

FEBRUAR 2019  
HEDENSTED KOMMUNE

# BJØRNSKNUDE

HYDRAULISK UNDERSØGELSE OG SKITSEPROJEKT



**COWI**



FEBRUAR 2019  
HEDENSTED KOMMUNE

# BJØRNSKNUDE

HYDRAULISK UNDERSØGELSE OG SKITSEPROJEKT

PROJEKTNR.

A119272

DOKUMENTNR.

001

VERSION

3.0

UDGIVELSESDATO

07-02-2019

BESKRIVELSE

-

UDARBEJDET

HSV

KONTROLLERET

OJJ

GODKENDT

THGI



# INDHOLD

1	Indledning	7
2	Besigtigelse af nuværende forhold	9
2.1	Østlige kyst ved Bjørnsknude	10
2.2	Spidsen ved Bjørnsknude	14
2.3	Høfden ved Bjørnsknude	17
2.4	Sydvestlige kyst ved Bjørnsknude	18
3	Hydrografiske forhold	20
3.1	Vind	20
3.2	Vandstand	21
3.3	Bølger	25
4	Kystteknisk analyse	33
4.1	Historisk kystudvikling	33
4.2	Kystens ligevægtsorientering	36
5	Skitseforslag	38
5.1	Geologisk grundkort	38
5.2	Skitseforslag – gangstisløsning	39
5.3	Skitseforslag – strandløsning	41
5.4	Forslag fra VG Entreprenør	43
5.5	Gangsti som boardwalk-løsning	44
6	Anlægsoverslag	46
6.1	Anlægsoverslag – gangstisløsning	46
6.2	Anlægsoverslag – strandløsning	47
6.3	Anlægsoverslag - forslag fra VG Entreprenør	48
6.4	Anlægsoverslag – boardwalk	49

7	Anbefaling	50
8	Referencer	52

## BILAG

Bilag A	Bølgeroser	53
Bilag B	Scatter plots	56
Bilag C	Kystprofiler på landsiden	68
Bilag D	Kystprofiler på vandsiden	70
Bilag E	Overskridelsessandsynlighed	71

# 1 Indledning

Hedensted Kommune har d. 13. november 2018 indgået rådgiveraftale med COWI vedrørende hydraulisk undersøgelse og skitseprojekt for etablering af adgang på kysten rundt om Bjørnsknude, da der på denne del af kyststrækningen som oftest ikke er sandstrand, se Figur 1-1. Det ses af Figur 1-2, at en passage på ydersiden af den eksisterende stenskråning potentielt vil blive etableret på privat grund, hvilket der i så fald vil skulle indhentes tilladelse til.



*Figur 1-1 Der ønskes adgang/passage rundt om Bjørnsknude fra Bjørnsknudevej som skitseret på luftfotoet.*



Figur 1-2 Matrikelkort ved Bjørnsknude.

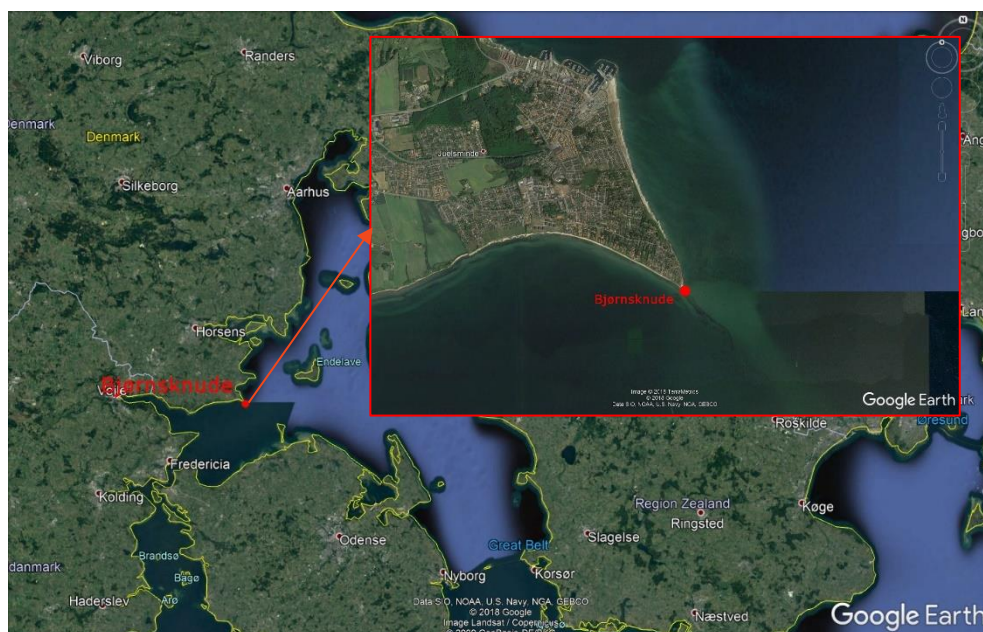
Opgaven omfatter en besigtigelse af kysten rundt om Bjørnsknude sammen med Hedensted Kommune for dokumentation af nuværende forhold, samt drøftelse af krav og ideer til mulige løsninger. Besigtigelsen blev foretaget d. 11. december 2018. Hedensted Kommune ønsker en løsning med en adgang langs stenskråningen; og desuden ønskes belyst en mere rekreativ løsning hvor adgangen er en del af en strandløsning. På baggrund af disse oplysninger og besigtigelsen udføres en hydraulisk og kystteknisk vurdering, hvor der er vurderes vind, vandstand og bølgeforhold på stedet, samt en vurdering af kystens udvikling igennem årene.

Dernæst udarbejdes skitseforslag til forskellige adgangsmuligheder rundt om knuden. Disse skitseforslag udarbejdes med udgangspunkt i en stormhændelse med en returperiode på 50 år og en levetid på 50 år, hvilket anbefales for sådanne typer af anlæg.

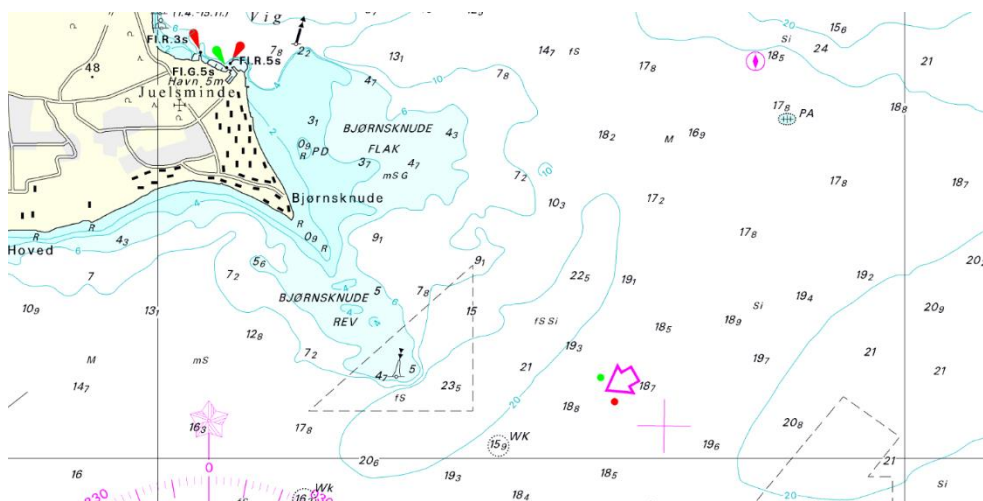


## 2 Besigtigelse af nuværende forhold

Bjørnsknude udgør spidsen af det nordøstligste punkt ved munden til Vejle Fjord umiddelbart syd for Juelsminde, se Figur 2-1. Landsiden af kysten er relativt lav, op til mellem +2,0 til +2,5 m DVR90, og primært bestående af sand. Ud for Bjørnsknude danner kysten en revle med meget lavt vand i forlængelse af selve spidsen mod sydøst. Området især øst for Bjørnsknude er også lavvandet, se Figur 2-2.



Figur 2-1 Kysten ved Bjørnsknude. Kort: ©Google Earth.



Figur 2-2 Søkort ud for Bjørnsknude. Kort: ©Geodatastyrelsen 2015.

I det følgende beskrives forholdene langs kysten ved Bjørnsknude ved besigtigelsen d. 11. december 2018. Ved besigtigelsen var der knap 70 cm højvande, se Figur 2-3.



[Hent målinger som CSV](#)

Den gyldne linje angiver en beregnet værdi for en 20 års hændelse. Se [Kystdirektoratet Højvandsstatistik](#)

Alle klokkeslæt er i dansk tid, dvs. henholdsvis normal- og sommertid.

Vandstanden måles i forhold til det danske højdesystem, Dansk Vertikal Reference 1990 (DVR90).

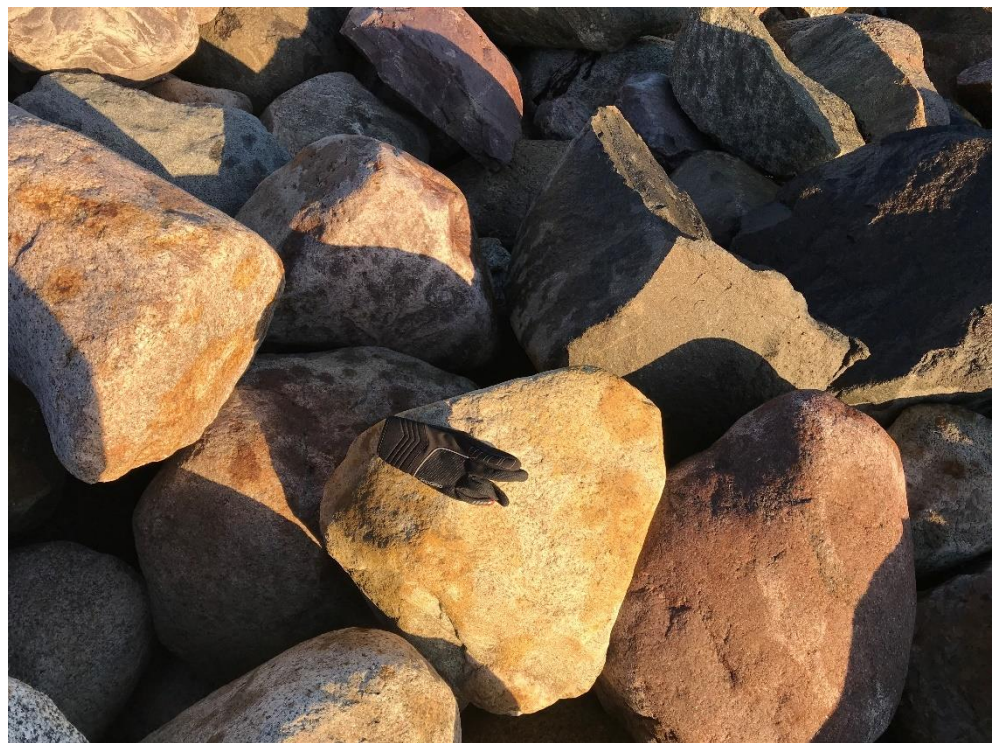
Figur 2-3 Vandstandsmålinger og prognose fra DMI, d. 11. december-2018.

## 2.1 Østlige kyst ved Bjørnsknude

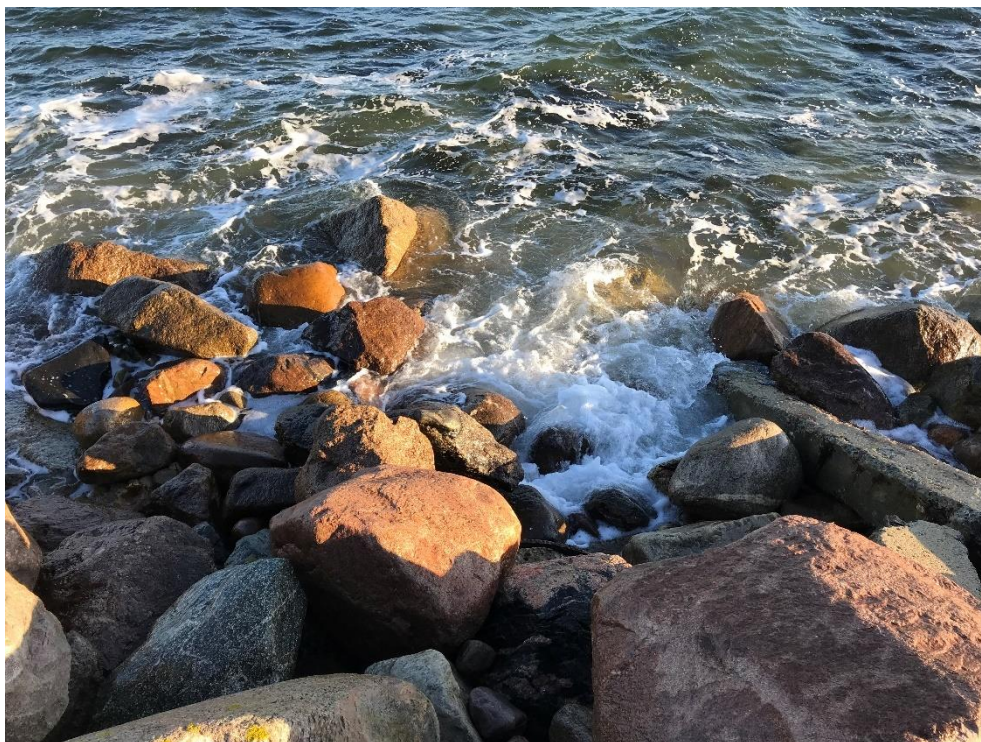
På Figur 2-4 til Figur 2-10 ses den østlige kyst ved Bjørnsknude. Kysten er beskyttet med en stenskråning uden strand foran. Stenene varierer meget i størrelse, fra 10-20 kg til enkelte over ½ ton.



Figur 2-4 Eksisterende stenskråning ved Bjørnsknudevej, mod nord.



Figur 2-5 Zoom af dækstenene i den eksisterende stenskråning ved Bjørnsknudevej.



Figur 2-6 *Dæksten fra stenskråningen i vandet for foden af skråningen. Disse sten er sandsynligvis faldet ned i forbindelse med en storm. Stenskråningen er her noget stejlere end de øvrige steder.*



Figur 2-7 *Eksisterende stenskråning på østkysten lige umiddelbart nord for spidsen, mod nord.*



*Figur 2-8 Eksisterende stenskråning på østkysten lige umiddelbart nord for spidsen, mod syd.*



*Figur 2-9 Sydøstlige del af Bjørnsknude. Her er stenene mindre og stenskråningen meget lille. Vanddybden foran kysten på dette sted er meget begrænset.*



Figur 2-10 *Spidsen ved Bjørnsknude set mod syd, hvor også den meget lavvandede revle anes.*

## 2.2 Spidsen ved Bjørnsknude

Figur 2-11 til Figur 2-14 viser kysten helt ude på spidsen af knuden. Her ses en sand- og ralsstrand foran den lave kyst samt sandrevlen, der danner spidsen mod havet.



*Figur 2-11 Kysten rundt om spidsen af Bjørnsknude er lav og uden stenbeskyttelse. Stranden består af sand og ral. Stenskråningen på den østlige kyst ses her mod nord.*



*Figur 2-12 Ral og sand på det yderste af Bjørnsknudes spids. Bølgerne antyder sandrevlen foran.*



*Figur 2-13 Revlen ud for spidsen med små brydende bølger på det lave vand. Revlen minder om revlen i andre dele af de indre danske farvande som ved Sjællands Odde og Grenen ved Skagen, dog i mindre format.*





Figur 2-14 Spidsen af Bjørnsknude med lille sandstrand, set mod vest.

## 2.3 Høfden ved Bjørnsknude

Der er ved spidsen etableret en stenhøfde der ses på Figur 2-15 og Figur 2-16.



Figur 2-15 Umiddelbart vest for spidsen er etableret en kort lav stenhøfde. Denne holder delvist på sandet der transporteres langs kysten på dette sted.



Figur 2-16 Stenhøfden set mod syd.

## 2.4 Sydvestlige kyst ved Bjørnsknude

Den sydvestlige kyst ved Bjørnsknude er vist på Figur 2-17 og Figur 2-18. Denne kyststrækning er ikke omfattet af nærværende studie og er derfor ikke behandlet yderligere i rapporten.



Figur 2-17 På den sydvendte kyst vest for Bjørnsknude er der sand- og ralstrand på det første stykke, set mod vest.



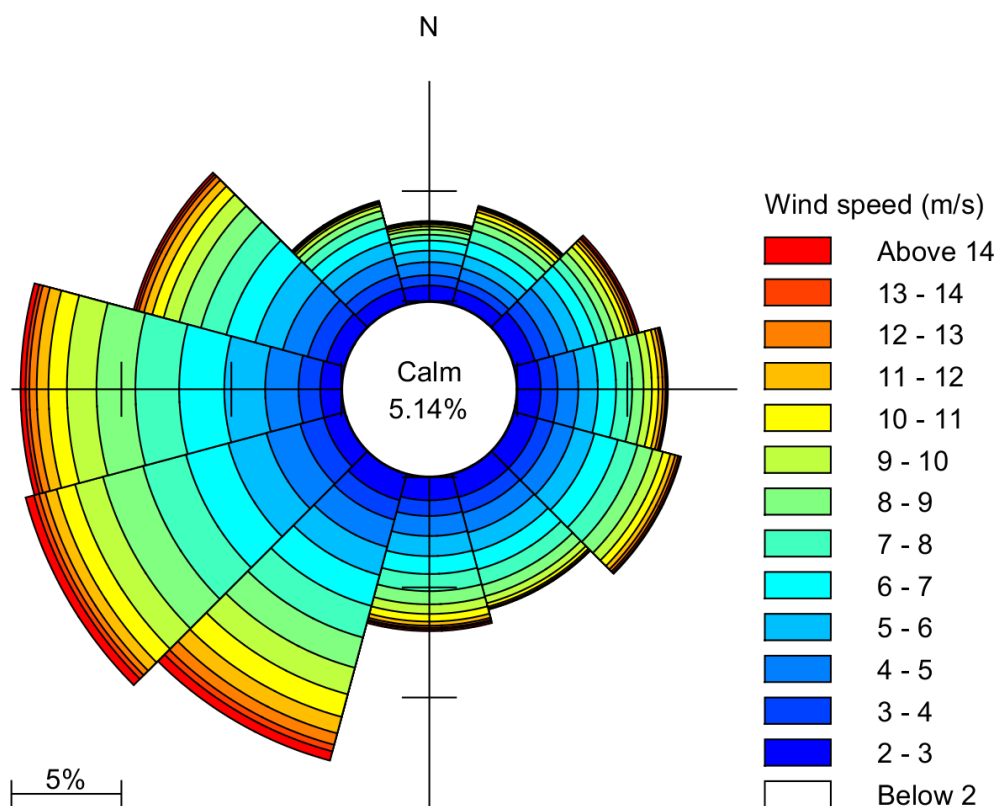
*Figur 2-18 Kysten er de fleste steder beskyttet med stenskråninger, dog ikke på den sydvendte kyst helt ude på spidsen, hvor der ses sand- og ralstrand.*

### 3 Hydrografiske forhold

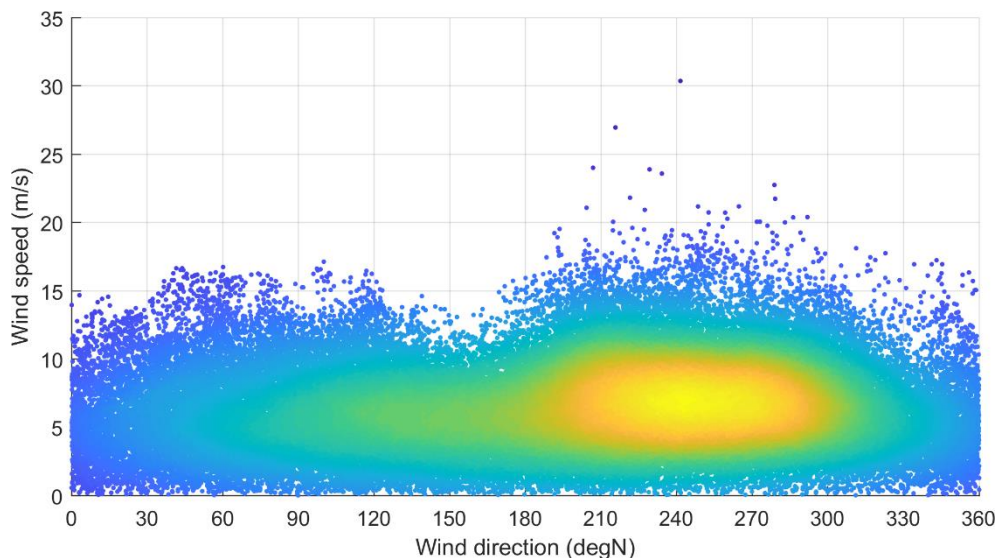
I det følgende er de hydrografiske forhold ved Bjørnsknude belyst og projekteringsparametre bestemt.

#### 3.1 Vind

Figur 3-1 og Figur 3-2 viser en vindrose henholdsvis et scatter plot af vinden ved Bjørnsknude fra modeldata fra 2003-2013. Det ses, at de dominerende vindretninger fra vestlige og sydvestlige retninger, både i frekvens og styrke. Der ses dog også vind fra østlige og sydøstlige retninger, der dog ikke forekommer så ofte, og som er svagere end fra vestlige retninger.



Figur 3-1 Vindrose i Kattegat ved Bjørnsknude, 2003-2013.



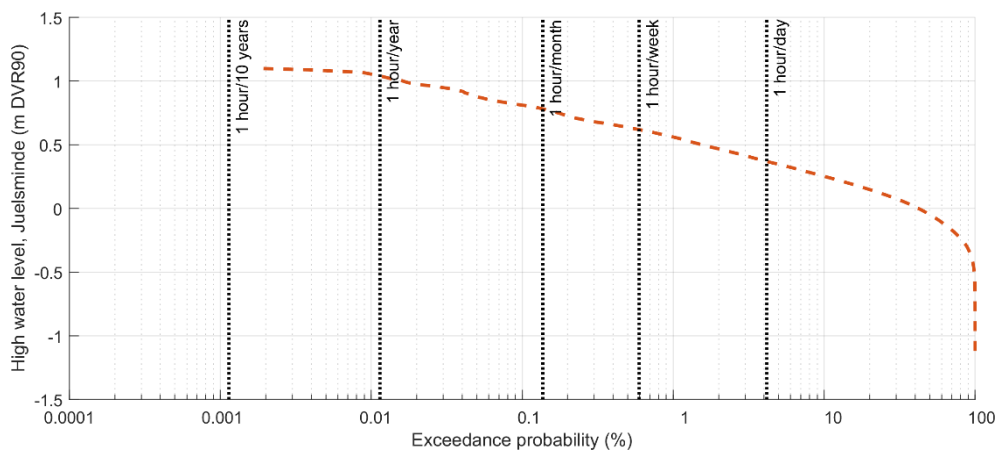
Figur 3-2 Scatter plot af vindhastighed mod vindretning for vind ved Bjørnsknude, 2003-2013.

## 3.2 Vandstand

### 3.2.1 Normale vandstande

Det astronomiske tidevand ved Bjørnsknude er meget begrænset, og vandstanden her er således primært bestemt af meteorologiske forhold.

Baseret på vandstandsmålinger fra Juelsminde Havn fra 1996-2018 er vandstandsvariationen analyseret. Figur 3-3 viser vandstandsstatistikken i form af overskridelsessandsynligheder for de vandstandene i Juelsminde, der er repræsentativ for vandstandene ud for Bjørnsknude. Ud fra denne statistik er udvalgte overskridelsessandsynligheder vist i Tabel 3-1.



