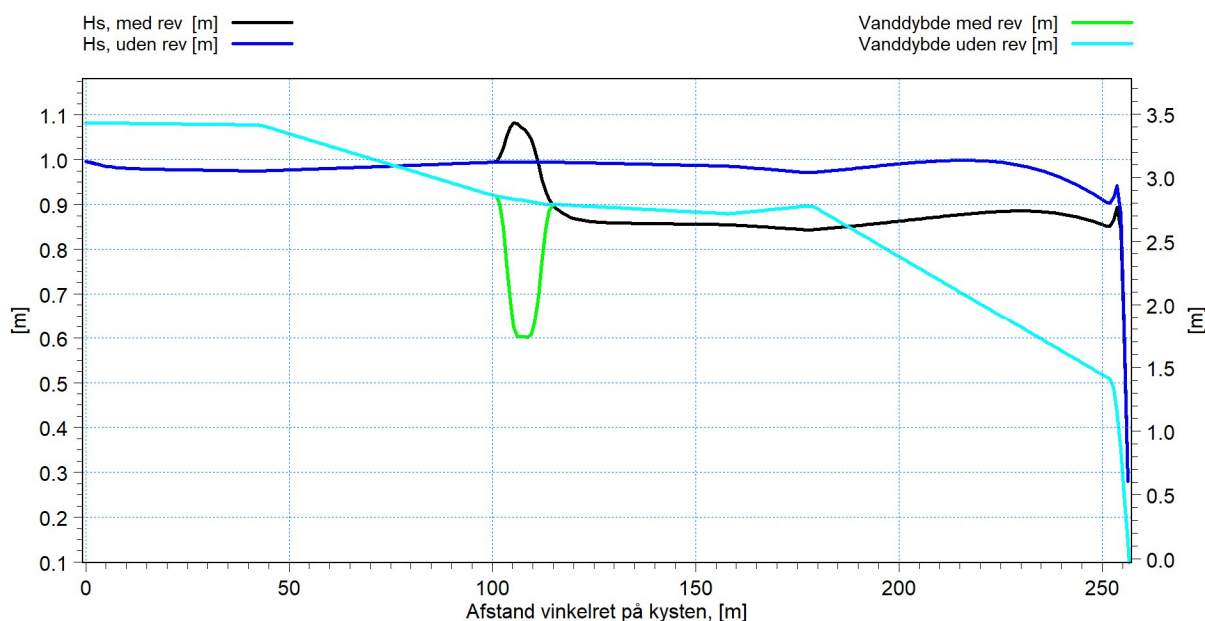
MIKE 21 SW-modellen blev benyttet til at beregne transmissionen af bølger over revet i det fysiske modelforsøg med en signifikant bølgehøjde $H_s = 0.1$ m. Bølgetransmissionskoefficienten som modellen beregnede var 0.77. Det vil sige at bølgehøjden på bagsiden af revet var 77% af bølgehøjden på forsiden af revet. Målingerne viste en transmission for dette tilfælde på mellem 0.8 og 0.85. Dvs. modellen undervurderede bølgetransmissionen over revet og bølgerne var altså lidt mindre på bagsiden af revet i modellen end i forsøget. Forskellen er dog lille nok til at modellen betragtes som valideret og god nok til at beregne effekten af et undersøisk rev på bølgetransmissionen over revet.

3 Aktivitet 2: Beregning i 1D af bølgetransmissionen over revet.

SW-modellen blev herefter benyttet til at beregne bølgetransmission på tværs af kysten over revet vist på Figur 2 for en signifikant bølgehøjde på $H_s = 1$ m for en vandstand på 1.4 m en anelse mindre end den 20 års vandstanden vist i Tabel 1. Vanddybden over kronen på revet er 1.7 m.

Beregningen blev udført både med og uden rev. Figur 4 viser forløbet af den signifikante bølgehøjde, H_s , med og uden rev samt vanddybden med og uden rev.