Figur 3-3 Overskridelsessandsynlighed for vandstand ved Juelsminde.

Tabel 3-1 Overskridelsessandsynlighed for normalt højvandstande (i m DVR90) ved Juelsminde.

Placering	1 t/10 år	1 t/ år	12 t /år ~ 1 t/måned
Juelsminde	1,1	1,0	0,75

### 3.2.2 Ekstreme vandstande

Kystdirektoratet har i ref. /1/ analyseret de maksimale vandstande i en række danske havne på baggrund af historiske vandstandsmålinger. I Juelsminde (der er den DMI vandstandsstation, der ligger nærmest Bjørnsknude) er de ekstreme vandstande i ref. /1/ bestemt til værdierne vist i Tabel 3-2. I Tabel 3-3 vises de højeste registrerede vandstande i måleperioden, der er fra 1996 til 2017, se ref. /1/.

Tabel 3-2 Ekstrem vandstand (i m DVR 9) fra Juelsminde, ref. /1/.

Hændelse [år]	20	50	100
Vandstand [cm]	149	157	162

Stationsnummer: DMI 23132  
 Måleperiode: 07.12.1996 - 01.03.2017  
 Datalængden: 19,1 år

Tabel 3-3 Højeste målte vandstand (i m DVR90) fra Juelsminde, ref. /1/.

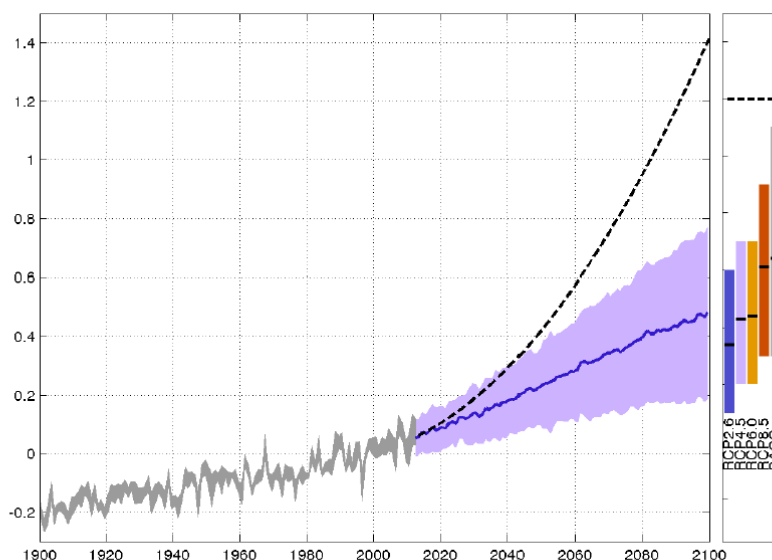
**Højeste registrerede vandstande i cm [trendfri]**

1. november 2006	159	27. december 2016	118	6. januar 2012	112	23. november 2004	105
6. december 2013	150	19. januar 2007	115	6. december 2003	110	4. december 1999	104
9. november 2007	136	26. november 2007	115	22. oktober 2014	108	28. november 2011	103
2. marts 2008	136	30. januar 2000	115	10. december 2011	107	6. februar 1999	102
12. januar 2007	121	4. januar 2017	113	22. november 2015	106	7. december 2015	101

### 3.2.3 Global havspejlsstigning

Ved fastlæggelse af projekteringsvandstanden, skal der tages højde for den forventede havspejlsstigning som følge af global opvarmning inden for projektets levetid.

Figur 3-4 og Tabel 3-4 viser den seneste fremskrivning af den globale havspejlsstigning baseret på IPCCs rapport fra 2013, ref. /2/. De forskellige scenarier refererer til forskellige forudsætninger vedrørende fremtidig udledning af CO<sub>2</sub> og temperaturstigning.



Figur 9: Den absolutte middelvandstand ved Danmark i meter for årene 1900-2100. Den grå skygge for år 1900-2012 viser den observerede årlige middelvandstand ved danske vandstandsmålere, korrigeret for landhævning. Den blå streg for år 2012-2100 viser IPCC's bedste estimat af middelvandstanden i Nordsøen for RCP4.5 scenariet, og skyggen angiver usikkerheden for dette scenarie. Den stiplede linje angiver DMI's estimat af en øvre grænse for vandstandsstigninger til brug for usikkerhedsberegninger. I højre side af figuren vises middelværdi og usikkerheder for de fire IPCC scenarier samt for BACC's vurdering af A1B scenariet for perioden 2081-2100. Den stiplede linje viser DMI's øvre bud for denne periode.

Figur 3-4 Graf der viser beregnet eustatisk havspejlsstigning for Danmark, ref. /2/.

Tabel 3-4 Tabel der viser beregnet eustatisk havspejlsstigning for Danmark, ref. /2/.

Ændringer i middelvandstand [meter]	Globalt middel	Danmark	Kilde
RCP2.6	0,40 (0,26 – 0,54)	0,34 (0,1 – 0,6)	IPCC AR5
RCP4.5	0,47 (0,32 – 0,62)	0,43 (0,2 – 0,7)	IPCC AR5
RCP6.0	0,47 (0,33 – 0,62)	0,44 (0,2 – 0,7)	IPCC AR5
RCP8.5	0,62 (0,45 – 0,81)	0,61 (0,3 – 0,9)	IPCC AR5
A1B	0,52 (0,36 – 0,69)	-	IPCC AR5
A1B – BACC	-	0,64 (0,3 – 1,1)	BACC2 (2014, in press)
DMI's øvre bud	-	1,2	DMI

Tabel 6: Absolut middelvandstandsstigning globalt og for Danmark, 1986-2005 til 2081-2100 [m]. DMI's øvre bud er til brug for usikkerhedsestimater. Kilde: AR5, BACC og DMI.

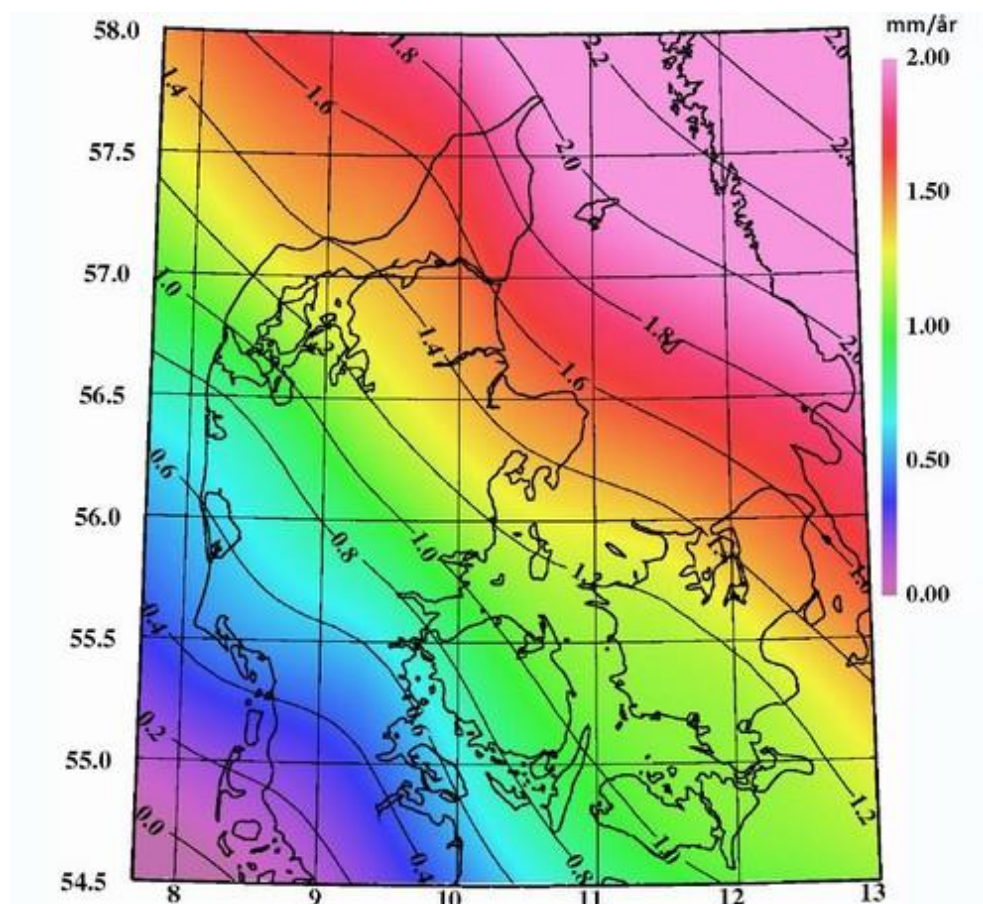
Om 50 år forventes middelvandstanden at være steget med +34 cm for et midtscenarie (RCP4.5) i forhold til middelvandstanden i 1990 (DVR90). DMI vurderer, at den øvre grænse for havspejlsstigningen er +1,2 m frem mod år 2100. Dette er dog noget over forudsigelserne for IPCCs estimat, jævnfør Tabel 3-4. Figur 3-4 og Tabel 3-4 viser, at der er stor usikkerhed på estimaterne og dermed størrelsen af den globale havspejlsstigning i fremtiden. Havspejlet forventes at stige yderligere efter år 2100.

### 3.2.4 Isostatisk landhævning

Ud over den eustatiske havspejlsstigning har isostatisk landbevægelser også betydning for fremtidens vandstand ved Bjørnsknude.

Figur 3-5 viser et kort med den seneste opgørelse af de relative landændringer i Danmark. Generelt sker der en relativ landhævning i Danmark, som ud fra figuren vurderes at være i størrelsesordenen 0.9 mm/år ved Bjørnsknude.

Dette betyder, at den relative landhævning om 50 år er ca. +4,5 cm i forhold til DVR90. Til sammenligning har der siden 1990 været en landhævning på ca. +2,3 cm indtil 2016.



Figur 3-5 Isostatisk landhævning i Danmark. Nøjagtighed 0,2 mm/år, ref. /3/.

### 3.2.5 Dimensionsgivende vandstand på dybt vand

På baggrund af de statistiske ekstremvandstande, den generelle havspejlsstigning og landhævning beregnes projekteringsvandstanden på dybt vand for en 50 års stormhændelse, som indtræffer om 50 år, se Tabel 3-5.



Tabel 3-5 Dimensionsgivende vandstand.

Dimensionsgivende vandstand på dybt vand	12 t /år ~ 1 t/måned (2069)	50 år vandstand (2069)
Ekstrem vandstand [m DVR90]	0,75	+1,57
Global havspejlsstigning [m]	+0,34	+0,34
Landhævning [m]	-0.045	-0.045
Dimensionsgivende vandstand [m DVR90]	+1,05	+1,9

### 3.2.6 Dimensionsgivende vandstand på lavt vand

Bølgestuvningen helt inde ved strandlinjen, som følge af bølgebrydning, er normalt i størrelsesordenen 10 % af den signifikante bølgehøjde på dybt vand, hvilket skal medregnes i forbindelse med bestemmelse af den dimensionsgivende vandstand for ekstremhændelser. Derudover er der et mindre bidrag fra vindstuvning på lavt vand inde ved kysten, også ved ekstremhændelser.

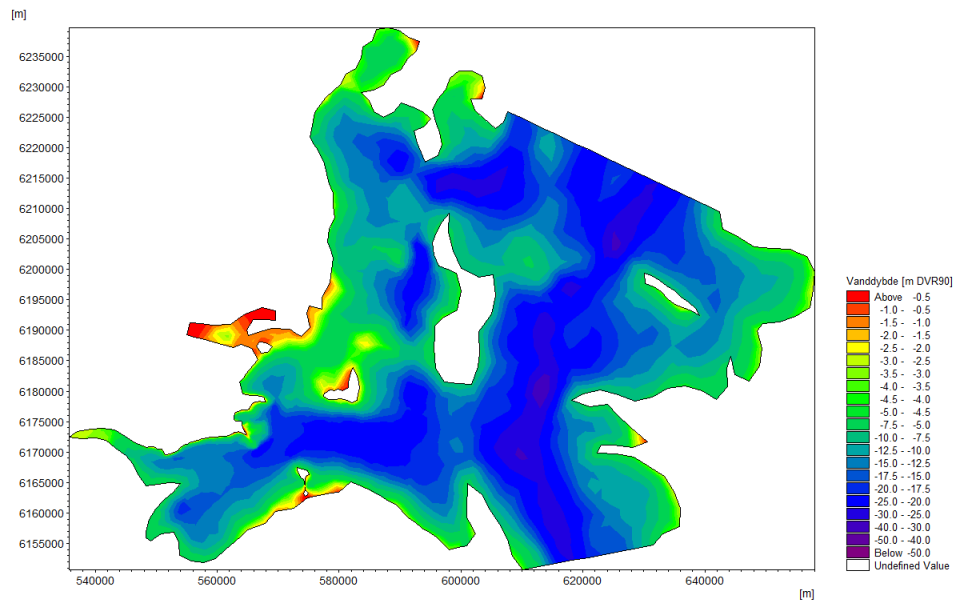
Det accepteres af Kommunen, at der er situationer, hvor der ikke er adgang rundt om Bjørnsknude på grund af højvande og/eller bølger. Det vurderes rimeligt, at der i ca. 12 timer om året i gennemsnit ikke er adgang for så vidt angår vandstanden. Dette svarer i dag til +0,75 m DVR90, se Tabel 3-1, og med tillæg på 30 cm for havspejlsstigning om 50 år en vandstand på +1,05 m DVR90. Derfor anbefales det, at adgangen/passagen anlægges i en kote på over +1,1 m DVR90. Vælges en kote på adgangen på +1,3 m DVR90 vil en højvandssituation med en hændelse på 12 timer om året være grænsen for adgang. Hvis der en endnu sjældnere gang er lettere forhøjet vandstand og samtidige bølger vil adgangen være begrænset. Sådanne situationer er dog estimeret til af forekomme mindre end en dag om måneden ved en adgang i kote +1,3 m DVR90.

## 3.3 Bølger

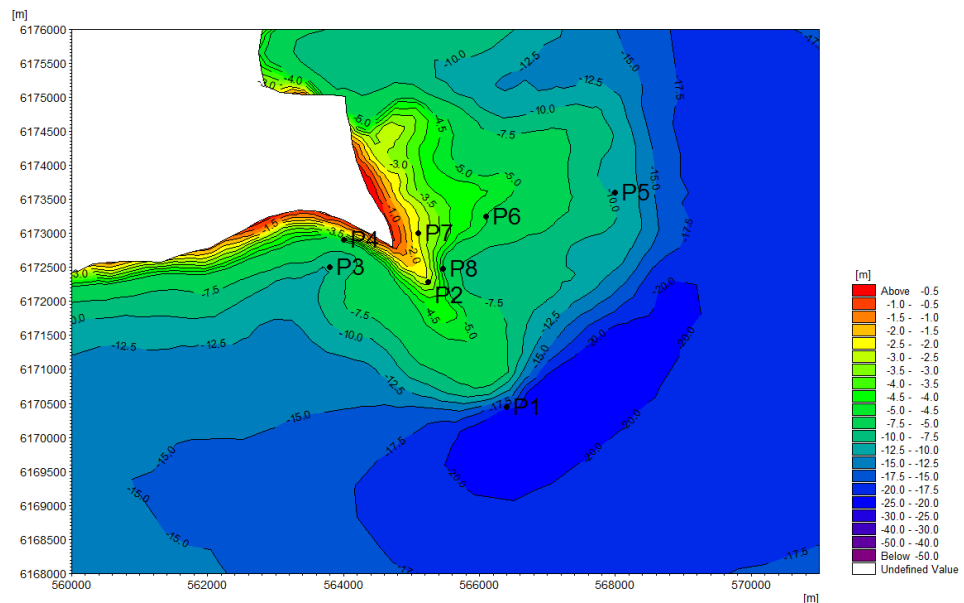
### 3.3.1 Generelt bølgeklime

Til vurdering af bølgeklime ved Bjørnsknude er der anvendt en bølgemodel, der dækker Kattegat ned til Fredericia, se Figur 3-6. Bølgemodellen dækker perioden 2003-2013 og er kørt med varierende vindfelt dækkende hele modelområdet, samt varierende vandstand baseret på vandstandsmålinger fra Aarhus Havn, som ved sammenligning svarer fint med vandstanden i Juelsminde Havn. Ved brug af denne bølgemodel, er der udtrukket bølgedata i 8 punkter ved Bjørnsknude. Tidsserierne fra disse punkter strækker sig fra 2003 til 2013. Udtrækspunkterne fremgår af Figur 3-7. I det følgende, se Figur 3-10 til Figur 3-13, er resultaterne fra punkterne P6 og P8 på ca. 5 m vanddybde vist, da disse repræsenterer forholdene ved den for dette projekt relevante kyststrækning. Øvrige resultater er vist i Bilag A (bølgeroser) og i Bilag B (scatter plots, der viser modelleret sammenhæng mellem bl.a. bølgeparameter og

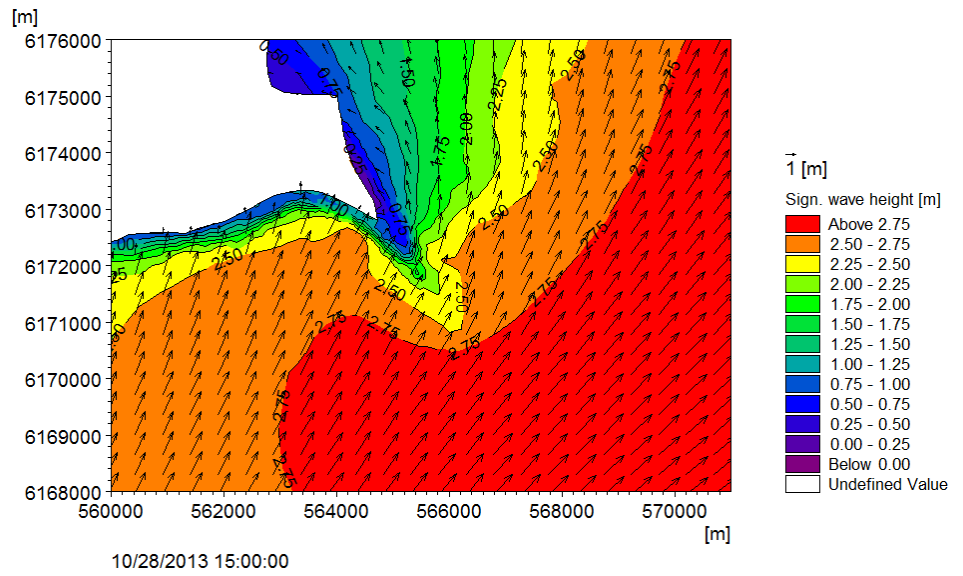
vandstande). Det ses, modsat for vinden, at de største bølger kommer fra østlige retninger og at bølgerne generelt oftest kommer herfra. Dette skyldes, at punkterne ligger delvist i læ af Bjørnsknude, dvs. kyststrækningen der undersøges, er ikke ligeså udsat for bølger som vestvendte kyster da vind og dermed bølger er sjældnere herfra. Modellen viser også hvordan en storm fra sydsydvest (SSV ~ ca. 215 °N) henholdsvis østnordøst (ØNØ ~ ca. 62 °N), med en time-midlet vindhastighed på ca. 25 m/s henholdsvis 15 m/s, forplanter sig lokalt omkring Bjørnsknude, som vist på Figur 3-8 henholdsvis Figur 3-9.



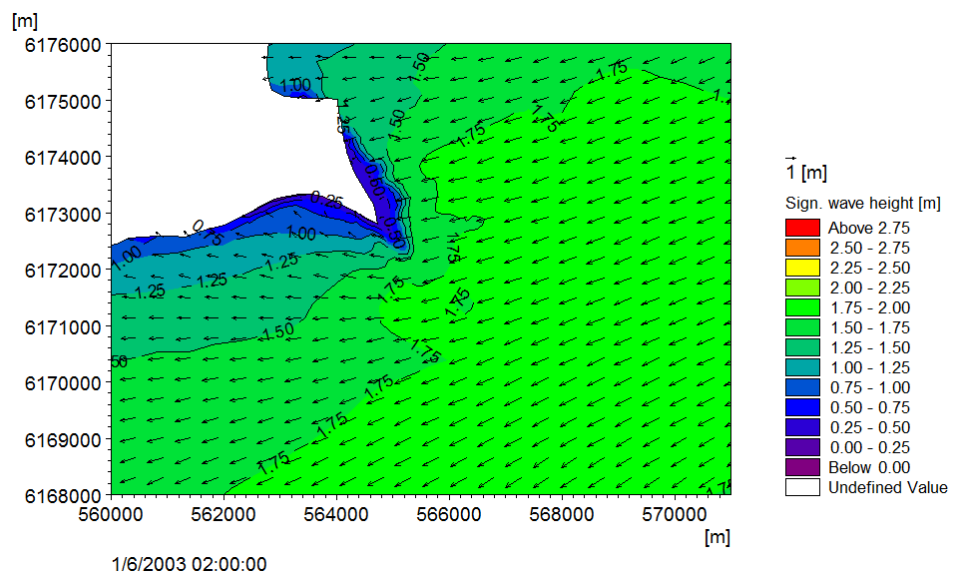
Figur 3-6 Område modelleret i bølgemodellen.



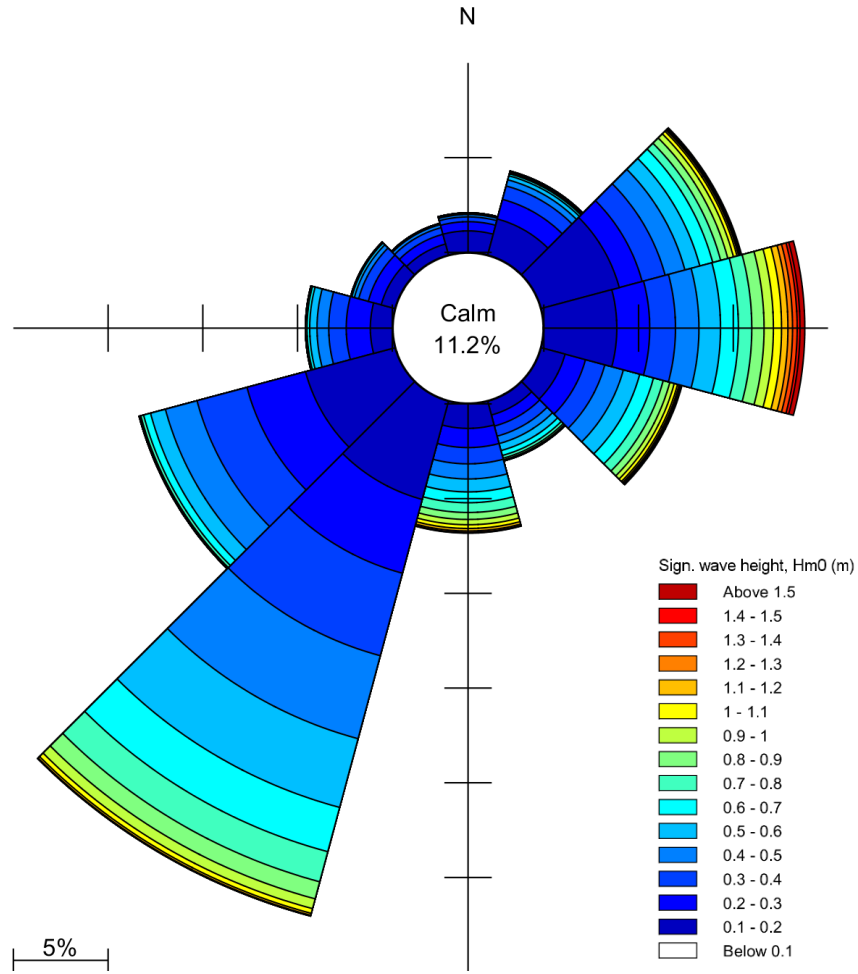
Figur 3-7 Bathymetri (havbunds niveau i m DVR90) ved Bjørnsknude som anvendt i bølgemodellen. Bølgeinformationen er udtaget i punkterne P1-P8.



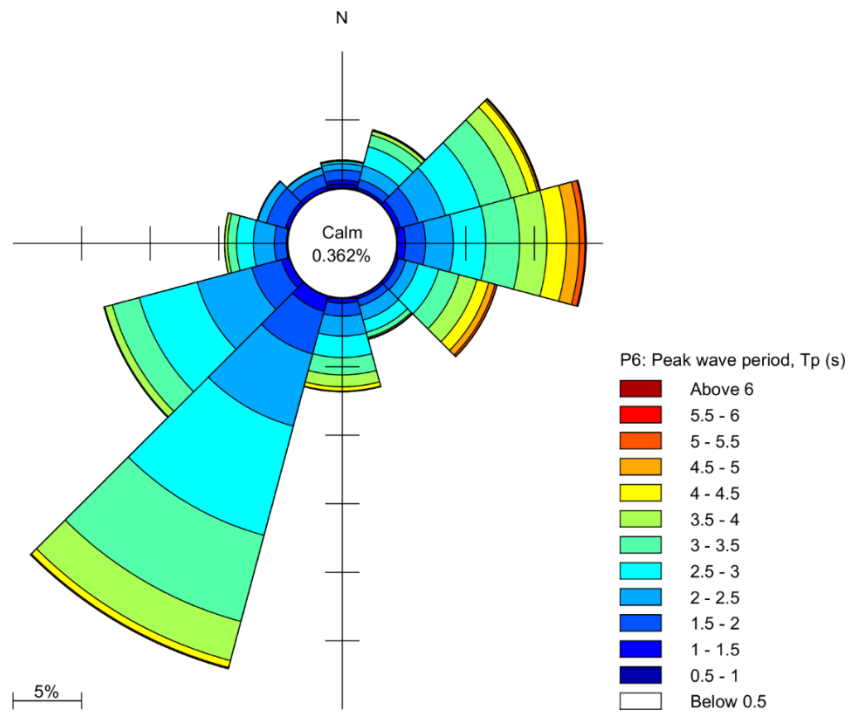
Figur 3-8 Signifikant bølgehøjde ved Bjørnsknude, ved storm fra sydsydvest, med en vindhastighed på 25 m/s.



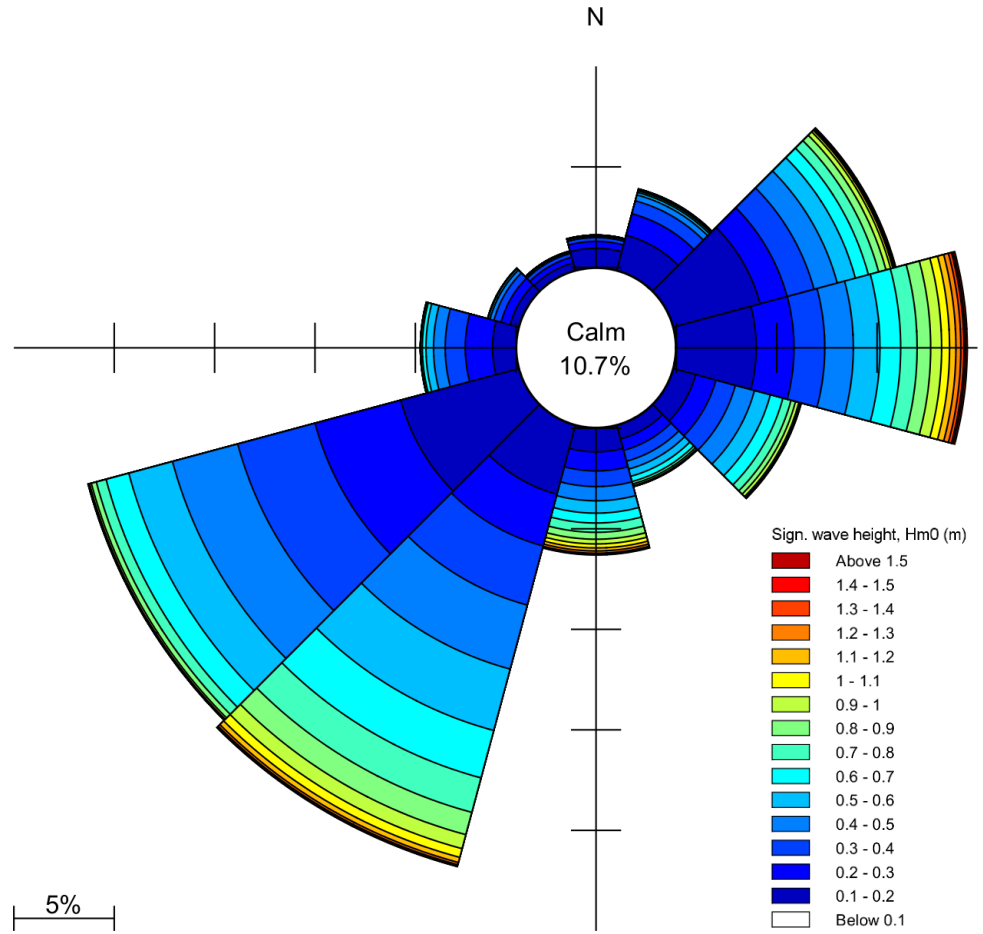
Figur 3-9 Signifikant bølgehøjde ved Bjørnsknude, ved storm fra østnordøst, med en vindhastighed på 15 m/s.



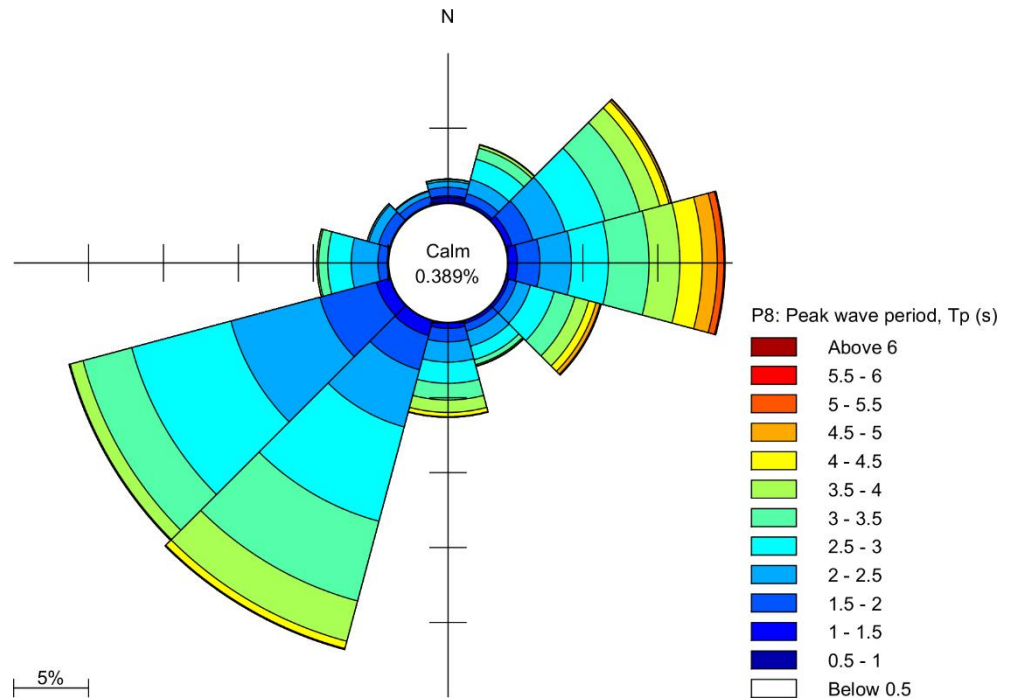
Figur 3-10 Signifikant bølgehøjde, i P6 (-5 m DVR90) ved Bjørnsknude, 2003-2013.



Figur 3-11 Peak bølgeperiode, i P6 (-5 m DVR90) ved Bjørnsknude, 2003-2013.



Figur 3-12 Signifikant bølgehøjde, i P8 (-5 m DVR90) ved Bjørnsknude, 2003-2013.

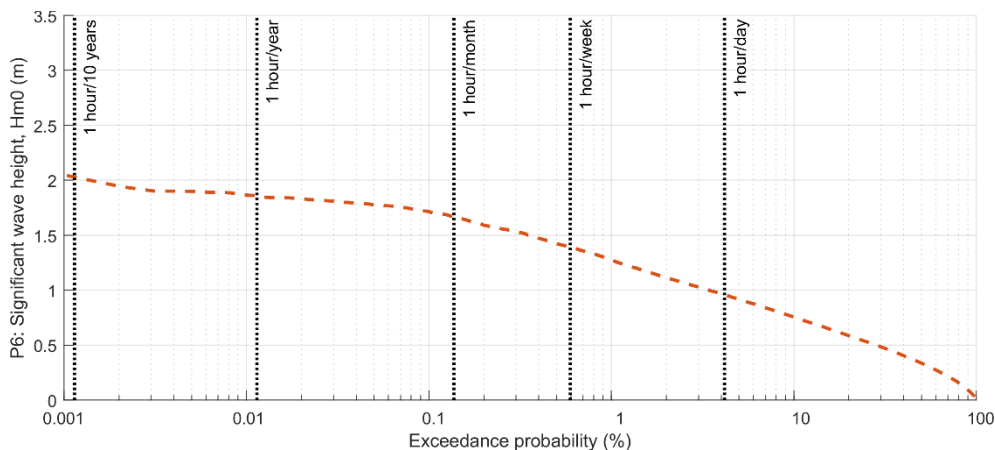


Figur 3-13 Peak bølgeperiode, i P8 (-5 m DVR90) ved Bjørnsknude, 2003-2013.

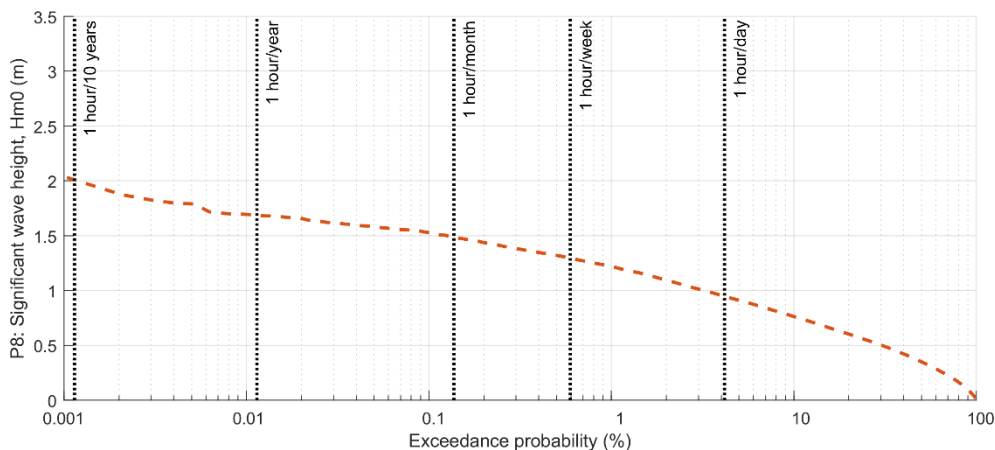
### 3.3.2 Ekstreme bølger

Figur 3-14 og Figur 3-15 viser bølgestatistikken i form af overskridelsessandsynligheder for de signifikante bølgehøjder ud for Bjørnsknude (P6 henholdsvis P8 – se Bilag E for øvrige punkter). Overskridelsessandsynlighederne er baseret på bølgemodellen med data for en 10-års periode, som beskrevet ovenfor.

De ekstreme signifikante bølgehøjder ved Bjørnsknude er fundet ud fra en ekstrem værdianalyse og angivet i Tabel 3-6 sammen med overskridelsessandsynlighederne vist på figurerne.



Figur 3-14 Overskridelsessandsynlighed for signifikante bølgehøjder ved P6 -5 m.



Figur 3-15 Overskridelsessandsynlighed for signifikante bølgehøjder ved P8 -5 m.

Tabel 3-6 Ekstreme signifikante bølgehøjder og overskridelsessandsynligheder ved Bjørnsknude på ca. 5 m vanddybde i P6 og P8.

Omni, punkt	50 års RP*	1 t/10 år	1 t/ år	12 t/år ~ 1 t/måned
P6 (-5 m)	2,3	2,0	1,9	1,7
P8 (-5 m)	2,6	2,0	1,7	1,5

\* RP: returperiode

### 3.3.3 Dimensionsgivende bølgehøjde ved kystlinjen

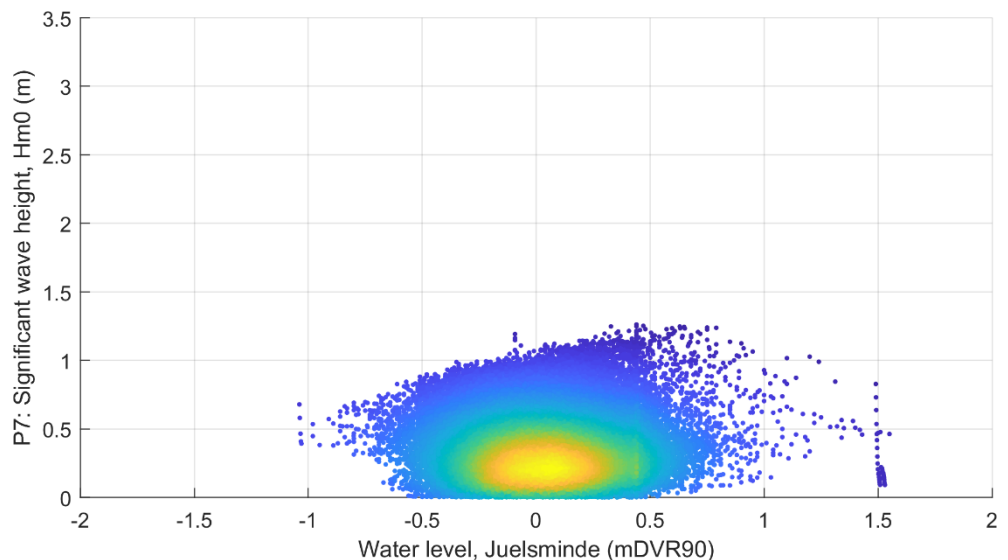
Bølgehøjden aftager ind mod kysten som følge af bølgebrydning på lavt vand, hvilket har betydning for dimensioneringen af konstruktionerne langs kysten.

For at kunne bestemme dimensionsgivende bølgehøjde på lavt vand er der foretaget en transformation af bølgehøjden fra dybt vand (5 m vanddybde) til lavt vand med Goda's formel, ref. /4/.

Ud fra søkort, som også gengivet i bathymetrien anvendt i bølgemodellen, ses at bundens hældning ud for stranden er meget svag, mellem 1:60 til 1:700, se Bilag D. Dybtvandsbølgerne fra østlige retninger i P8 benyttes til denne transformation, da disse er vurderet til at være dimensionsgivende for konstruktionerne ved Bjørnsknude, se Tabel 3-6.

Figur 3-16 viser scatter plot af vandstand mod signifikant bølgehøjde i P7, der ligger tættest på Bjørnsknude på lavt vand. Heraf ses, at der ikke er en sammenhæng mellem højeste bølger og højeste vandstande. Dette er forventeligt, da de højeste bølger forekommer i situationer med kraftig vind fra øst og højeste vandstande forekommer normalt ikke ved vind fra disse retninger. Det ses af figuren, at de højeste bølger forekommer for vandstande på lige under +1 m DVR90, og med tillæg for fremtidig havspejlsstigning om 50 år forventes maksimale bølger at forekomme for vandstande på omkring +1,25 m DVR90 om 50 år.

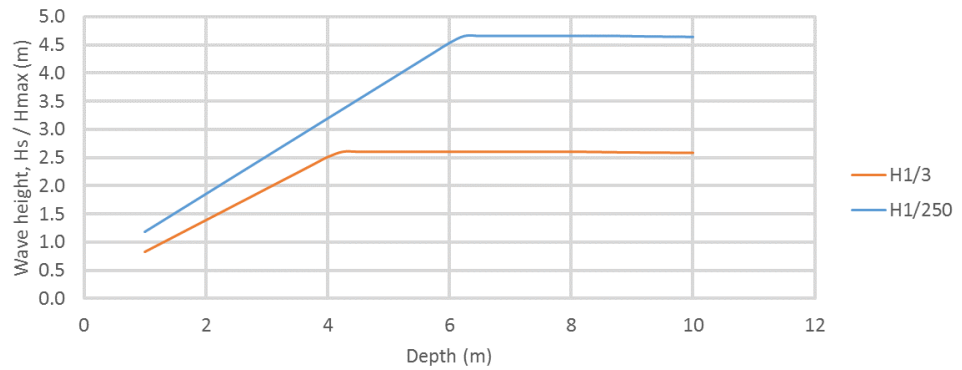
Vanddybden ved stenskråningen er estimeret til ca. 0,25-0,5 m. Således vil de signifikante bølger for en 50 års hændelse ved vandstande på +1,25 m DVR90 være ca. 1,3 m ved stenskråningen og 1,5 m ca. 30 m fra kysten (hvor vanddybden er vurderet til ca. 1 m), se Figur 3-17.



Figur 3-16 Scatter plot, vandstand mod signifikant bølgehøjde, P7 tættest på kysten ved Bjørnsknude på ca. 2,5 m vanddybde.

Figur 3-17 viser variationen af den dimensionsgivende bølgehøjde ind over kystprofilen for en hændelse med en returperiode på 50 år ved Bjørnsknude som

funktion af vanddybden i henhold til Goda's formel. Ud for den eksisterende stenskråning ved Bjørnsknude vurderes på baggrund af søkort en vanddybde på 0,25 – 0,5 m og i en afstand af kysten på omtrent 30 m en vanddybde på 1 m. Således vil de signifikante bølger ved en vandstand på +1,25 m DVR90 være ca. 1,3 m ved stenskråningen og 1,5 m ca. 30 m fra kysten.



Figur 3-17 *Bølgehøjde ( $H_{1/3}$  henholdsvis  $H_{1/250}$ ) på lavt vand ved Bjørnsknude som funktion af vanddybde under en storm med en returperiode på 50 år i P8. Bestemt ved hjælp af Goda's formel, ref. /4/.  $H_{1/3}$  svarer til den signifikante bølgehøjde, og  $H_{1/250}$  svarer til den maksimale bølgehøjde.*



## 4 Kystteknisk analyse

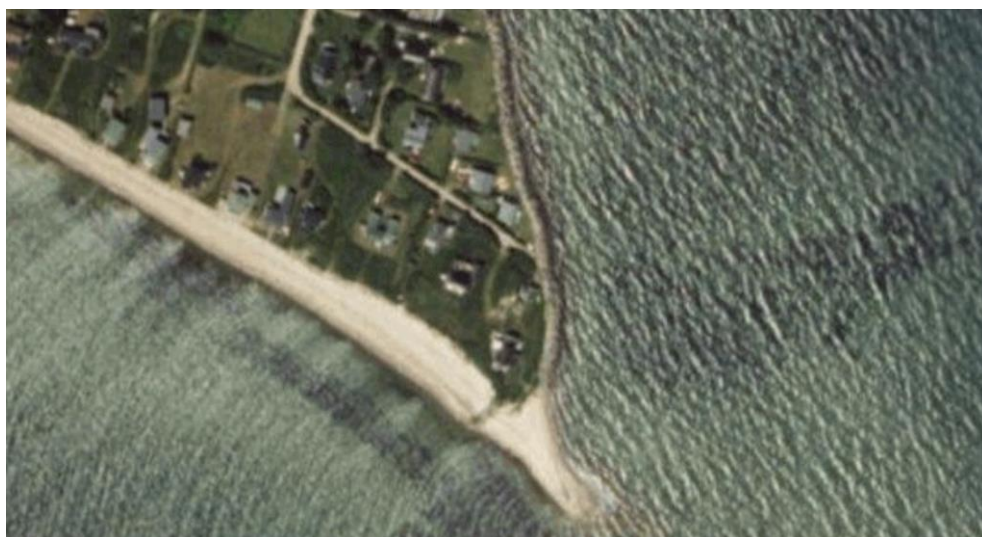
### 4.1 Historisk kystudvikling

I det følgende (se Figur 4-1 til Figur 4-8) er flyfotos af Bjørnsknude fra 1954 til 2017 vist. Af disse ses, hvordan kysten har udviklet sig gennem tiden, og hvilke konstruktioner der er blevet anlagt.

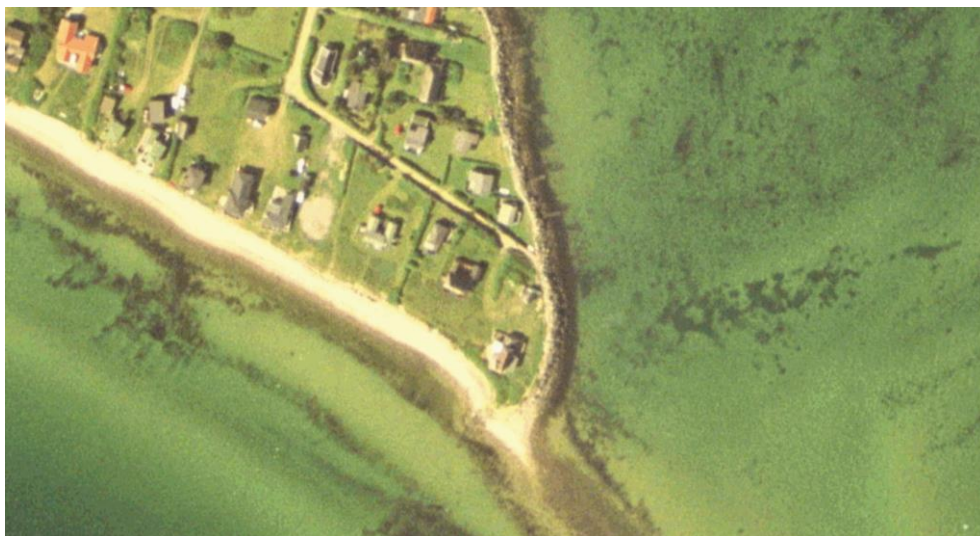
På Figur 4-9 og Figur 4-10 ses kystlinjeudviklingen over årene ved Bjørnsknude henholdsvis i et zoom. Overordnet set, er der sket meget lidt i hele perioden i umiddelbar nærhed af spidsen. Dette skyldes sandsynligvis den eksisterende kystbeskyttelse på strækningen, både i form af stenskråninger og høfder, der alle er etableret for mange år siden, et sted mellem 1954 og 1995. Der ses en lille tilbagerykning af kysten fra 1954 til 1995, der antyder en (omend lille) erosion hvis der ikke var kystbeskyttelse.