Det ses at revet reducerer bølgehøjden lige bag ved revet fra ca. 1 m uden rev, til ca. 0.87 m med revet. Ved kystlinjen er forskellen dog mindre idet bølgehøjden i beregningen uden rev nærmer sig bølgehøjden i beregningen med rev når bølgerne vandre ind over de lavere vanddybder i profilet. Dette er formentligt fordi pga. brydning og shoaling foregår lidt forskelligt. Populært kan det siges at de bølger der bryder på selve revet i beregningen med revet, de bryder alligevel når bølgerne i beregningen uden revet når ind på en vanddybde på 1.7 m (svarende til vanddybden over revet). Dermed er effekten af revet ved kystlinjen, hvor vanddybden er mindre, en reduktion i bølgehøjden fra ca. 0.9 m i beregningen uden revet til 0.85 m i beregningen med revet, altså en reduktion på omkring 5 cm.

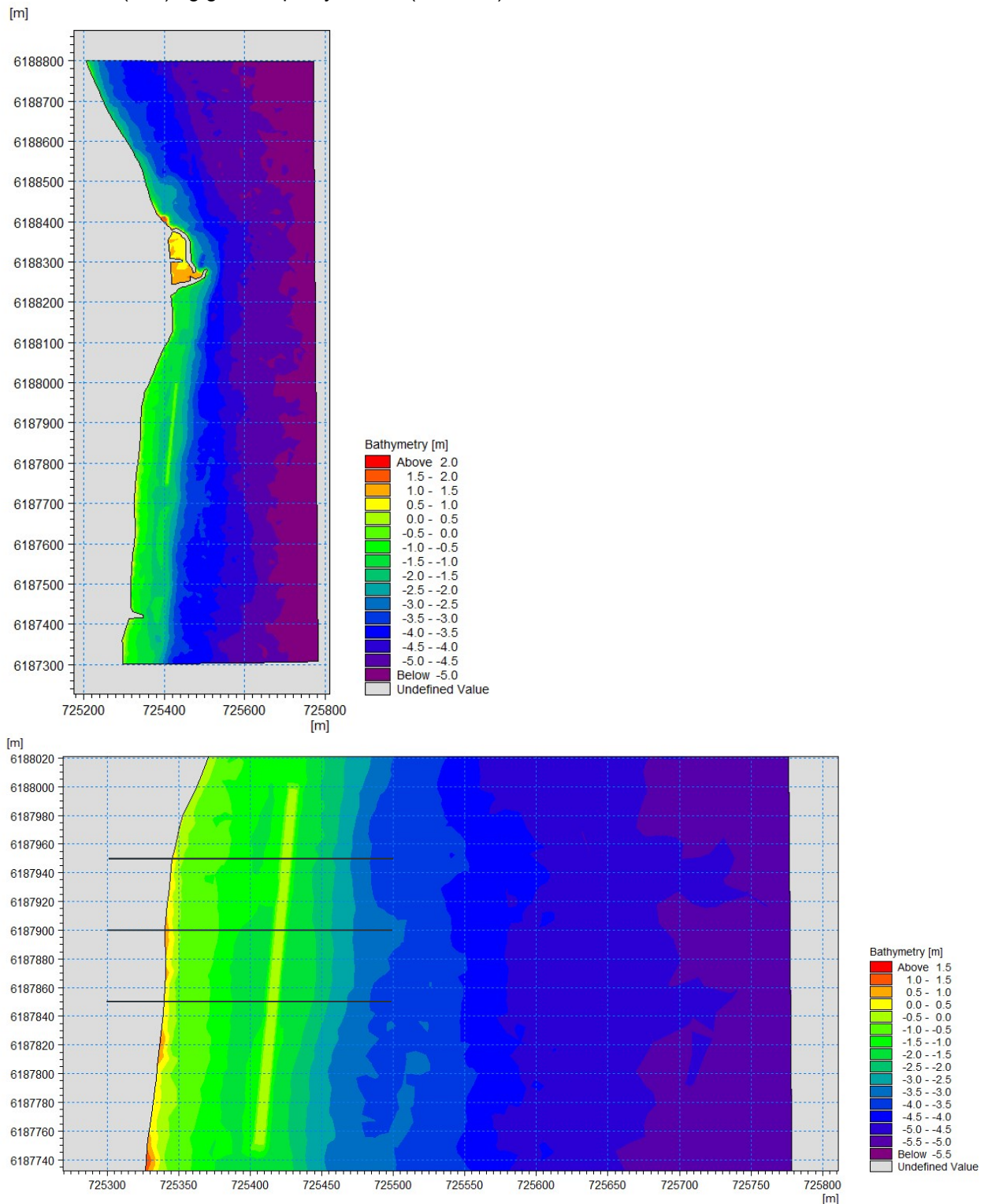


Figur 4: Forløbet af den signifikante bølgehøjde, H_s , på tværs af kysten med og uden rev. Bølgehøjden, H_s , aflæses på venstre akse og vanddybden aflæses på højre akse.