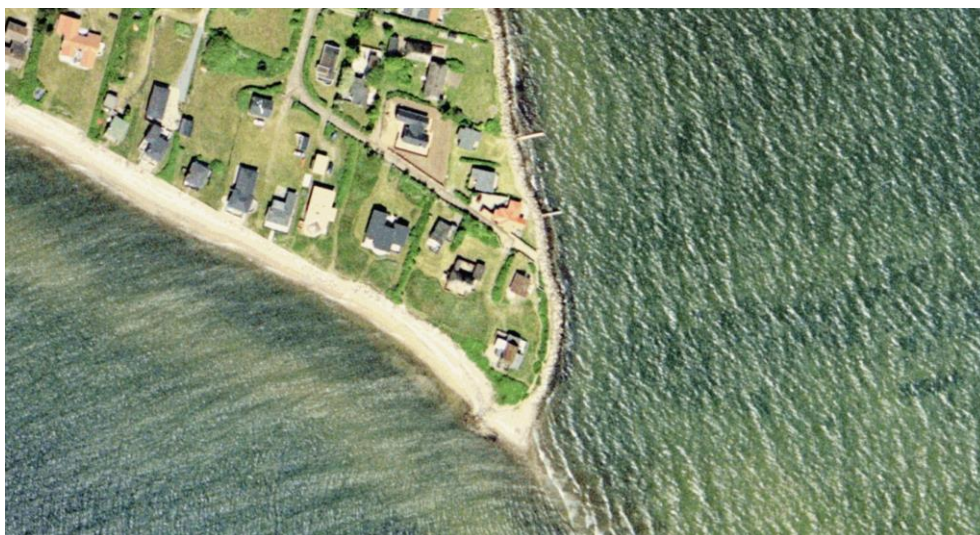
Figur 4-1 Flyfoto fra 1954. ©COWI A/S.



Figur 4-2 Flyfoto fra 1995. ©COWI A/S.



Figur 4-3 Flyfoto fra 1999. ©COWI A/S.



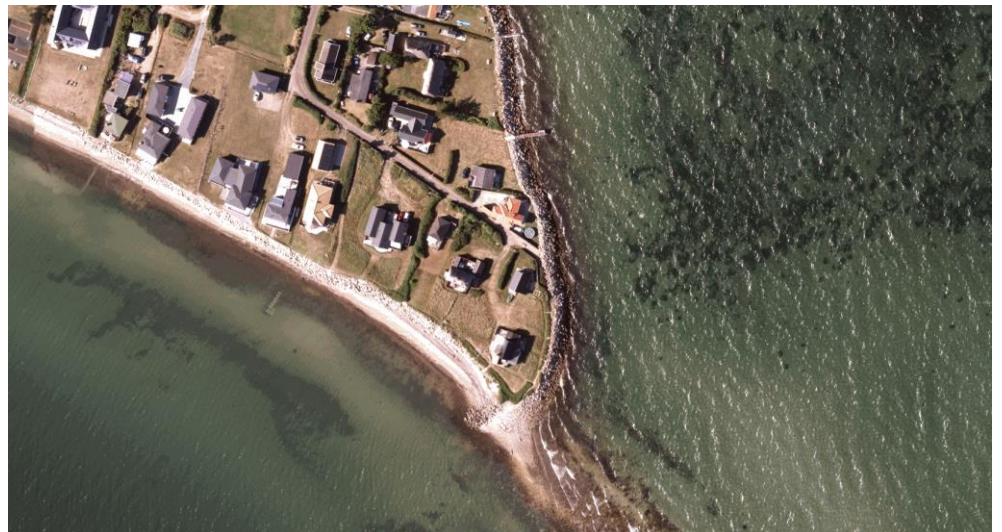
Figur 4-4 Flyfoto fra 2004. ©COWI A/S.



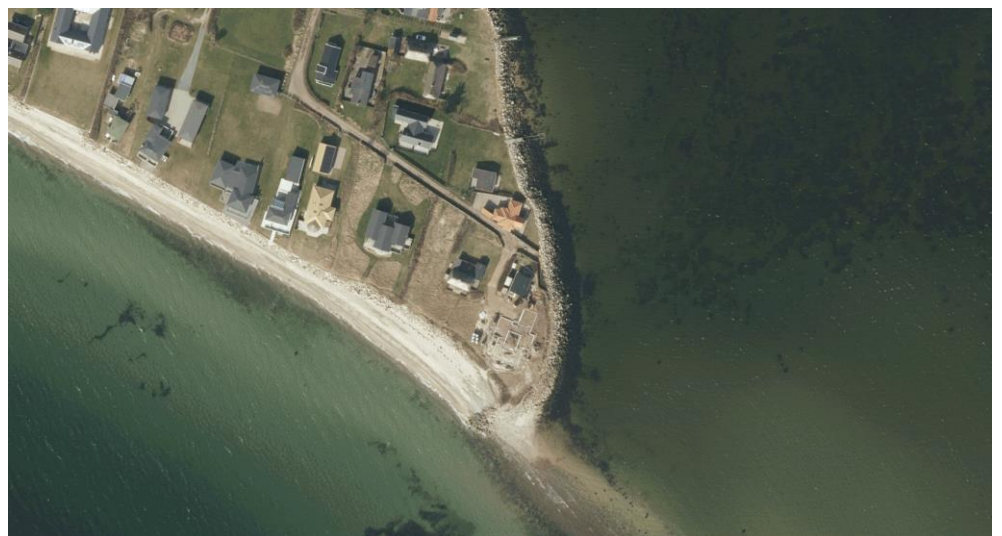
Figur 4-5 Flyfoto fra 2006. ©COWI A/S.



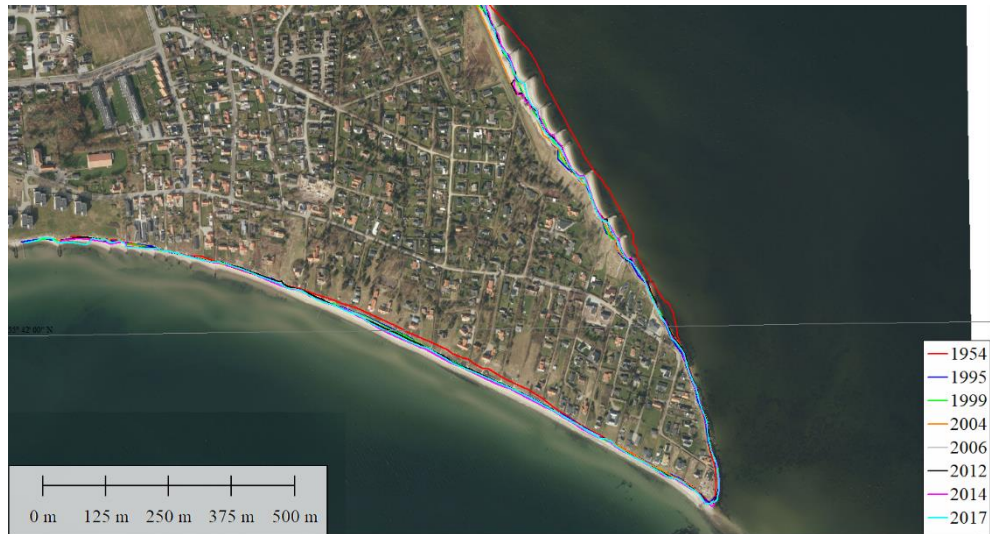
Figur 4-6 Flyfoto fra 2012. ©COWI A/S.



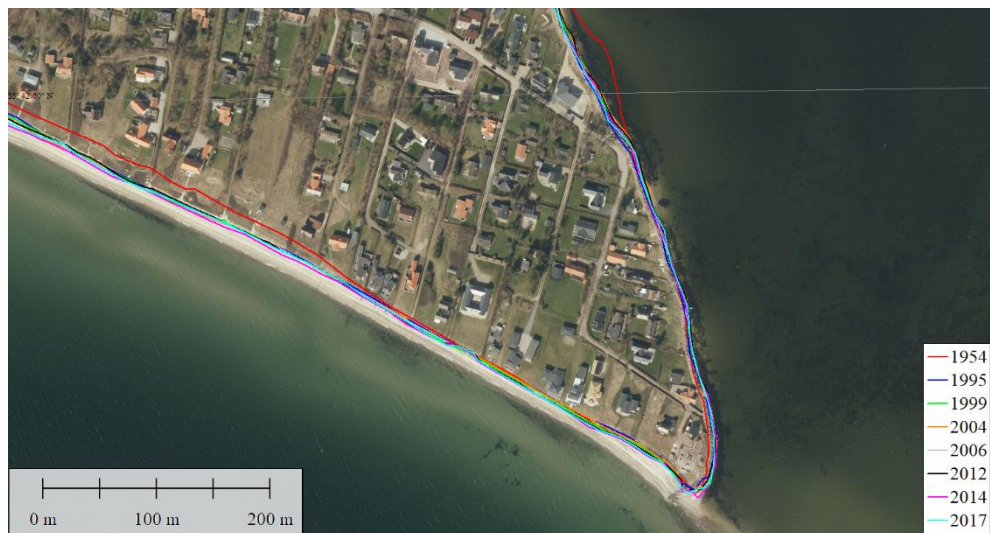
Figur 4-7 Flyfoto fra 2014. ©COWI A/S.



Figur 4-8 Flyfoto fra 2017. ©COWI A/S.



Figur 4-9 Kystlinjeudviklingen ved Bjørnsknude. Flyfoto fra 2017: ©COWI A/S.



Figur 4-10 Kystlinjeudviklingen ved Bjørnsknude - zoom. Flyfoto fra 2017: ©COWI A/S.

## 4.2 Kystens ligevægtsorientering

Den stabile kystorientering, kystens ligevægtsorientering, er beregnet for Bjørnsknudes østkyst ved hjælp af Kamphuis' formel fra 1991 ref. /5/:

$$Q = 7,3H_{sb}^2 T_p^{1.5} m_b^{0.75} d_{50}^{-0.25} \sin^{0.6}(2\alpha_b)$$

Hvor,

$H_{sb}$  Er brydningsbølgehøjden

$T_p$  Er peak bølgeperioden

$m_b$  Er bundhældningen i brydningszonen

$d_{50}$  Er middelkorndiameteren  
 $\alpha_b$  Er bølgeindfaldsretningen ved brydning

Beregningen benyttes til at skitseprojektere orienteringen af stranden bag bølgebryderne. Kystens ligevægtsorientering kan bestemmes ved at ændre kystens orientering i beregningen indtil den kystparallelle nettotransport er nul, dvs. der transporteres lige meget sediment mod nord og syd langs kysten, som derved er i ligevægt. Den stabile kystorientering ved Bjørnsknudes østkyst er på denne baggrund estimeret til ca. 95 °N ved P6 og ca. 91 °N ved P8.

Der er en vis usikkerhed på beregningen af den stabile kystorientering, som følge af, at der er anvendt en simpel beregning af bølgeforsholdene, som ikke fuldt ud tager højde for farvandets form og dybdeforhold samt bølgetransformation på lavt vand. Beregningen vurderes dog at give et pålideligt estimat på kystens ligevægtsorientering, som kan danne grundlag for skitseprojektet. Dette bekræftes desuden yderligere af at kysten er nogenlunde stabil i dag med en orientering på mellem 90 °N og 95 °N, med en relativ lille sedimenttransport langs kysten, vurderet til brutto i størrelsen 120-140 m<sup>3</sup>/år.

#### 4.2.1 Aktiv dybde

Den aktive dybde beregnes i det følgende for at bestemme, hvor dybt bølgerne påvirker strandprofilet. Der foregår ikke betydelig kystparallel sedimenttransport under den aktive dybde. Den aktive dybde benyttes til at vurdere, hvor bredt strandprofilet skal være ved Bjørnsknudes østkyst. Den aktive dybde estimeres ud fra følgende formel, ref. /6/:

$$h_{cl} = 2,28 \cdot H_s - 68,5 \frac{H_s^2}{g \cdot T_s^2}$$

hvor:

$h_{cl}$  Er aktiv dybde [m]  
 $H_s$  Er signifikant bølgehøjde med en hyppighed svarende til 12t/år [m]  
 $T_s$  Er bølgeperioden svarende til  $H_s$  [s]  
 $g$  Er tyngdeaccelerationen, 9,81 m/s<sup>2</sup>

På Figur B-1 i Bilag B ses peak bølgeperioder på ca.  $T_p = 6$  s henholdsvis ca. 5 s for signifikante bølgehøjder i punkt P6 på 1,7 m og P8 på 1,5 m for hændelser med hyppighed på 12 t/år, se Tabel 3-6. Den estimerede aktive dybde for bølger fra østlige retninger er således i størrelsesordenen 2,8 m til 3,3 m.

## 5 Skitseforslag

Da Hedensted Kommune ønsker en løsning med en adgang langs stenskråningen samt en løsning hvor adgangen er en del af en strandløsning har COWI udarbejdet to løsningsforslag:

- 1 En gangsti som en integreret del af stenskråningen i en kote der tager højde for højvande, og
- 2 en strand der beskyttes af to kystnære bølgebrydere og som sikrer adgang rundt om knuden det meste af tiden. Disse to løsningsforslag er skitseret i de følgende afsnit 5.2 og 5.3. Begge løsninger vil kræve en trappe ved Bjørnsknudevej, der kan give adgang fra vejen, over stenskråningen og ned på gangstien/stranden.

Hedensted Kommune har desuden modtaget tilbud fra VG Entreprenør på en gangsti i beton etableret som en del af den eksisterende stenskråning. Denne løsning er præsenteret og kommenteret i afsnit 5.4. Derudover har kommunen modtaget et forslag inkl. en minimumspris til en boardwalk-løsning, en gangsti af træ på stålplæ, fra Skovlykke Fritidshuse. Dette forslag er diskuteret nærmere i afsnit 5.5.

COWIs skitseforslag af konstruktionerne dimensioneres for en 50 års stormhændelse (50 års returperiode) om 50 år, svarende til en hændelsessandsynlighed på 63 % i løbet af konstruktionens levetid. Konstruktionerne projekteres dog ikke for ekstreme islaster, og der må således forventes mindre vedligeholdelse efter vintre med kraftige isskruninger. Den signifikante bølgehøjde for en 50 års hændelse ved vandstande på +1,25 m DVR90 er ca. 1,3 m ved stenskråningen og 1,5 m ca. 30 m fra kysten, se afsnit 3.3.3.

Da det accepteres, at der ikke er adgang "altid" rundt om knuden, bl.a. ikke i storm- eller ekstreme højvandssituationer, anlægges selve gangstierne i en kote, der nogle gange vil blive oversvømmet eller påvirket af bølger. I sådanne situationer vil der således ikke være adgang rundt om knuden. I skitseforslagene er derfor valgt adgang i kote +1,3 m som beskrevet nærmere i afsnit 3.2.6.

I hovedprojekteringen anbefales det, at der foretages geotekniske vurderinger samt opmålinger af havbunden og eksisterende konstruktioner. Dette for at sikre en mere præcis projektering samt bedre bud fra entreprenører i et udbud af projektet.

### 5.1 Geologisk grundkort

På Figur 5-1 er vist et geologisk grundkort, der viser, at der kan forventes post-glacial saltvandsgrus i de overfladenære lag, dybden 1 m under terræn, ved stenskråningen samt kystnært øst for Bjørnsknude. Da øvrige dybereliggende lag ikke kan ses af disse kort, anbefales det, at der foretages en mere detaljeret geoteknisk vurdering i forbindelse med hovedprojekteringen.



**Figur 5-1** *Geologisk grundkort.*  
 Det bemærkes, at der ses en forskydning i det geologiske kortlag i forhold til grundkortet. Det skyldes en fejl i GEUS' kortdatabase og kan således ikke umiddelbart justeres.

## 5.2 Skitseforslag – gangstisløsning

Adgang rundt om Bjørnsknude kan foregå langs ydersiden af den eksisterende stenskråning, hvis der anlægges en ca. 90 m lang gangsti med trappe fra Bjørnsknudevej. I Figur 5-2 er skitseret en løsning med en gangsti af store flade dæksten lagt ovenpå en stenskråning bygget udenpå den eksisterende stenskråning. Dette forslag omfatter ikke en renovering af den eksisterende stenskråning. I det følgende er dimensionerne på den nye stenskråning med gangsti beskrevet.

Stenskråningen opbygges med en fod af ral og/eller usorteret sprængsten og et kernelag af større sten, 100 – 300 kg, hvis formål er at have et lag for stabil placering af dæksten og trædesten uden risiko for nedsivning i den eksisterende stenskråning. Udenpå kernen lægges et lag dæksten, som kan modstå bølgernes påvirkning under den dimensionsgivende 50 års hændelse. Der er valgt en løsning med et lag dæksten for herved at reducere mængden af sand og vand, der kan trænge igennem konstruktionen. Dækstene skal pakkes tæt, når konstruktionen opføres for at sikre konstruktionens stabilitet og styrke. På toppen af denne nye stenskråning placeres et par store flade sten stabilt som gangsti.

Den nødvendige størrelse af dækstenene er beregnet ud fra Hudsons formel:

$$W_{em} = \frac{H_s^3 \gamma_r}{K_D \cot \theta \left( \frac{\gamma_r}{\gamma_v} - 1 \right)^3}$$

hvor:

- $W_{em}$  Er middelvægten af dækstenene [ton]
- $H_s$  Er signifikant bølgehøjde [m]
- $\gamma_r$  Er den specifikke vægt af dækstenene, 2,68 for granit
- $\gamma_v$  Er den specifikke vægt af vandet, 1,025 for saltvang
- $\cot\theta$  Er hældningen på stenskråningen
- $K_D$  Er en stabilitetskoefficient

$K_D$  er på baggrund af erfaring skønnet til,  $K_D = 2,0$ , hvilket svarer til begyndende skade. Hældningen på stenskråningen er valgt til 1:2 ( $\cot\theta = 2$ ).

Ved vandstand på +1,25 m DVR90, vil den dimensionsgivende signifikante bølgehøjde være  $H_s = 1,3$  m ved den eksisterende stenskrånings fod, hvilket medfører en middelvægt for dækstenene på ca. 350 kg. Der vælges en EU standard stenklasse på 0,3-1 t, med en middelvægt på ca. 0,6 t, således at stenskråningen kan udføres med ét lag dæksten, og så den er mere robust for eventuelle ispåvirkninger.

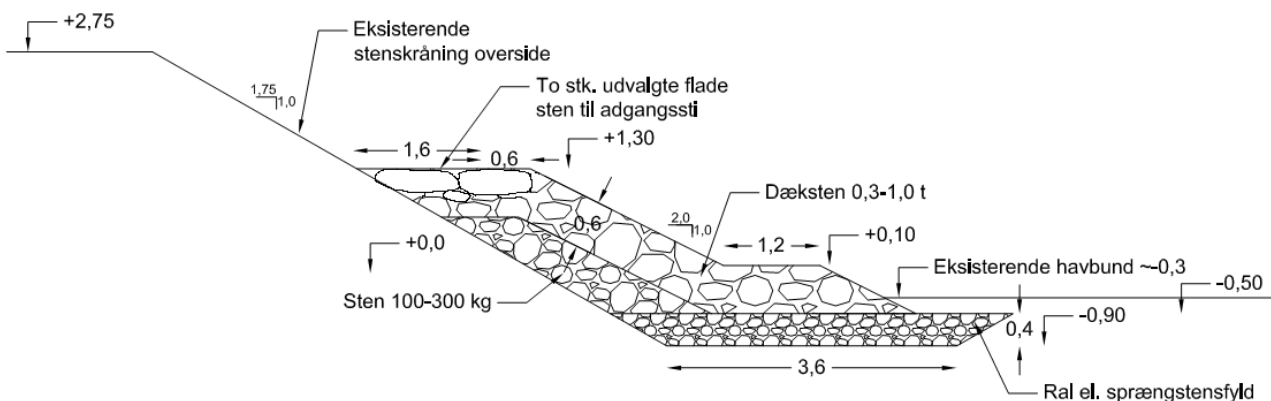
Foden består af enten ral eller sprængstensfyld. For at undgå udvaskning af materialet i foden skal det opfylde en modificeret udgave af Terzaghis filterkriterier ( $d$  = diameter,  $f$  = kernefyld,  $a$  = dæksten):

$$\frac{d_{15,a}}{d_{85,f}} \leq 4$$

$$\frac{d_{50,a}}{d_{50,f}} \leq 7$$

$$\frac{d_{15,a}}{d_{15,f}} \leq 16$$

En gradering som opfylder kriterierne er:  $d_{15} = 6$  cm,  $d_{50} = 11$  cm,  $d_{85} = 18$  cm.

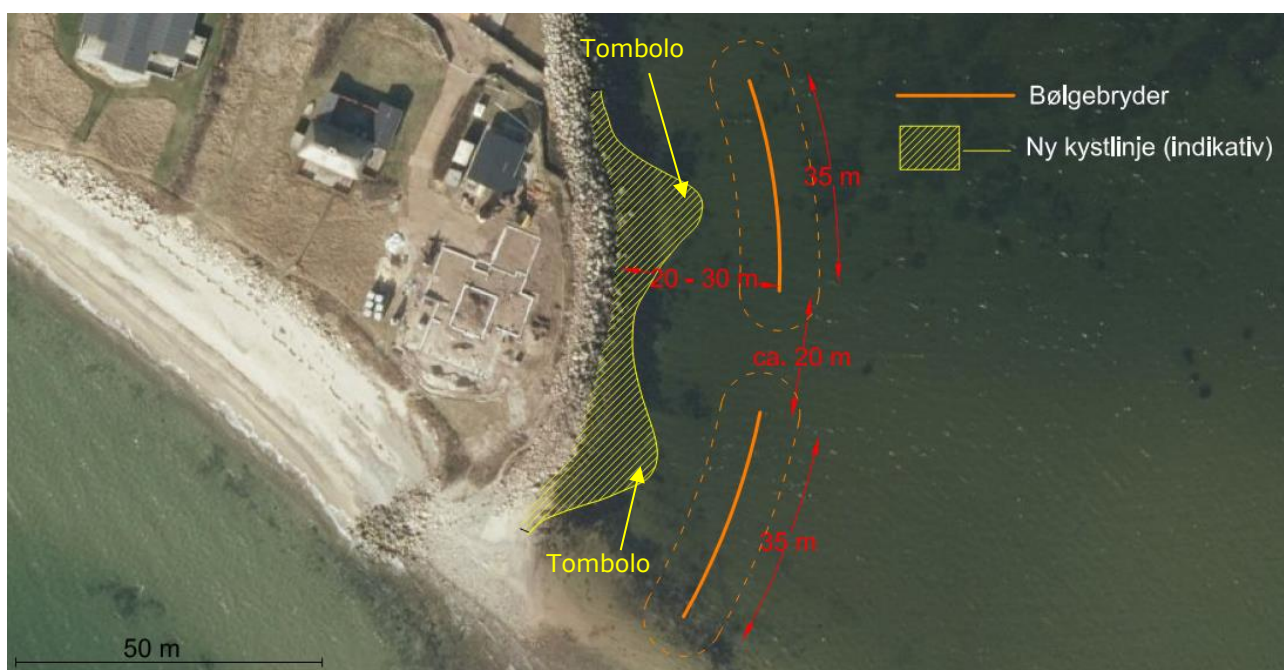


Figur 5-2 Skitse af udvidet stenskråning med gangsti. Hældningen på den eksisterende stenskråning er vurderet til ca. 1:1,75, se kystprofiler i Bilag C.



## 5.3 Skitseforslag – strandløsning

Adgang rundt om Bjørnsknude kan også foregå langs en strand, der samtidig øger den rekreative værdi af kyststrækningen. For at holde på denne strand og nedsætte behovet for vedligeholdelsessandfordring betydeligt, anlægges samtidigt kystnære bølgebrydere. Disse bølgebrydere vil dermed beskytte både stranden og den eksisterende stenskråning. Stranden foreslås i første omgang anlagt på en 90 m lang strækning, hvor der ønskes adgang rundt om knuden. Stranden kan anlægges længere mod nord hvis der ønskes rekreativ strand på denne strækning også. Dette er dog ikke behandlet yderligere i nærværende rapport. Planskitse af strandløsningen med bølgebrydere ses på Figur 5-3, og er beskrevet nærmere i de følgende afsnit 5.3.1 og 5.3.2. Strandløsningen vil kunne indgå som en del af en eventuel samlet fremtidig sanering af kyststrækningen mellem Juelsminde Havn og Bjørnsknude.



Figur 5-3 Planskitse af strandløsning med bølgebrydere.

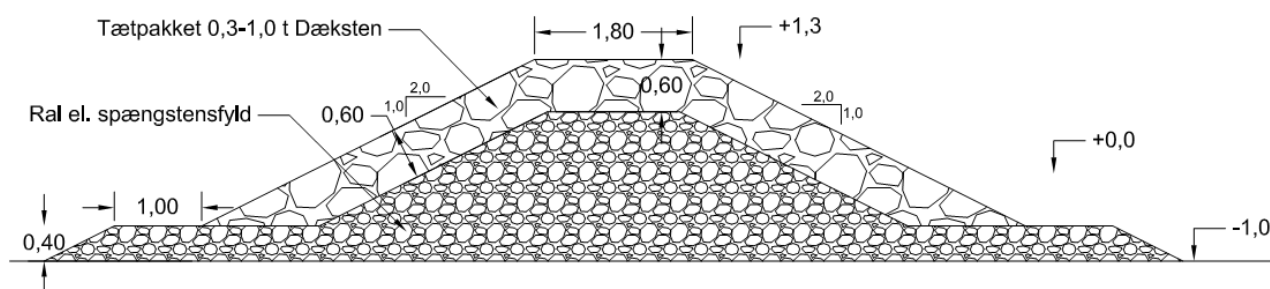
### 5.3.1 Bølgebrydere

De kystnære bølgebrydere, se Figur 5-4, opbygges med en kerne af ral og/eller usorterede sprængsten. Kernen beskyttes med et lag dæksten, som kan modstå bølgenes påvirkning under den dimensionsgivende 50 års hændelse. Der er valgt en løsning med ét lag dæksten for herved at reducere mængden af sand og vand, der kan trænge igennem konstruktionen. Dækstenene skal pakkes tæt, når konstruktionen opføres for at sikre konstruktionens stabilitet og styrke.

Den nødvendige størrelse af dækstenene er beregnet ud fra Hudsons formel, se afsnit 5.2. Der vælges samme acceptable skades niveau som for gangstisløsningen beskrevet i afsnit 5.2 og samme hældning på bølgebryderen, 1:2.

Ved vandstand på +1,25 m DVR90, vil den dimensionsgivende signifikante bølgehøjde være 1,5 m ved de kystnære bølgebrydere, hvilket medfører en middelvægt for dækstenene på ca. 540 kg. Der vælges en EU standard stenklasse på 0,3-1 t, med en middelvægt på ca. 0,6 t, således at stenskråningen kan udføres med ét lag dæksten, og så den er mere robust for eventuelle islaster, og således at der kan anvendes de samme sten til molehovederne.

Kernen består af enten ral eller sprængstensfyld. For at undgå udvaskning af materialet i kernen skal det opfylde en modificeret udgave af Terzaghis filterkriterier. Da dækstenene er af samme dimension som for gangstisløsningen vælges samme gradering som anvendt i denne konstruktion:  $d_{15} = 6$  cm,  $d_{50} = 11$  cm,  $d_{85} = 18$  cm, se afsnit 5.2.



Figur 5-4 Skitseret tværsnit af kystnær bølgebryder.

### 5.3.2 Sandfodring

Der etableres en strand bag de kystnære bølgebrydere ved at sandfodre med groft sand (med en middeldiameter større end 0,3-0,4 mm) i op til kote +1,5 m ved den eksisterende stenskråning. Der er således en lille overhøjde i forhold til de anbefalede +1,3 m, men dette skønnes nødvendigt da højvande og bølger vil jævne sandet ud med tiden. Sandet anlægges med en hældning på 1:10, hvilket er muligt med groft sand i et beskyttet miljø, og samtidig sikrer en vis bredde på stranden.

Med en initialfodring op til kote ca. +1,5 m med en hældning på 1:10 på den eksisterende havbund med en hældning på ca. 1:60 vil der skulle anvendes ca. 2.800 m<sup>3</sup> sand på den 90 m lange strækning. Da stranden beskyttes af de kystnære bølgebrydere, forventes en begrænset mængde vedligeholdelsesfodring, der sandsynligvis alene er nødvendig hver 3. til 5. år. I forbindelse med udarbejdelsen af et hovedprojekt bør der foretages en opmåling af projektområdet for at sikre en mere præcis opgørelse af mængderne.

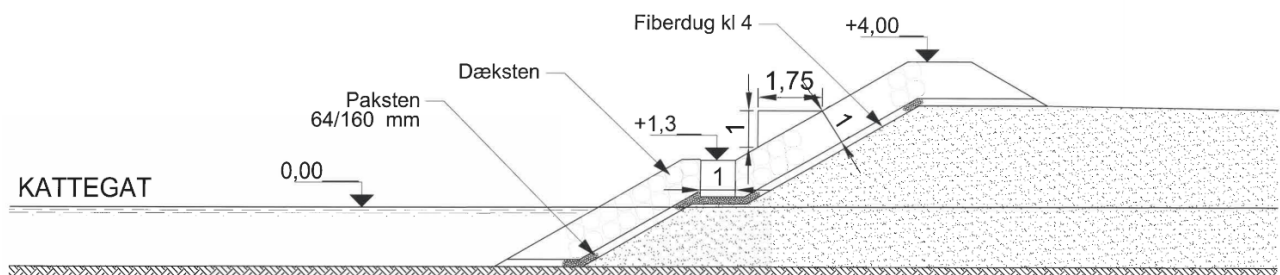
Det forventes, at stranden med tiden vil ændre form og danne såkaldte 'tombo- loer' omtrent som vist på Figur 5-3, hvorved stranden vil vokse ud bag bølgebry- derne.

## 5.4 Forslag fra VG Entreprenør

VG Entreprenør har på foranledning af Hedensted Kommune givet et forslag til en gangstisløsning rundt om knuden som vist på Figur 5-5.

Denne løsning minder om COWIs forslag til en gangstisløsning, se afsnit 5.2, dog er der her brugt beton frem for sten til stien. Skråningen renoveres ved genplacering af dækstenene, men dette udføres med eksisterende sten og der tilføres således ikke yderligere stenmaterialer. COWI har desuden følgende kommentarer til denne løsning, der i den nuværende form ikke vurderes at være dimensioneret for en 50 års hændelse om 50 år, og bl.a. derfor ikke kan anbefales i denne foreliggende form:

- > Selve gangstien er meget smal, 1 m, hvilket ikke muliggør sikker passage for 2 eller flere personer ad gangen.
- > Der er ikke projekteret en stenskråningsfod, hvilket øger risikoen for skred ved stormhændelser og ved erosion foran stenskråningen.
- > Dækstenene er genanvendt fra eksisterende stenskråning, og da disse sten (med enkelte undtagelser) er mindre end de beregnede stenstørrelser i COWIs forslag, vil stenskråningen ikke være projekteret for samme 50 års hændelse.
- > Stenskråningen er desuden stejl, 1:1,5, hvilket kræver større sten end med en fladere hældning for at opnå en tilstrækkelig stabil løsning.



1	2018.02.14	SIHL	NICL
Udgave	Betegnelse/Revision	Dato	Udført Kontrol Godkendt
Sag	Bjørnsknude - Juellsminde	Sag nr.: 2018-1	
		Dato:	
Emne:		Tegn nr.:	Rev.:
<b>BJ-1</b>			
Cad File:	Bjørnsknude.dwg	Udf.: SIHL	Kont.: Codk-NICL
		Mål: Som angivet	A3
		<b>ENTREPRENØR</b> KYSTSIKRING · HAVNEANLÆG	
Print: 15-02-2018 09:13:38			

Figur 5-5 Skitse af forslag på gangsti langs Bjørnsknude fra VG Entreprenør.

## 5.5 Gangsti som boardwalk-løsning

Hedensted Kommune har forespurgt Skovlykke Fritidshuse vedrørende mulighed for at lave en gangstisløsning med en boardwalk bestående af stålpæle og gangsti af træ, efter samme koncept som brugt til gangsti ved Gudenåen, se Figur 5-6.

COWI har fået følgende oplysninger om konceptet for denne løsning per telefon med Skovlykke Fritidshuse d. 25-01-2019:

- > Pælene der anvendes, er galvaniserede stålpæle med 85 µm galvanisering.
- > Pælene monteres på de store sten i den eksisterende stenskråning.
- > Til selve gangbroen anvendes ru (båndsavskåret) lærketræ, der er 1,5 m bredt.
- > Der anvendes justerbare beslag mellem pæle og gangbro.
- > Gangbroen kan også installeres foran stenskråningen men dette vil kræve længere pæle og isbeskyttelse af disse.

COWI har følgende kommentarer til denne løsning:

- > Montering af pælene direkte på stenskråningen kan være risikabel, da en stenskråning er en bevægelig konstruktion. Ved stormhændelserne vil stenene i stenskråningen kunne bevæge sig i forhold til hinanden og stadig være stabil. Hvordan denne bevægelse vil påvirke selve gangbroen er usikkert – også med justerbare beslag som først justeres efter en hændelse. Stenene og dermed pælene vil kunne rykkes sig 10-20 cm i forhold til hinanden ved en storm. Hvis der etableres en gangbro anbefales, at denne er sektionsoptaget således at disse sektioner kan bevæge sig frit, og dermed mindske risikoen for skader på større dele af gangbroen.
- > Ved kraftig storm og højvande vil bølgerne slå direkte op under dækket, og denne påvirkning vurderes at være så stor, at den beskrevne løsning, både selve gangstien samt beslag, vil blive ødelagt/beskadiget. COWI kan derfor ikke anbefale en sådan løsning bygget direkte ind i stenskråningen.
- > Kyster med saltvand, bølge- og ispåvirkning udgør et særdeles uvenligt miljø for konstruktioner. COWI anbefaler derfor, at producenten sandsynliggør robustheden af denne boardwalk-løsning i forhold til bølger og is, både med en etablering på stenene samt foran stenskråningen. Samt holdbarheden i forhold til etablering i saltvand.

Samlet set vurderer COWI, at løsningen er mindre velegnet til etablering af den ønskede adgang rundt om knuden, og at der er større risiko for væsentligt behov for vedligeholdelse.



1/3: Fundamentet er ved at være på plads for yderligere 360 meter gangbro ved Gudenåen.

Foto: Skovlykke Fritidshuse



Figur 5-6 Boardwalk etableret som gangsti, ved Gudenåen.  
 Øverst: under installering af pæle.  
 Nederst: den færdige boardwalk.

## 6 Anlægsoverslag

De følgende enhedspriser angivet i anlægsoverslagene for COWIs løsningsforslag er baseret på gennemsnitspriser angivet ved nyligt indhentede tilbud på tilsvarende opgaver. De årlige vedligeholdelsesudgifter vurderes til ca. 5 % af anlægsudgifterne. Dette vurderes også, at gælde vedligeholdelsessandfodringen, da sandtransporten på strækningen er lille og da bølgebryderne yderligere vil holde på sandet.

Overslagene for henholdsvis VG Entreprenørs forslag og boardwalk-løsningen fra Skovlykke Fritidshuse er baseret på deres prisvurderinger oplyst til Hedensted Kommune. De årlige vedligeholdelsesudgifterne er ikke oplyst og derfor ikke gengivet i de følgende.

### 6.1 Anlægsoverslag – gangstisløsning

I Tabel 6-1 fremgår overslag over udgifterne til anlæggelse af skitseforslaget beskrevet i afsnit 5.2. Anlægsoverslaget inkluderer ud over de forventede priser på materialer også omkostninger i forbindelse med mobilisering ved projektstart, samt overslag over forventet pris for forundersøgelser, hovedprojektering og udbud. Tilsyn er ikke medtaget, da omkostningerne hertil kan variere meget, og desuden også afhænger af, hvor meget Hedensted Kommune selv ønsker at varetage af dette.

Tabel 6-1 Anlægsoverslag – gangstisløsning ved Bjørnsknude.

Post	Identifikation	Mængde		Enhedspris		Pris (ekskl. moms)
1	Udvidet stenskråning med gangsti					
1.1	Dæksten	330	m <sup>3</sup>	535	kr./m <sup>3</sup>	176,550 kr.
1.2	Sten	120	m <sup>3</sup>	525	kr./m <sup>3</sup>	63.000 kr.
1.3	Ral/sprængsten	155	m <sup>3</sup>	510	kr./m <sup>3</sup>	79.050 kr.
1.4	Geotekstil	450	m <sup>2</sup>	35	kr./m <sup>2</sup>	15.750 kr.
2	Nedgang					
2.1	Trappe	1	sum	60.000	kr.	60.000 kr.
3	Mobilisering					
3.1	Mobilisering inkl. sandfodring	1	sum	230.000	kr.	230.000 kr.
<b>Delsum</b>						<b>624.350 kr.</b>
<b>Generelt</b>						
Forundersøgelser (geotekniske vurderinger og opmåling af havbunden)						40.000 kr.
Hovedprojektering og udbud (15 %)						93.655 kr.
Uforudseelige udgifter (15 %)						93.655 kr.
<b>Sum</b>						<b>851.660 kr.</b>

## 6.2 Anlægsoverslag – strandløsning

I Tabel 6-2 fremgår overslag over udgifterne til anlæggelse af skitseforslaget beskrevet i afsnit 5.3. Anlægsoverslaget inkluderer ud over de forventede priser på materialer også omkostninger i forbindelse med mobilisering ved projektstart, samt overslag over forventet pris for forundersøgelser, hovedprojektering og udbud. Tilsyn er ikke medtaget, da omkostningerne hertil kan variere meget, og desuden også afhænger af, hvor meget Hedensted Kommune selv ønsker at varetage af dette.

Tabel 6-2 Anlægsoverslag – strandløsning ved Bjørnsknude.

Post	Identifikation	Mængde		Enhedspris		Pris (ekskl. moms)
1	Bølgebrydere					
1.1	Dæksten	476	m <sup>3</sup>	535	kr./m <sup>3</sup>	254.660 kr.
1.2	Ral/sprængsten	918	m <sup>3</sup>	510	kr./m <sup>3</sup>	468.180 kr.
1.3	Geotekstil	1350	m <sup>2</sup>	35	kr./m <sup>2</sup>	47.250 kr.
2	Sandfodring					
2.2	Sand	2790	m <sup>3</sup>	150	kr./m <sup>3</sup>	418.500 kr.
3	Nedgang					
3.1	Trappe	1	sum	60.000	kr.	60.000 kr.
4	Mobilisering					
4.1	Mobilisering inkl. sandfodring	1	sum	230.000	kr.	230.000 kr.
<b>Delsum</b>						<b>1.478.590 kr.</b>
<b>Generelt</b>						
Forundersøgelser (geotekniske vurderinger og opmåling af havbunden)						100.000 kr.
Hovedprojektering og udbud (13-14 %)						200.000 kr.
Uforudsete udgifter (15 %)						221.790 kr.
<b>Sum</b>						<b>2.000.380 kr.</b>

### 6.3 Anlægsoverslag - forslag fra VG Entreprenør

Kommunen har fra VG Entreprenør modtaget et anlægsoverslag (alle priser er ekskl. moms) på en gangstisløsning rundt om knuden, som angivet i afsnit 5.4. Dvs. der er ikke taget højde for COWIs kommentarer i nævnte overslag.

Antages udførelsen gennemført på ca. 2 måneder beløber drift af arbejdsplads sig til 162.000,- kr. ekskl. moms. Det vurderes, at strækningen der skal etableres gangsti på, er ca. 90 m, hvorfor anlægsprisen for etableringen af denne delpost beløber sig til 1.134.000,- kr. ekskl. moms. Samlet har VG Entreprenør således givet et overslag på 1.434.000,- kr. ekskl. moms. Hertil skal lægges etablering af en nedgang (f.eks. en trappe) der vurderes til ca. 60.000,- kr. ekskl. moms.

**Samlet overslag på ca. 1.500.000,- kr. ekskl. moms fra VG Entreprenør.**



Det bemærkes, at der i dette anlægsoverslag ikke er inkluderet udgifter til projektering samt tilsyn eller forundersøgelser af nogen art (geotekniske vurderinger eller opmåling af havbunden).

## 6.4 Anlægsoverslag – boardwalk

Kommunen har alene mundtligt modtaget et anlægsoverslag (alle priser er ekskl. moms) fra Skovlykke Fritidshuse på en boardwalk-løsning rundt om knuden funderet på stenene, som angivet i afsnit 5.5. Der er ikke taget højde for COWIs kommentarer i nævnte overslag, der lyder på minimum 400.000,- kr. ekskl. moms plus ca. 60.000,- kr. ekskl. moms for etablering af en trappe.

**Samlet overslag på minimum 460.000,- kr. ekskl. moms fra Skovlykke Fritidshuse.**

Skal boardwalk-løsningen etableres foran stenskråningen vurderer Skovlykke Fritidshuse per telefon 25. januar 2019, at dette vil koste yderligere 200.000,- kr. ekskl. moms.

Det bemærkes, at dette anlægsoverslag alene er en minimumspris givet mundtligt og således ikke er et egentligt tilbud med poster mv. angivet, og desuden alene angiver omkostninger til etablering og ikke øvrige potentielle udgifter til f.eks. projektering eller forundersøgelser (geotekniske vurderinger eller opmåling af havbunden).

Med hensyn til boardwalk-løsningen refereres til kommentarerne ovenfor, der betvivler brugbarheden af denne løsning på dette sted.

## 7 anbefaling

Der er præsenteret følgende 4 løsningsforslag til etablering af adgang rundt om Bjørnsknude fra Bjørnsknude og rundt om spidsen:

- 1 Gangsti på flade sten i en udvidet stenskråning på kyststrækningen, forslag fra COWI.  
Anlægsoverslag: ca. 850.000,- kr. ekskl. moms.
- 2 Sandstrand langs kyststrækning med to kystnære bølgebrydere, forslag fra COWI.  
Anlægsoverslag: ca. 2.000.000,- kr. ekskl. moms.
- 3 Gangsti af beton i den eksisterende stenskråning, forslag fra VG Entreprenør.  
Anlægsoverslag: ca. 1.500.000,- kr. ekskl. moms.
- 4 Boardwalk-løsning med gangsti i træ etableret på stålplæ funderet på stenene i den eksisterende stenskråning, forslag fra Skovlykke Fritidshuse.  
Anlægsoverslag: minimum 460.000,- kr. ekskl. moms.

Anlægsoverslagene for løsningsforslag 3 og 4 er uden forundersøgelser og hovedprojektering.

Desuden er holdbarheden af løsningsforslag 4 ikke dokumenteret fra producentens side, se COWIs kommentarer i afsnit 5.5. COWI vurderer således, at denne løsning er mindre velegnet til etablering af den ønskede adgang rundt om knuden, og at der er større risiko for væsentligt behov for vedligeholdelse.

Løsningsforslag 3 anbefales at blive opdateret i henhold til COWIs kommentarer, se afsnit 5.4.

COWIs løsningsforslag 1 anbefales frem for VGs løsningsforslag 3, dels da denne vurderes mere holdbar og er billigere. Ønskes en mere jævn gangsti end flade sten kan forslaget opdateres med en gangsti med betonblokke i stedet. Stenløsningen er dog mere æstetisk i tråd med kystens nuværende fremtoning. En løsning med betonblokke vurderes at blive op til ca. 175.000 kr. ekskl. moms dyrere. Kote på gangstien kan også justeres hvis der f.eks. vil accepteres sjældnere adgang langs kysten. Det bemærkes at COWIs løsningsforslag 1 ikke omfatter en renovering af den eksisterende stenskråning, mens VGs løsningsforslag omfatter renovering af denne men med eksisterende sten alene. En renovering med tilførelse af dæksten kan overvejes som en del af COWIs løsningsforslag, hvis kommunen ønsker en forstærkning af stenskråningen.

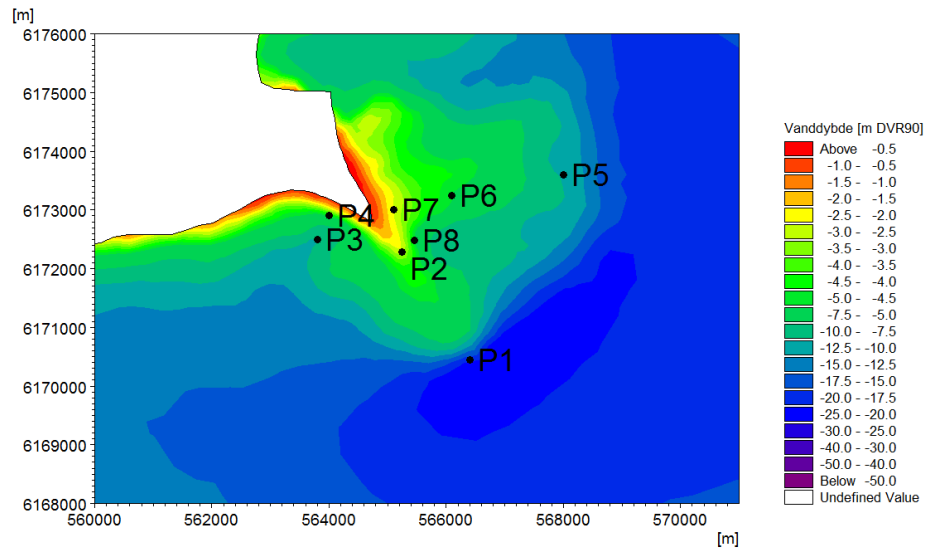
Ønsker Hedensted Kommune en strandløsning er et forslag til dette givet i løsning 2, der dog også er den dyreste løsning. Strandløsningen vil som nævnt tidligere kunne indgå som en del af en eventuel samlet fremtidig sanering af kyststrækningen mellem Juelsminde Havn og Bjørnsknude.

I hovedprojekteringen anbefales det desuden, at der foretages en overordnet geoteknisk vurdering samt opmålinger af havbunden, hvor der placeres konstruktioner samt eventuel strand. Dette for at sikre en mere præcis projektering samt bedre bud fra entreprenører i et udbud af projektet.