4 Aktivitet 3: Beregning i 2D af bølgefeltet for 100 års stormen i Taarbæk.

SW-modellen blev herefter benyttet til at beregne effekten af revet på 2D-feltet af bølger under 100 års stormfloden i Taarbæk.

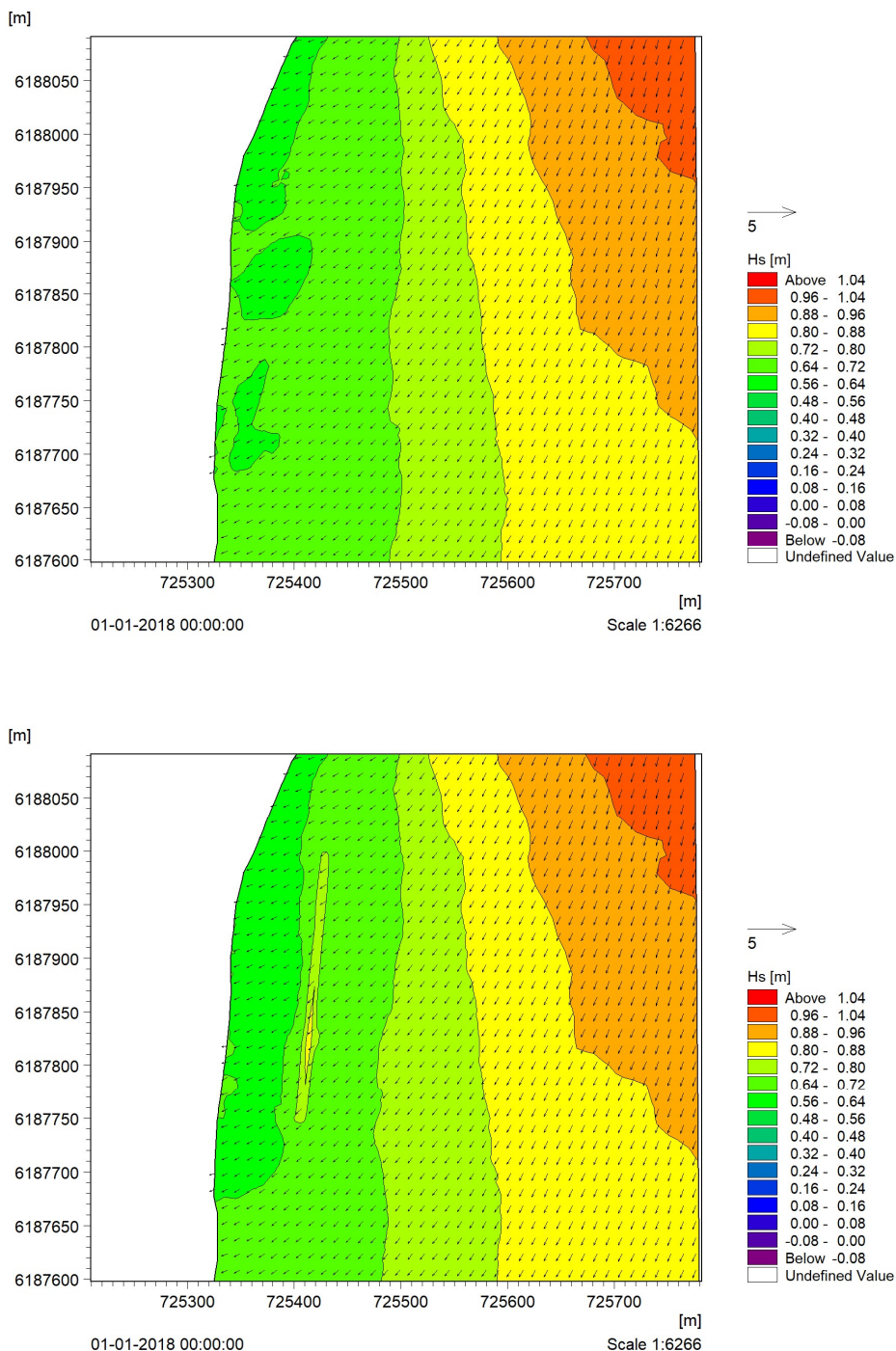
Modelområdet med bathymetri er vist på Figur 5. Opløsningen på modellen varierer og er finest på tværs af revet (2 m) og grovere på dybt vand (ca. 20 m).