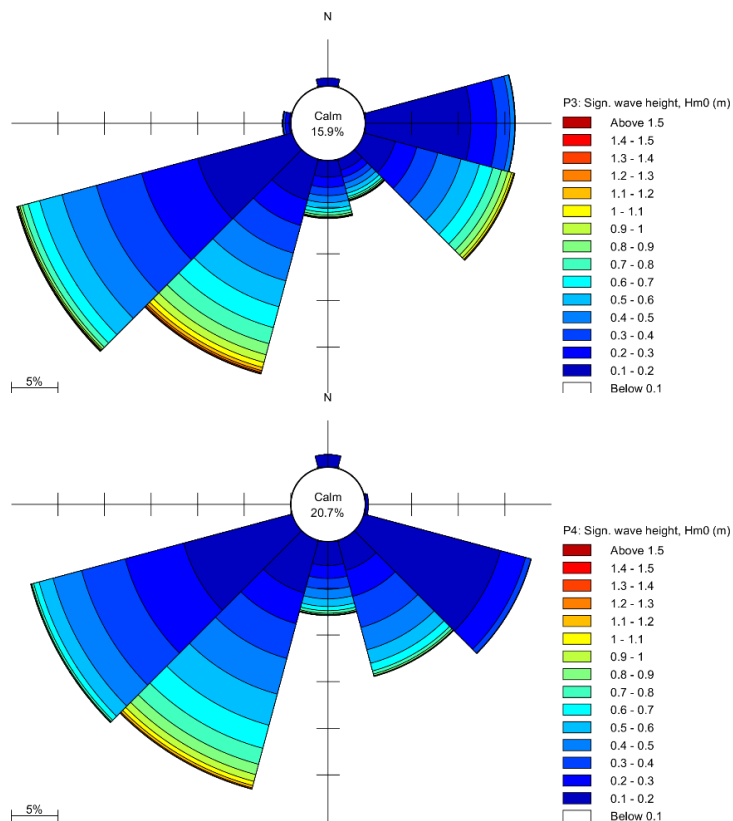
## 8 Referencer

- /1/ **Kystdirektoratet**  
*Højvandsstatistikker*  
2017.
- /2/ **Danmarks Klimacenter**  
*Fremtidige klimaforandringer i Danmark. Rapport nr. 6 2014*  
2014.
- /3/ **Knudsen, P., Abbas Khan, S., Engsager, K. S. and Sorensen, C.**  
*An uplift model for Denmark - and work ahead*  
2016.
- /4/ **Goda, Y.**  
*Random seas and design of maritime structures.*  
University og Tokyo Press, 1985.
- /5/ **Kamphius, J. W.**  
*Alongshore sediment transport of sand*  
*Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, vol. 117,  
no. No.6, pp. 624-641, ASCE,.
- /6/ **Komar, P. D.**  
*Beach processes and sedimentation.*  
Prentice Hall, 1998.

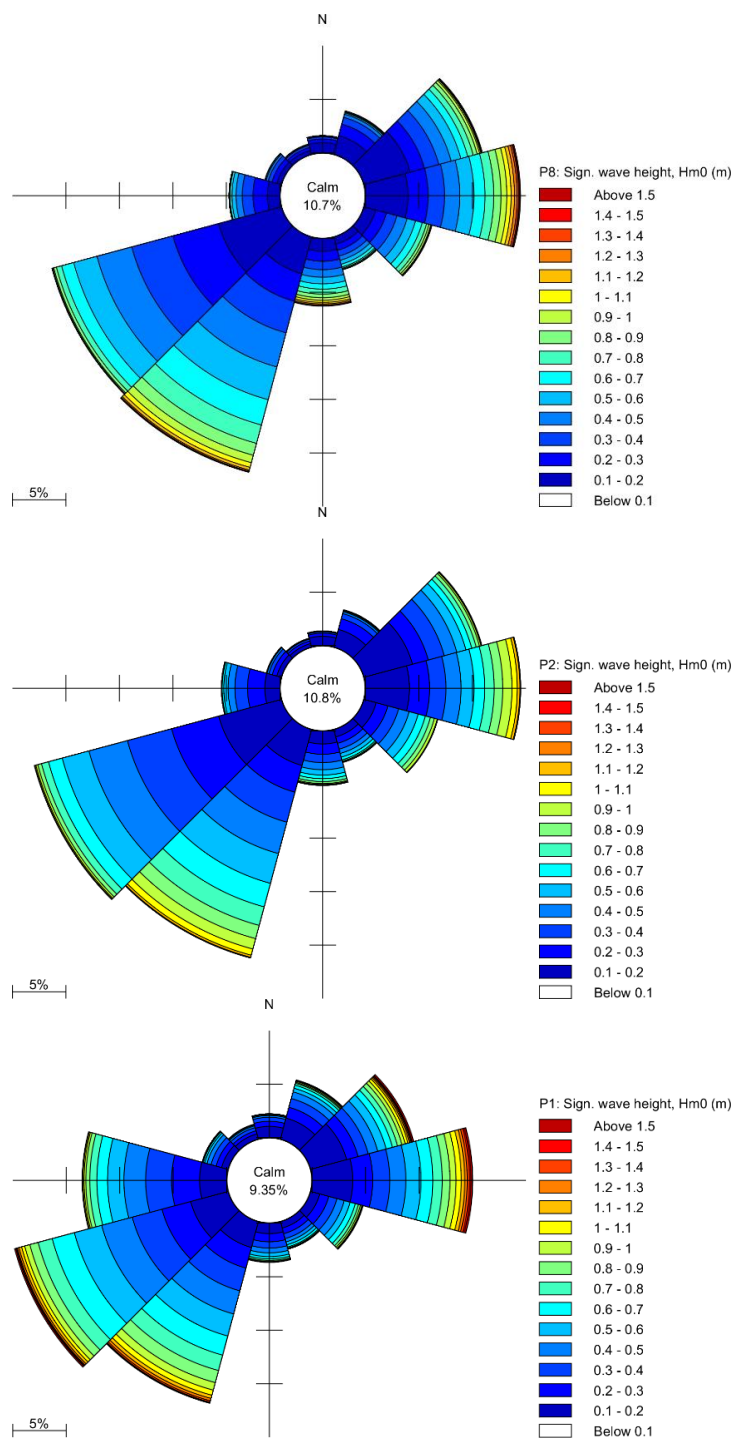
## Bilag A Bølgeroser



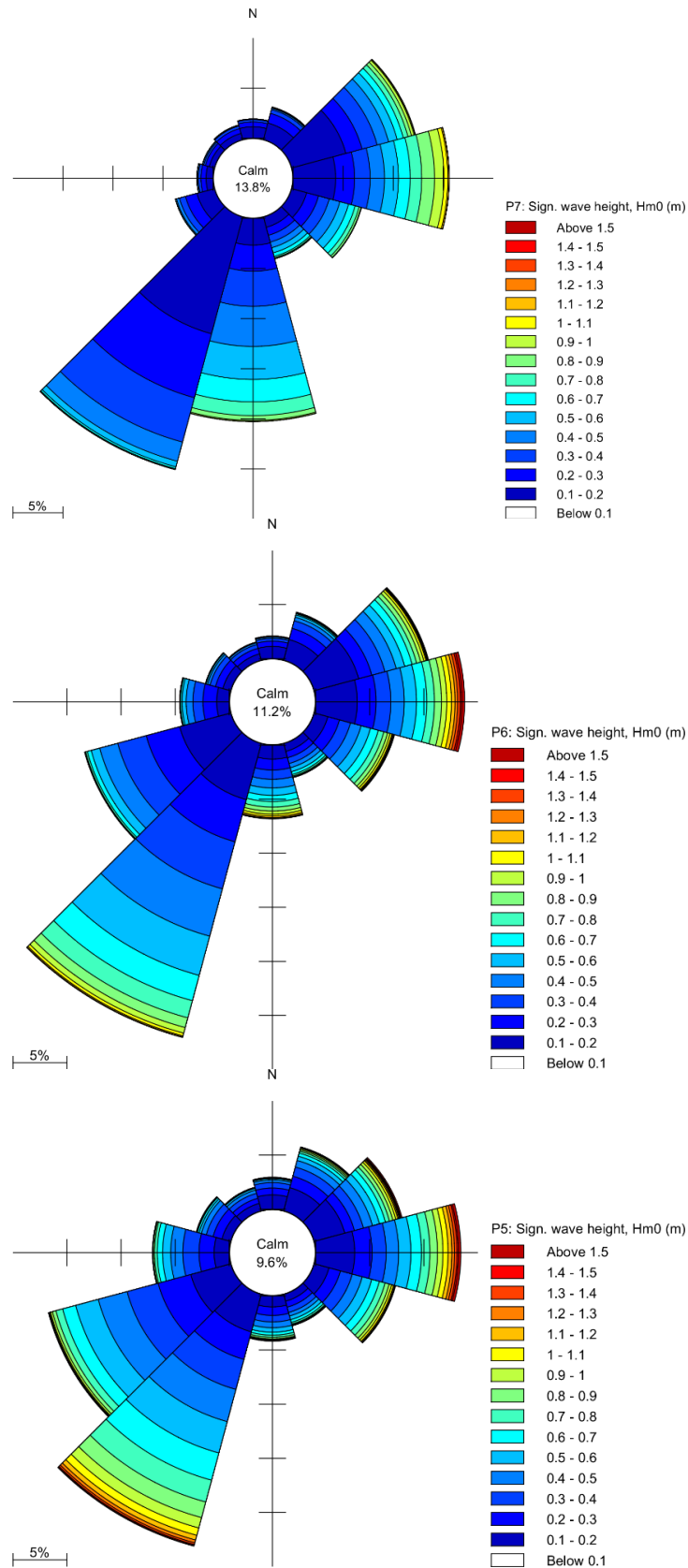
Figur A-1 Bølgeinformationen til bølgeroser er udtaget i punkterne P1-P8.



Figur A-2 Bølgeroser, signifikant bølgehøjde ved Bjørnsknude, 2003-2013.  
 Øverst: I P3 (-10 m DVR90).  
 Nederst: I P4 (-5 m DVR90).

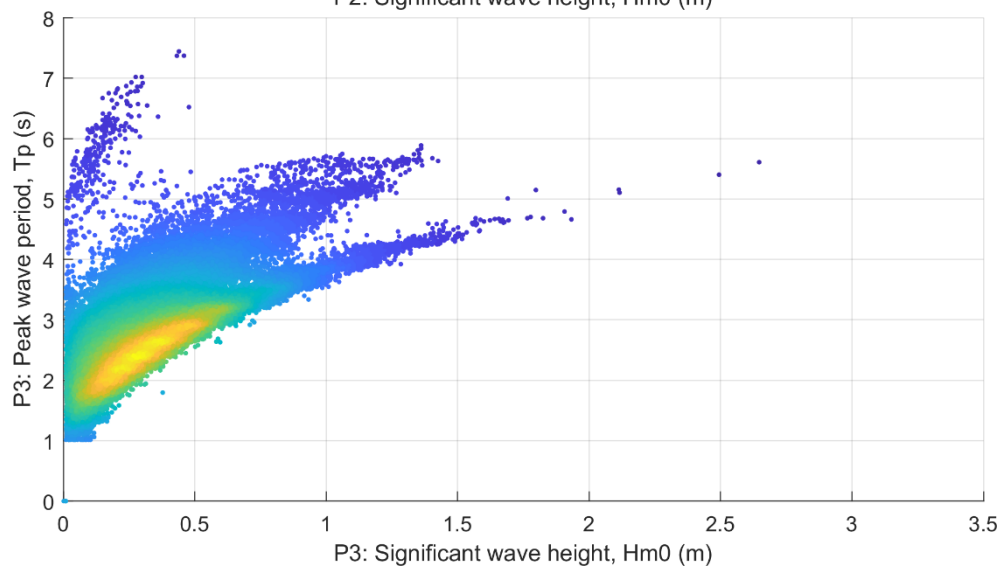
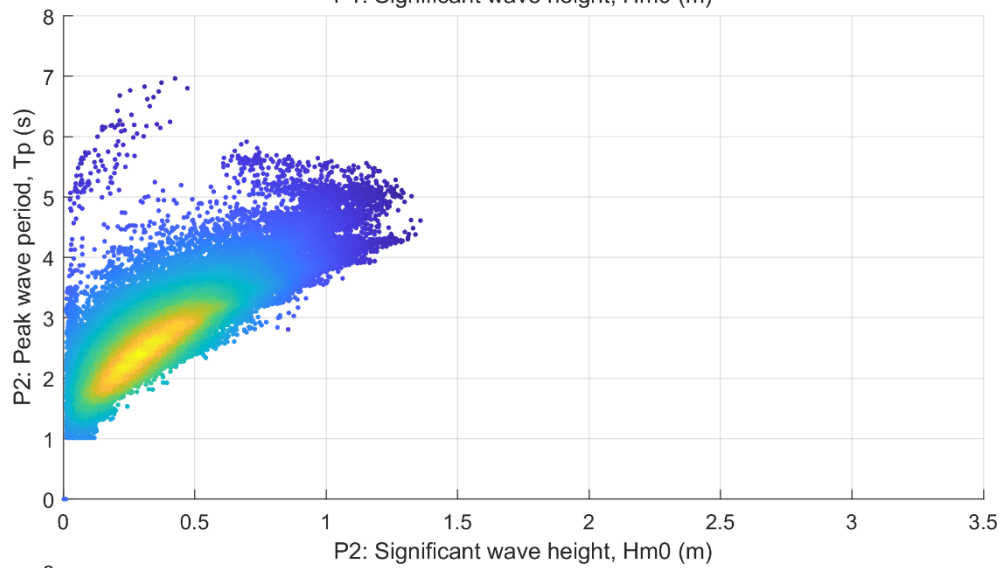
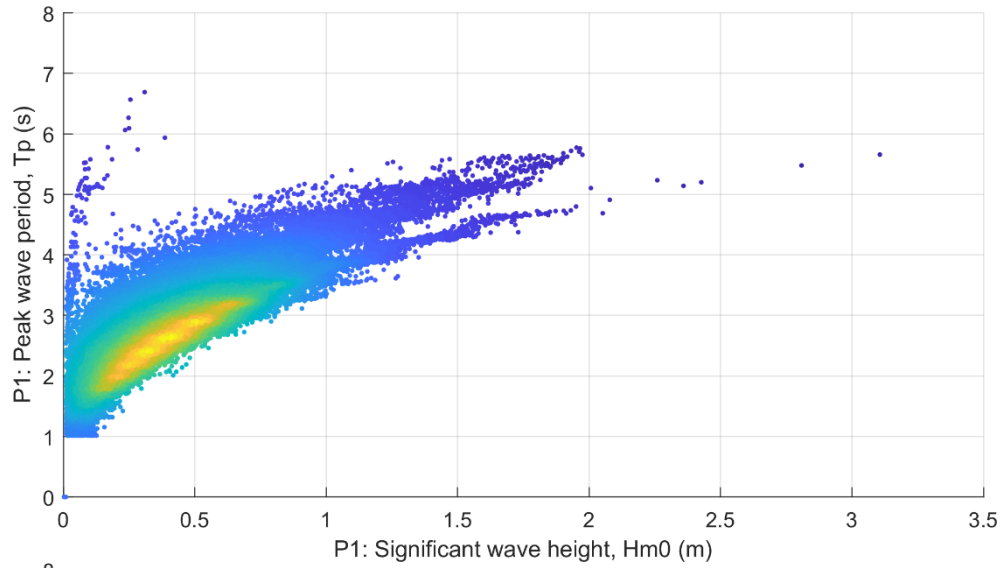


Figur A-3 Bølgeroser, signifikant bølgehøjde ved Bjørnsknude, 2003-2013.  
 Øverst: I P8 (-5 m DVR90).  
 Midterst: I P2 (-2,5 m DVR90)  
 Nederst: I P1 (-10 m DVR90).

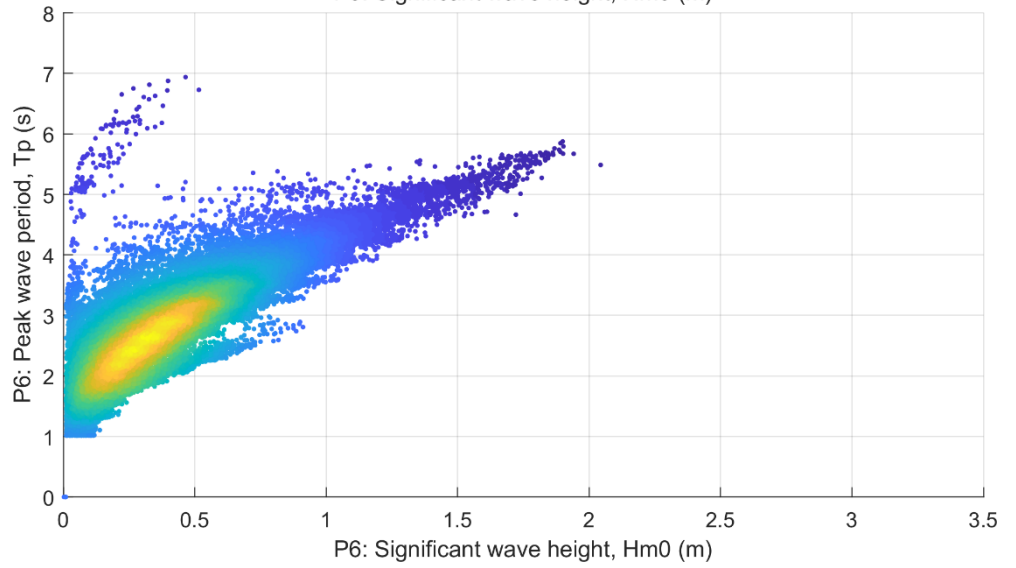
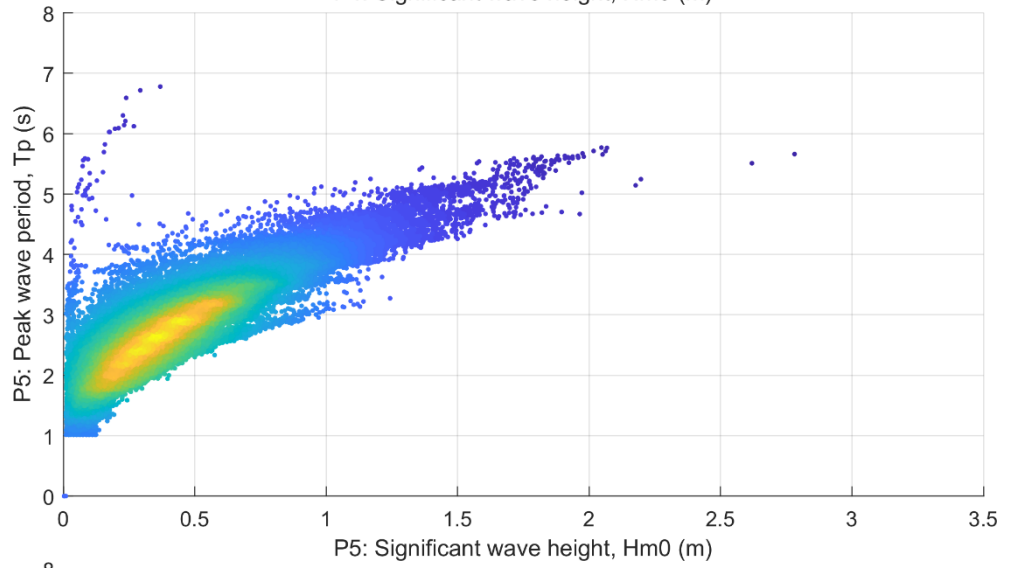
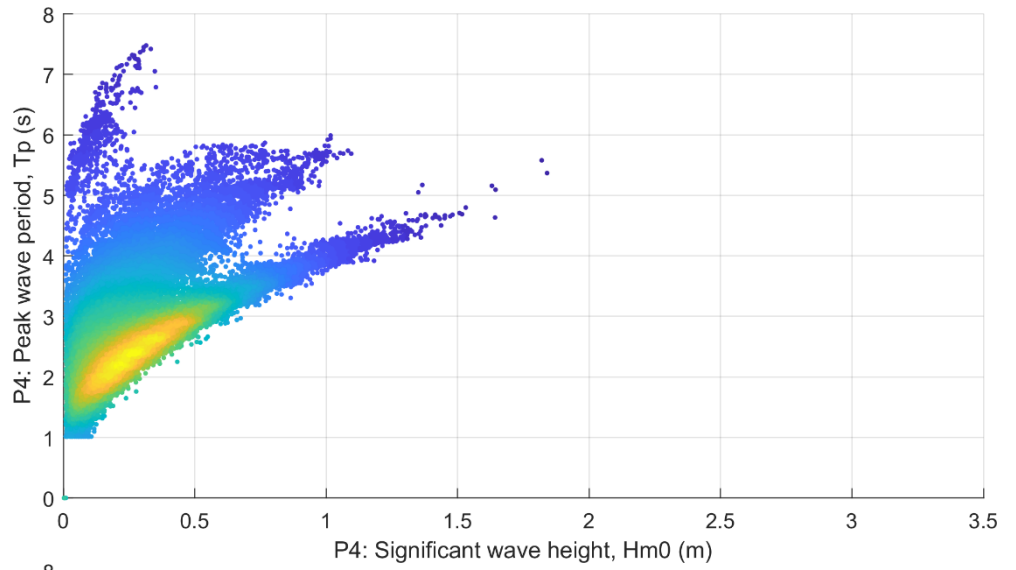


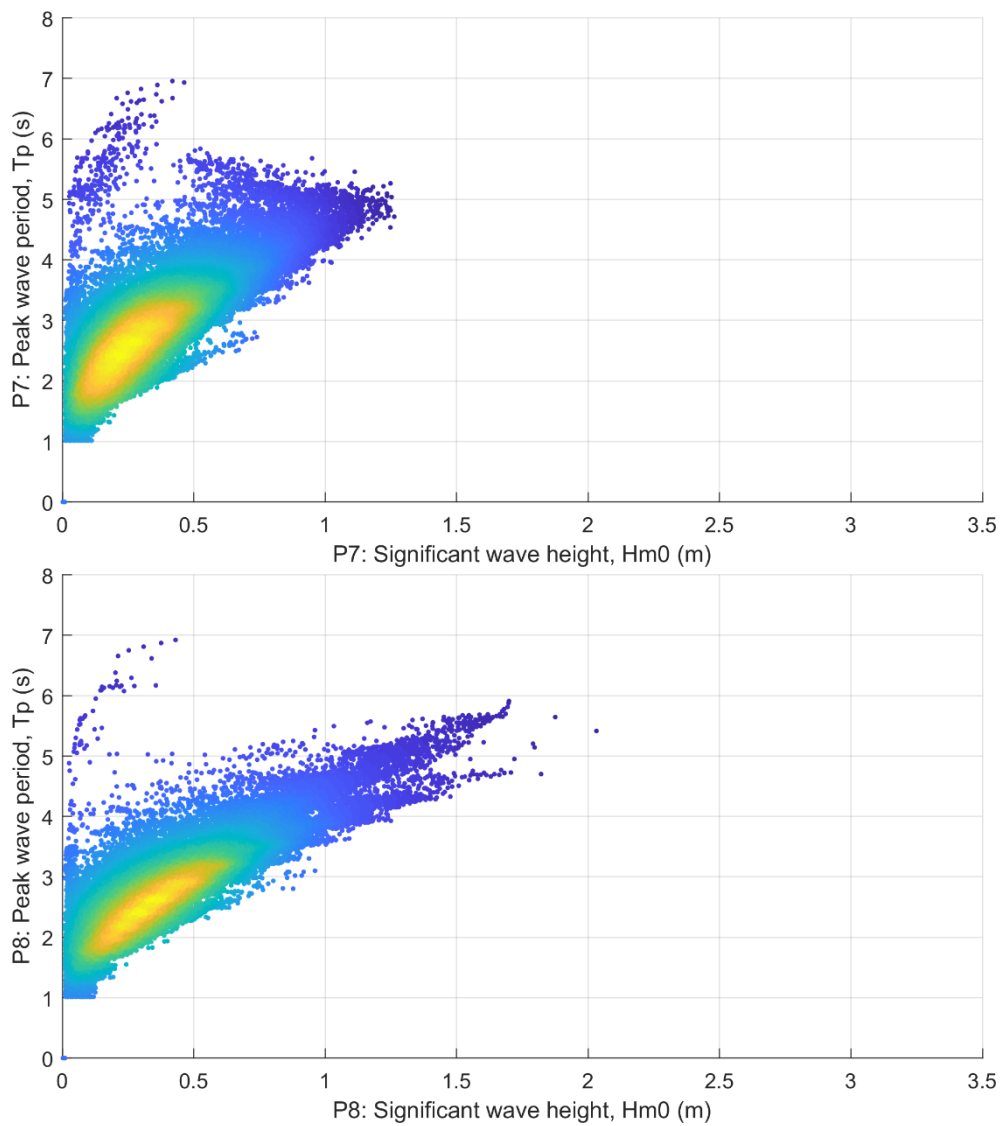
Figur A-4 Bølgeroser, signifikant bølgehøjde ved Bjørnsknude, 2003-2013.  
 Øverst: I P7 (-2,5 m DVR90).  
 Midterst: I P6 (-5 m DVR90)  
 Nederst: I P5 (-10 m DVR90).

## Bilag B Scatter plots

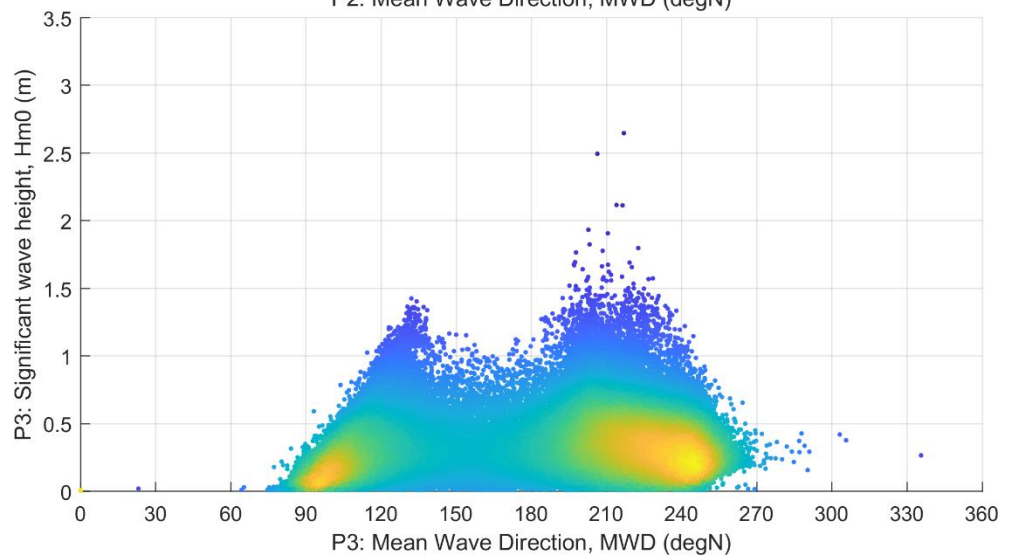
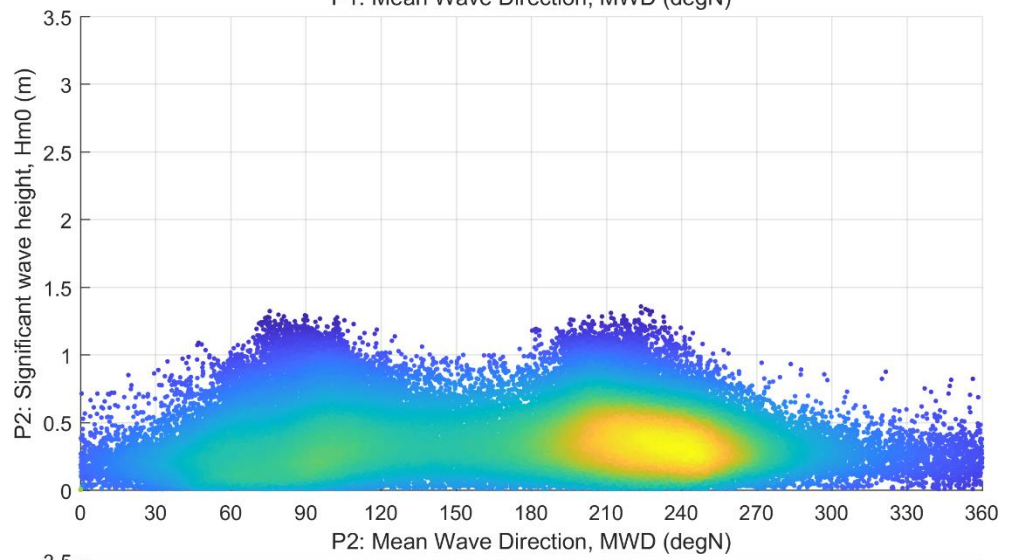
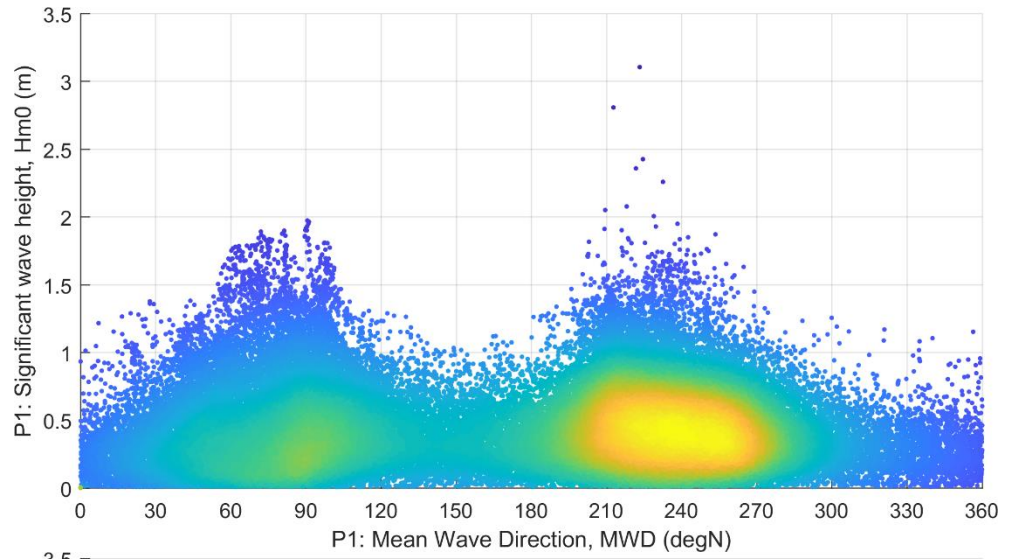


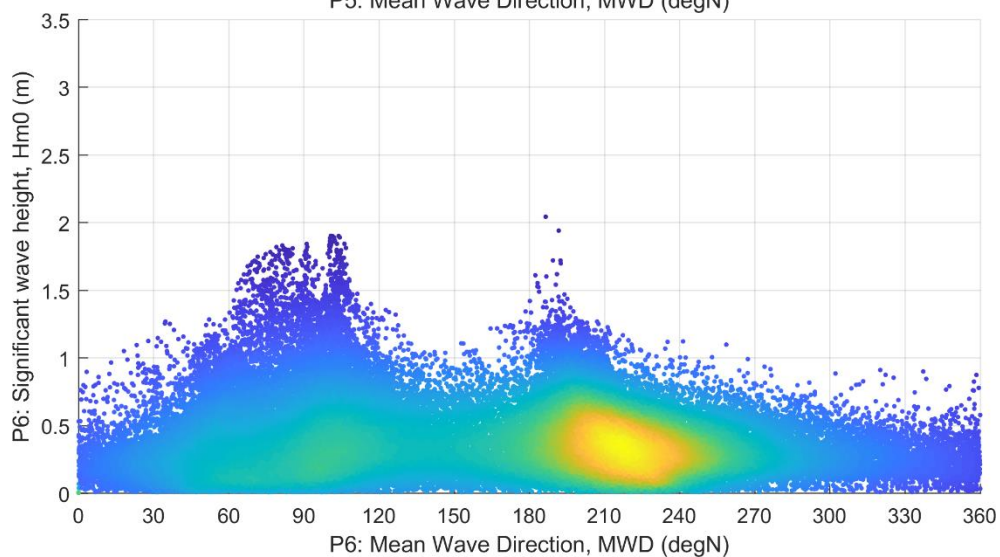
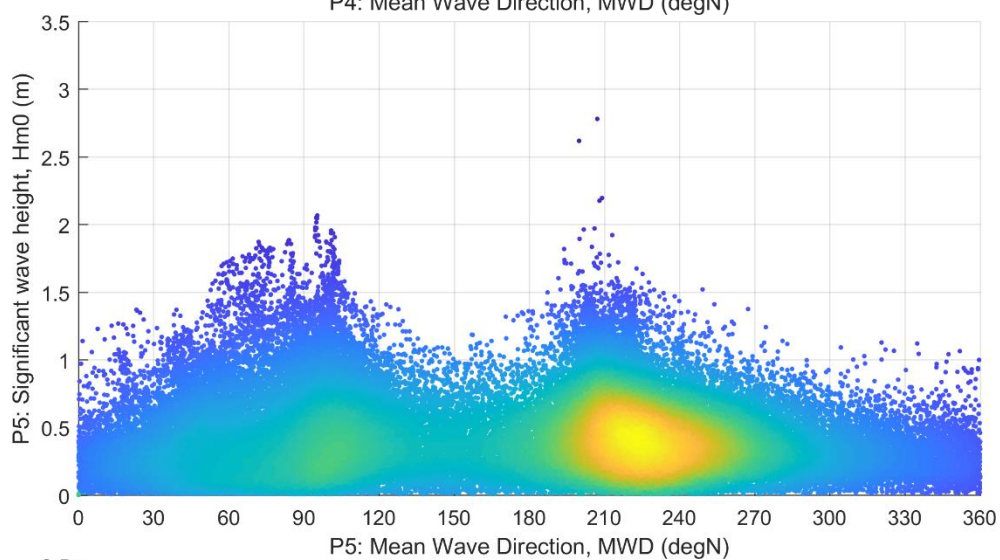
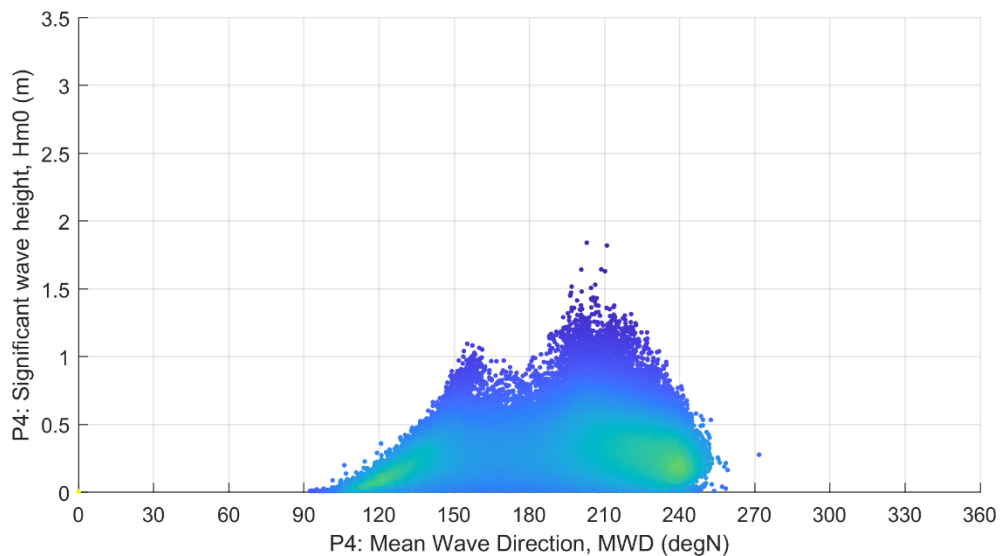


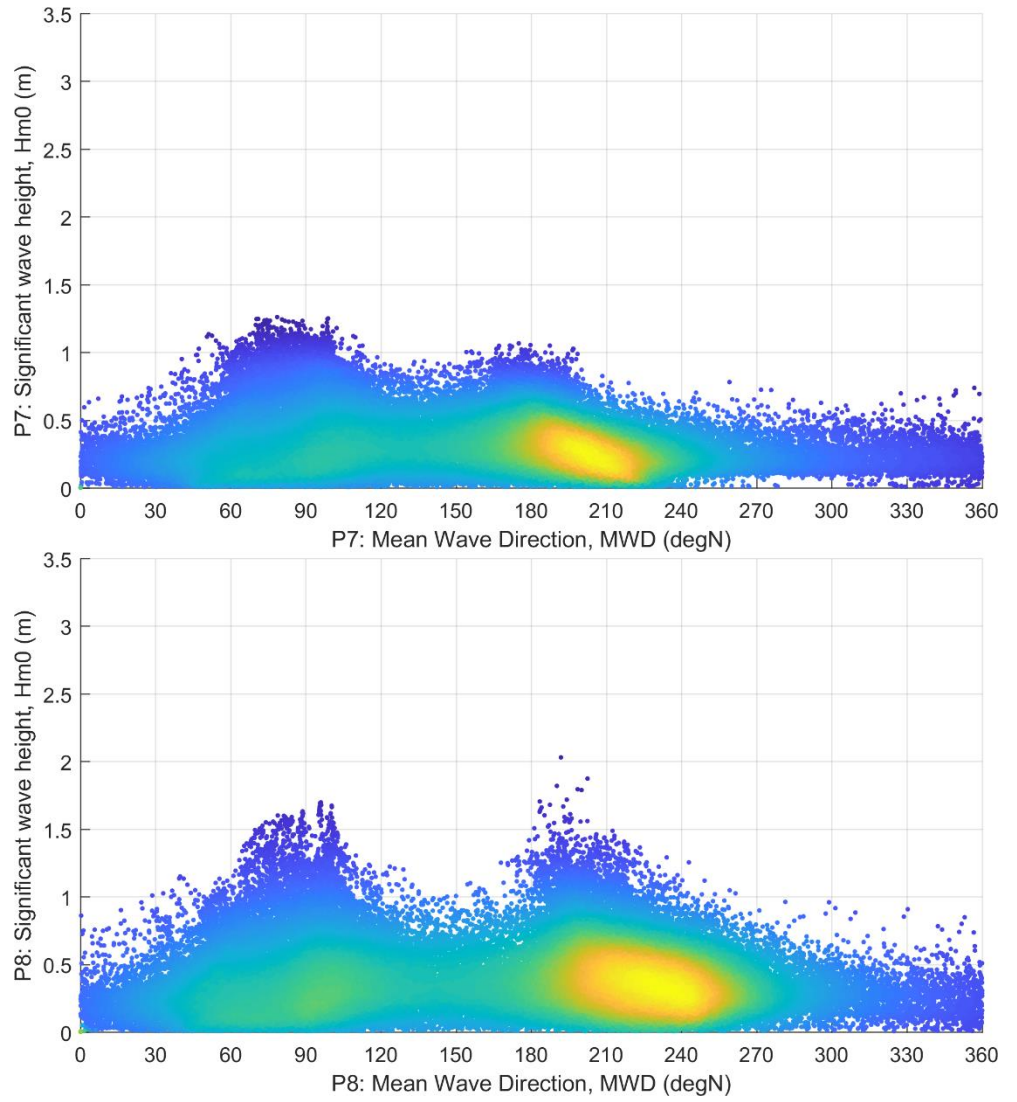




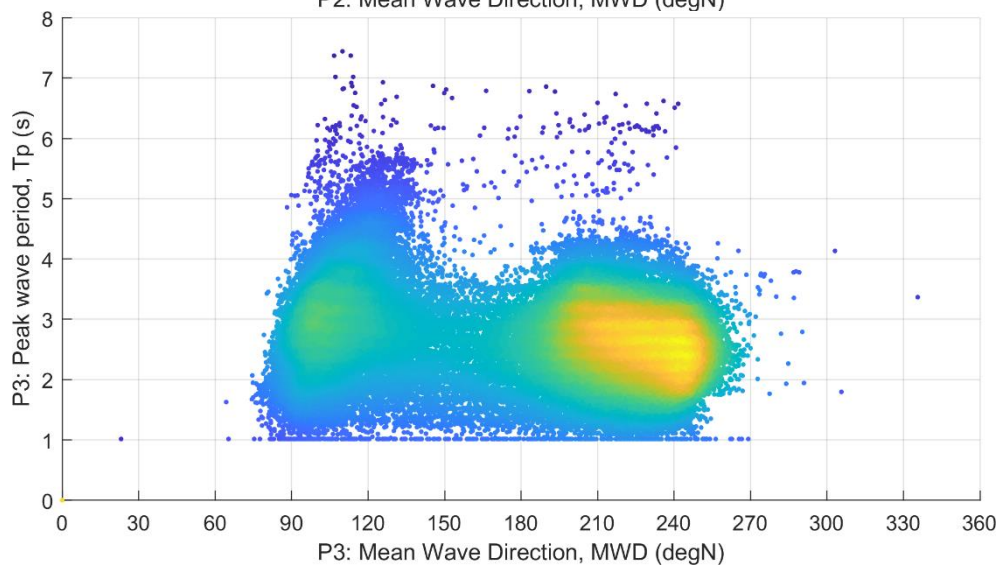
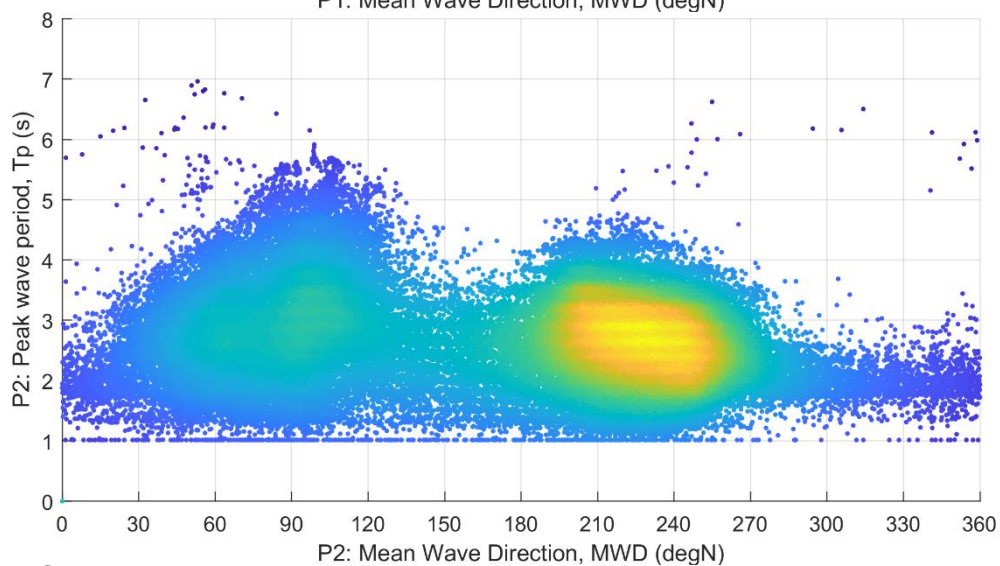
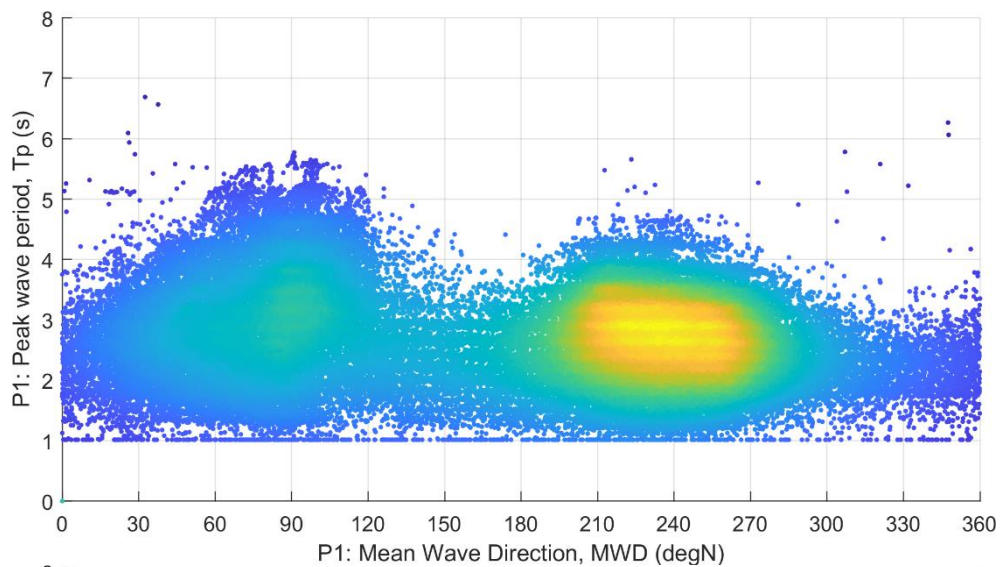
Figur B-1 Scatter plots, signifikant bølgehøjde mod peak bølgeperiode, P1 til P8.