Figur 5: Top: Modelområde med bathymeti. Bund: Zoom omkring revet. Linjerne der er trukket bølgehøjder ud langs med er vist med sorte linjer.

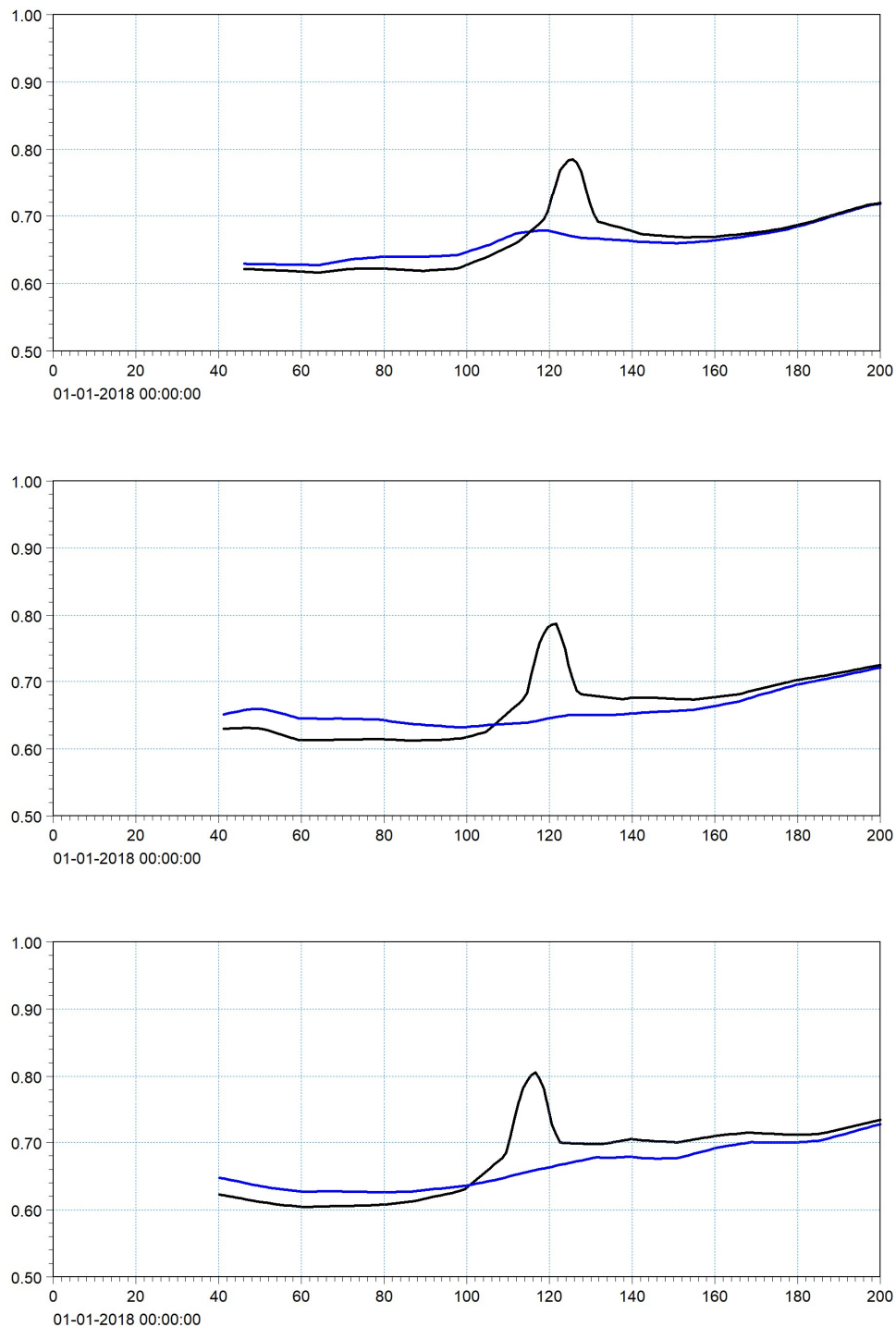
Vandstanden i modellen blev sat til 1.58 m svarende til 100-års stormen. Bølgehøjden blev sat til 1 m fra stik nord på den nordlige rand. På den østlige rand var randbetingelsen "Lateral", dvs. nu gradient over randen.

Modellen blev kørt både med og uden revet. Figur 6 viser den beregnede signifikante bølgehøjde med og uden revet. Det ses at bølgehøjden bliver større over revet, men bag ved revet er bølgehøjden næsten uændret i forhold til beregningen uden revet. Det skyldes at bølgehøjden på 1 m på den nordlige rand er reduceret væsentligt til omkring 0.6 m inden den når revet fordi bølgerne bliver mindre når de drejer ind mod kysten. Dermed er der næsten ingen bølgebrydning på revet og da bølgebrydning er den vigtigste effekt til at reducere bølgehøjden over revet, har dette nærmest ingen effekt.



Figur 6: Den signifikante bølgehøjde, Hs, uden (top) og med (bund) revet.
 Det ses at bølgerne bliver større over revet pga. shoaling, men bag ved revet er bølgehøjden nærmest uændret i beregningen med revet i forhold til beregningen uden revet.

Bølgehøjden er trukket ud på tværs af revet langs de tre linjer vist Figur 5. De udtrukne data er vist på Figur 7. Det ses at revet reducerer bølgehøjden ved kysten med mindre end 3 cm. Revet har således stort set ingen effekt på bølgehøjden langs kysten.



Figur 7: Den signifikante bølgehøjde trukket ud tre steder på tværs af revet. Sort: Med rev. Blå: Uden rev.

Kysten er til venstre på figuren. Bølgerne kommer således fra højre mod venstre.

5 Diskussion

Nærværende studie har til formål at belyse effekten af et undersøisk rev på stormflodsbeskyttelsen langs kysten i Taarbæk. DHI har tidligere forklaret at et undersøisk rev ikke vil have nogen gavnlig effekt på stormflodssikringen, idet vandstanden under stormflod er så stor at bølgerne vil passere stort set uændrede over et undersøisk rev. Effekten er i dette studie kvantificeret ved hjælp af en numerisk model, MIKE 21 FM Spektral Waves. Modellen er først valideret ved sammenligning af bølgetransmissionen over et undersøisk rev målt i et laboratorieforsøg og beregnet med modellen. Modellen overestimerede svagt effekten af revet.

Dernæst blev bølgetransmissionen over et undersøisk rev der kunne bygges i Taarbæk undersøgt med modellen. I det endimensionale tilfælde med en bølgehøjde på 1 m på 20 års vandstanden, var forskellen i bølgehøjden ved kysten med og uden revet på ca. 5 cm, dvs. bølgehøjden uden revet var på 0.9 m og med revet 0.85 m.

Endelige blev effekten af revet i det todimensionale tilfælde undersøgt ved at se på bølgehøjden i Taarbæk for 100 års stormflodsvandstanden og den tilhørende bølgehøjde på $H_s = 1$ m fra stik nord. I dette tilfælde blev bølgehøjden ved kysten også reduceret med mindre end 3 cm i beregningen med revet i forhold til beregningen uden revet.

Det kan således konkluderes at den numeriske model viser at et undersøisk rev vil reducere bølgehøjden ved kysten i Taarbæk under stormflod med mindre end 5 cm, og det vil således ikke bidrage til at reducere den nødvendige højde på stormflodssikringen af kysten.