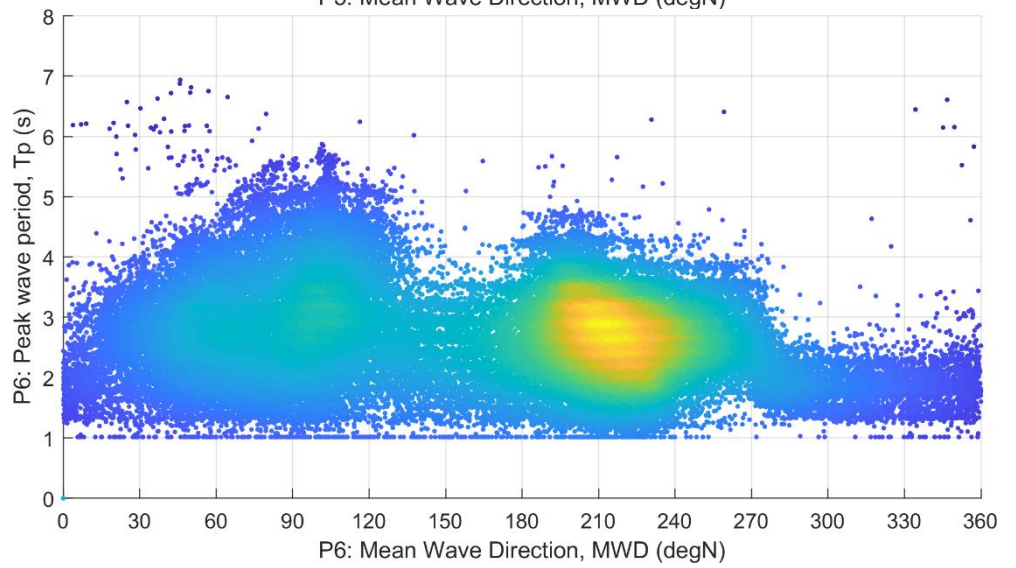
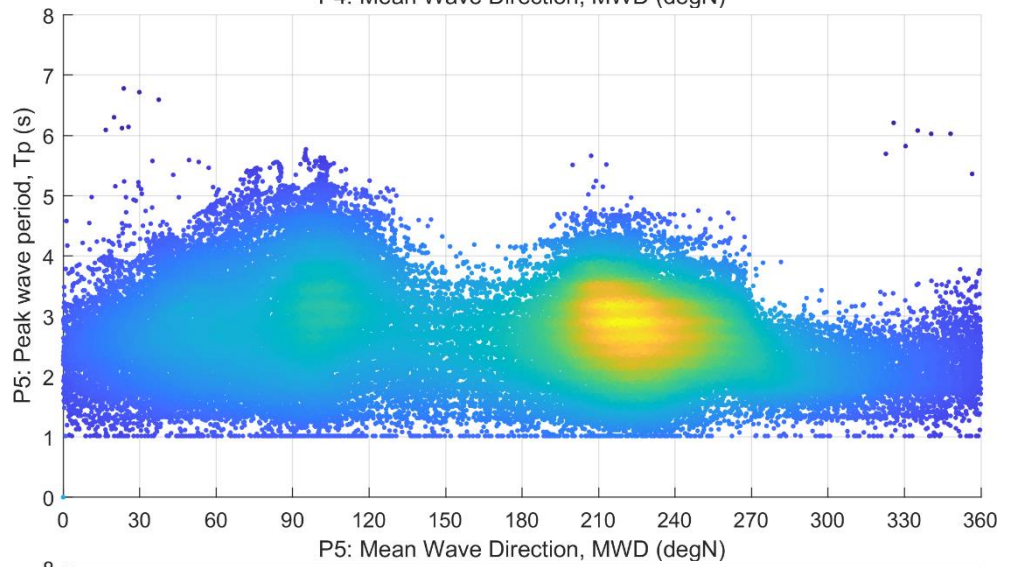
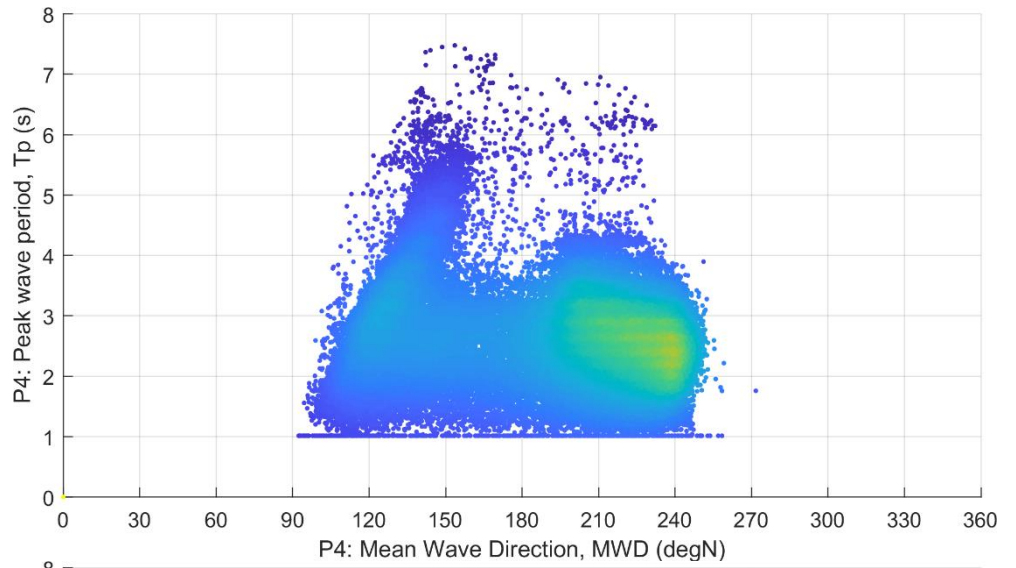


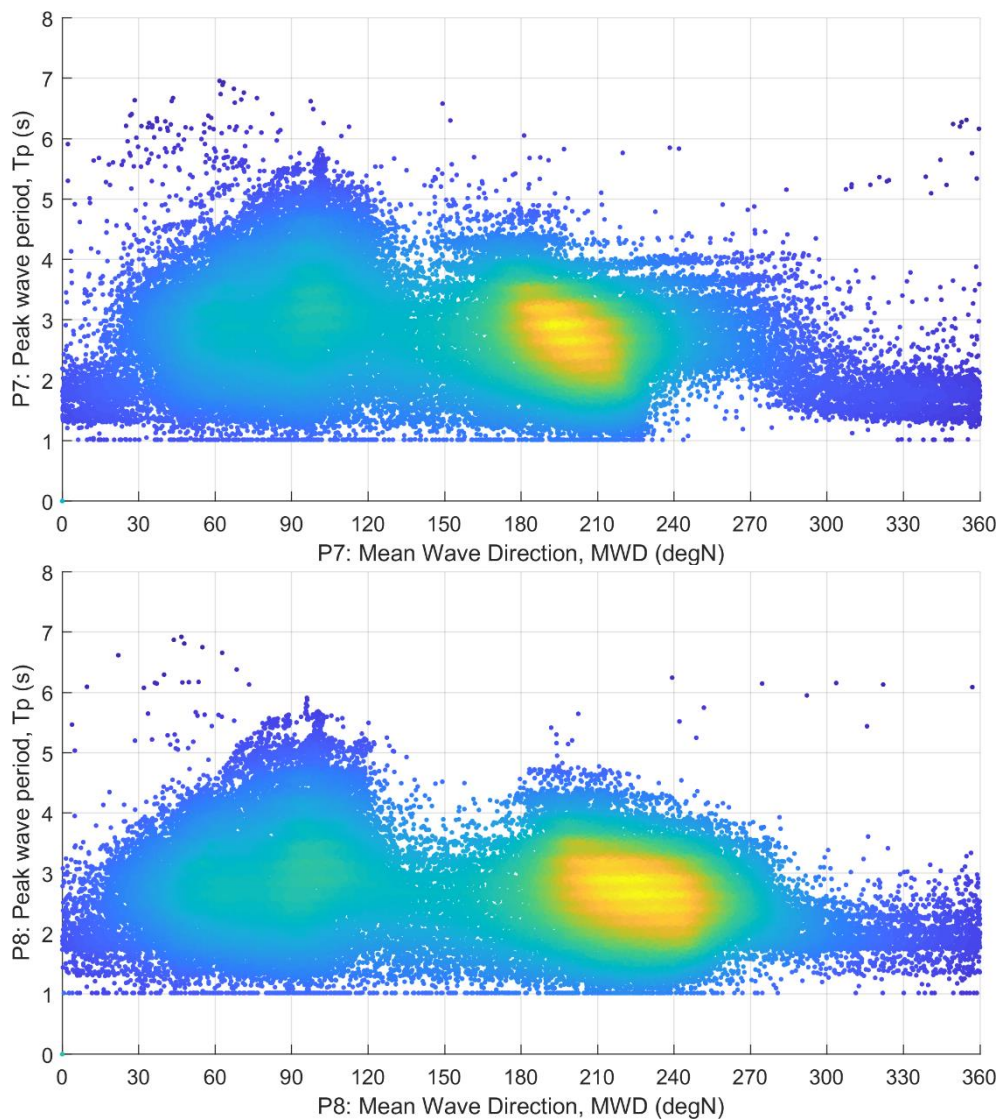




Figur B-2 Scatter plots, middelbølgeretning mod signifikant bølgehøjde, P1 til P8.

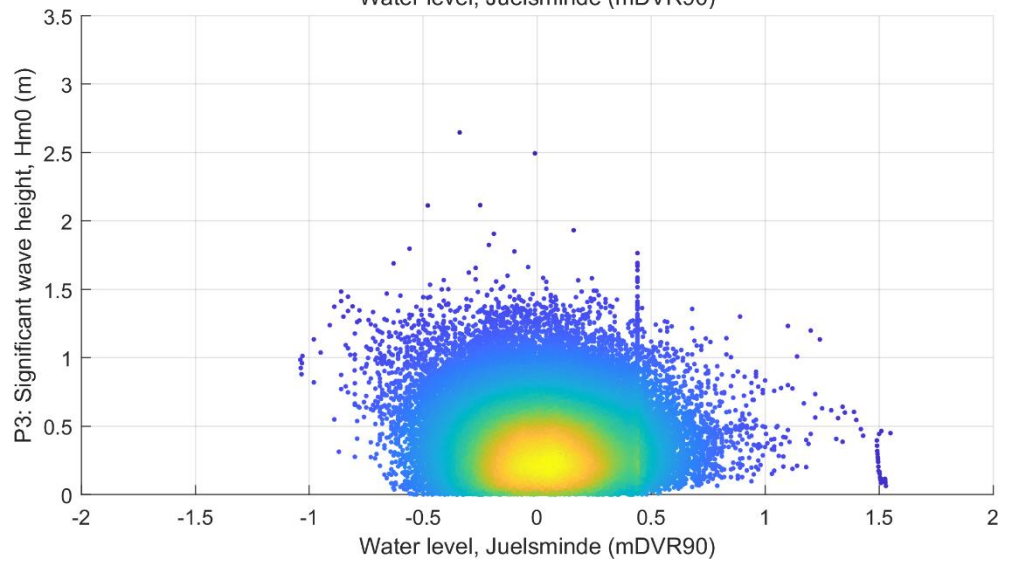
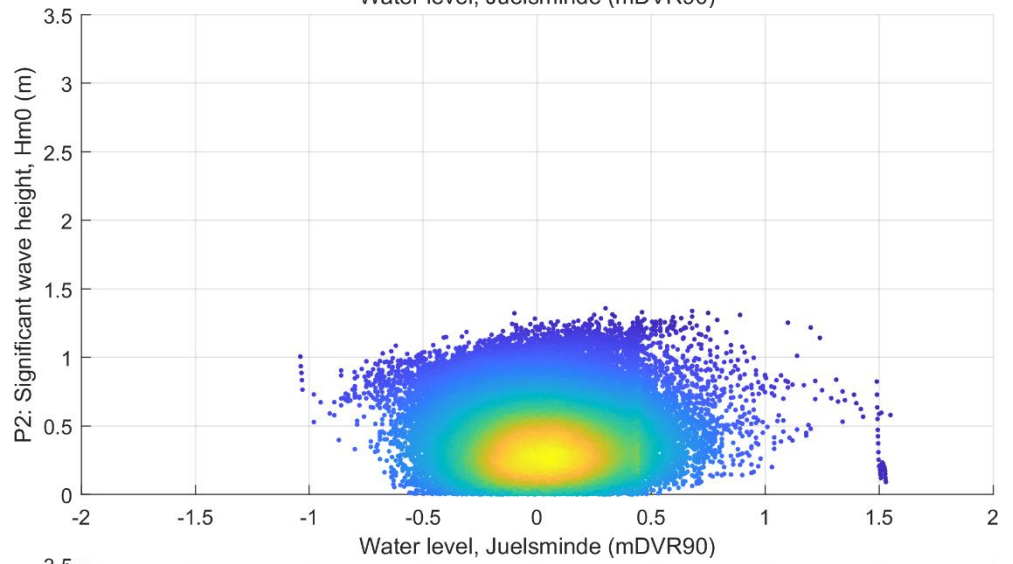
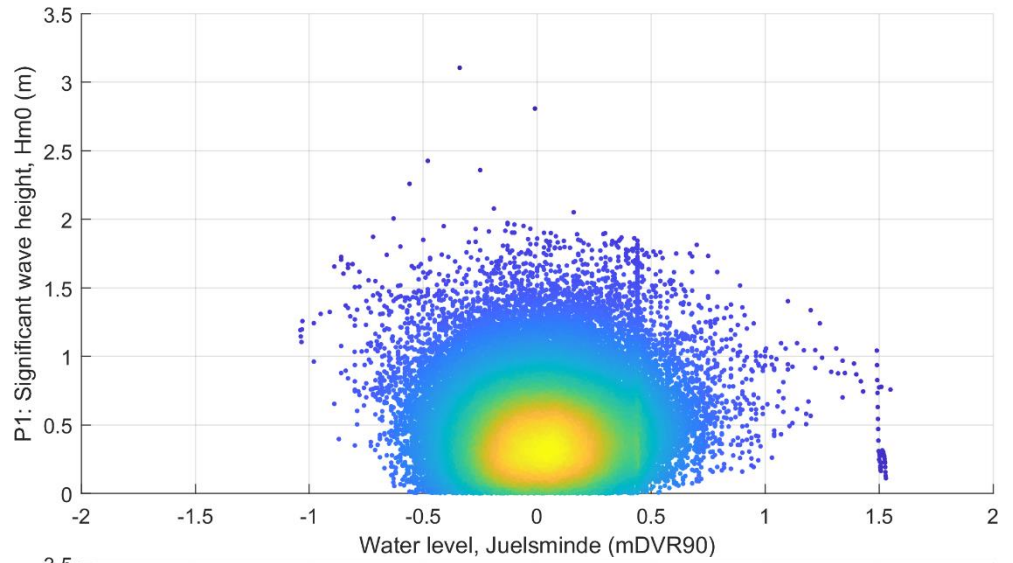


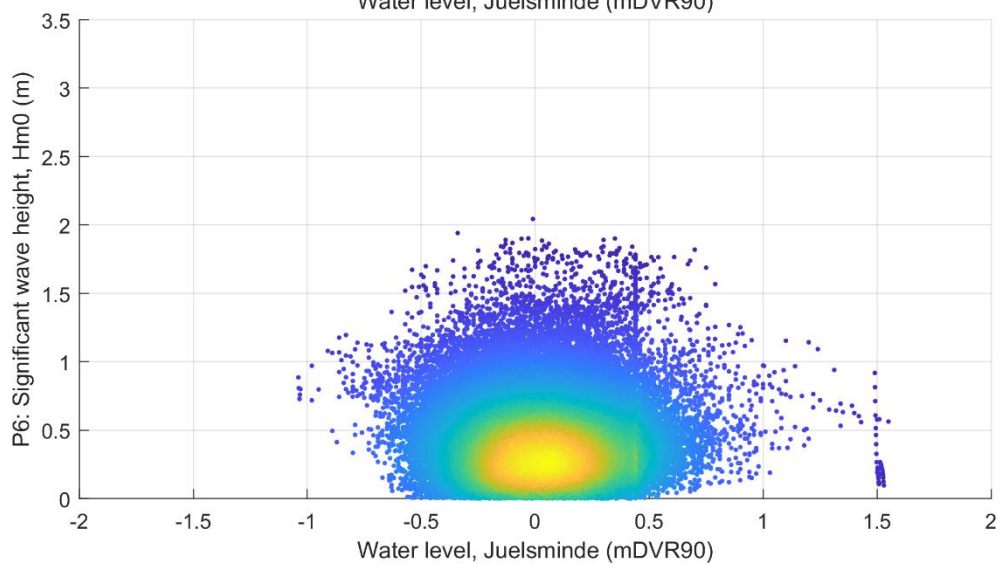
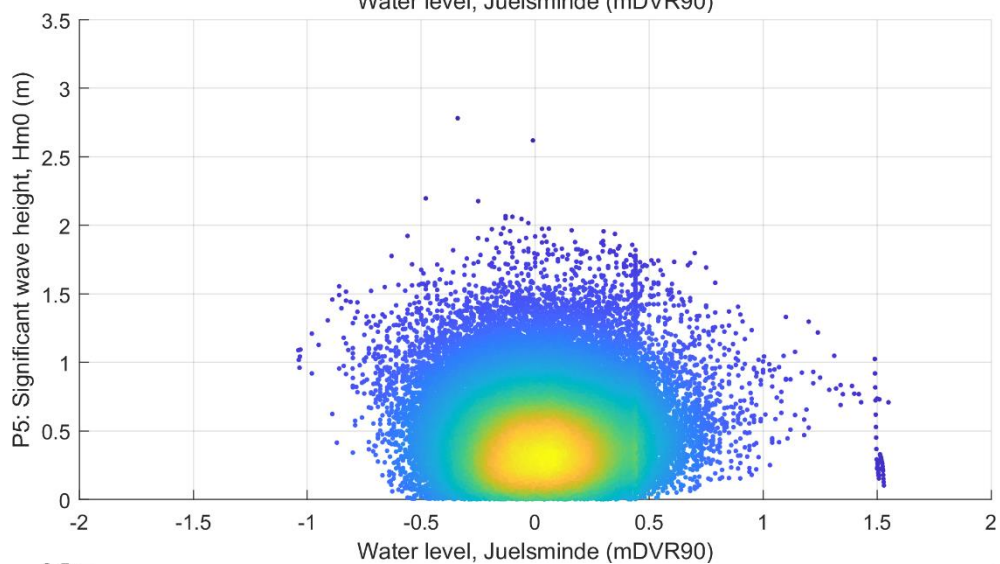
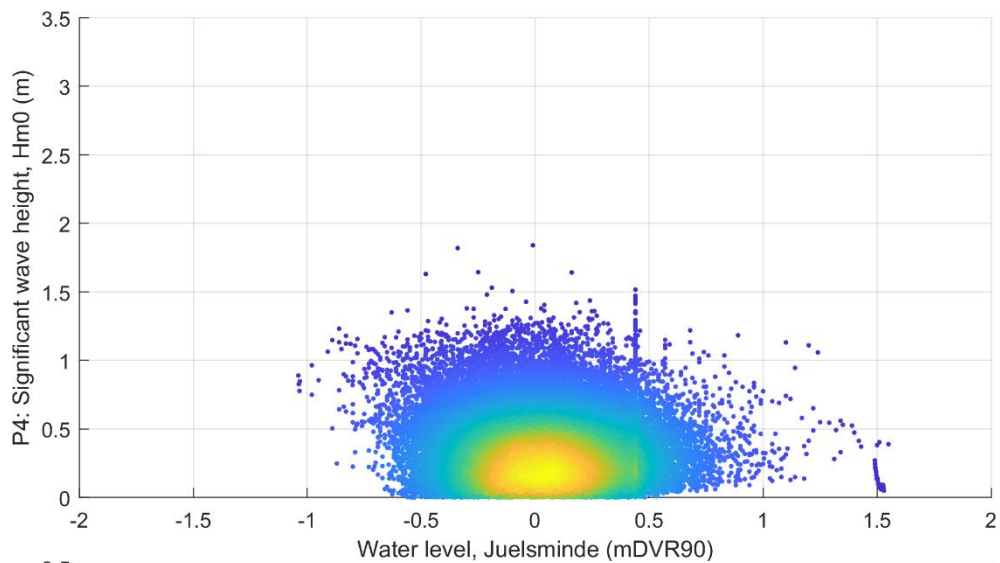


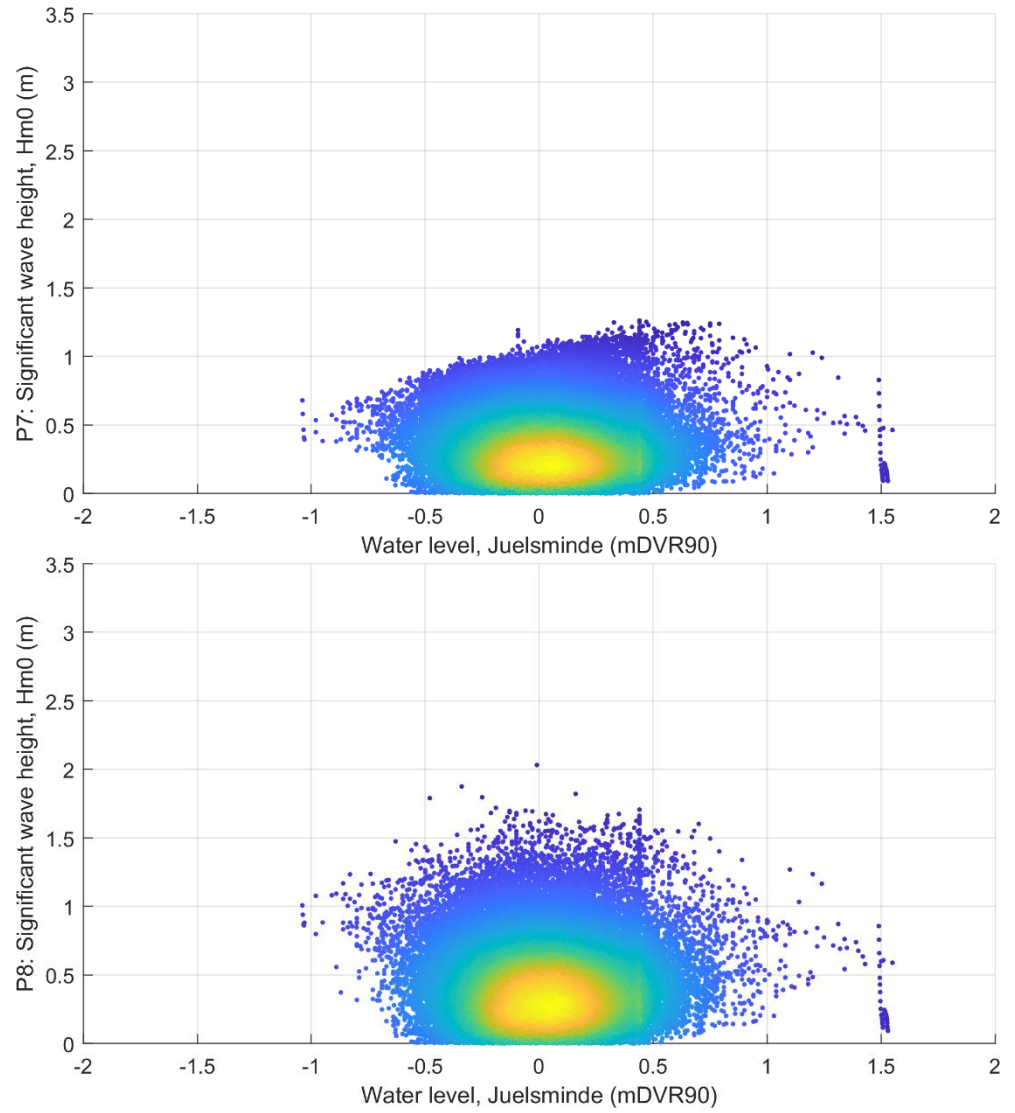


Figur B-3 Scatter plots, middelbølgeretning mod peak bølgeperiode, P1 til P8.









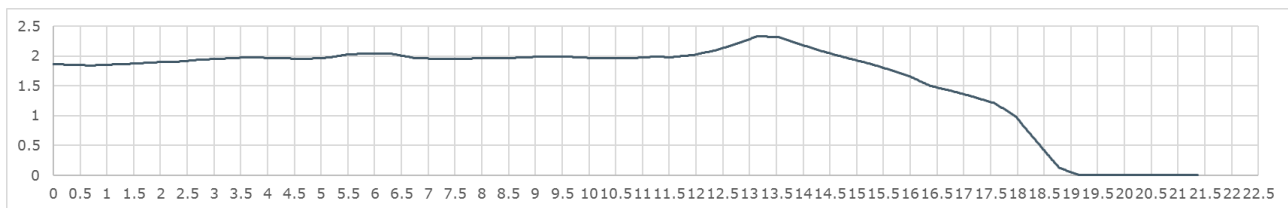
Figur B-4 Scatter plots, vandstand mod signifikant bølgehøjde, P1 til P8.

## Bilag C Kystprofiler på landsiden

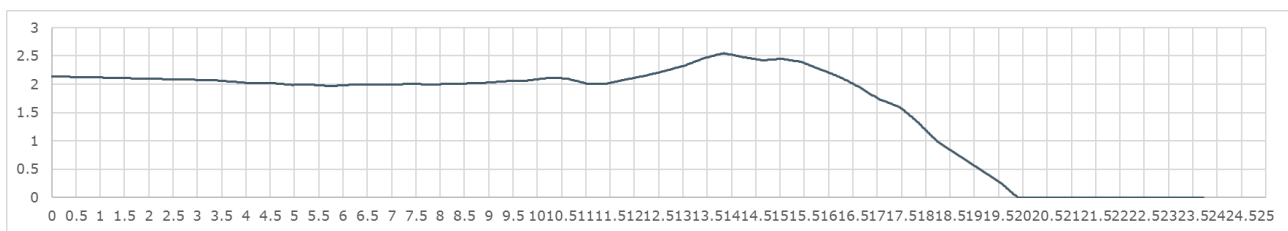
Baseret på COWIs in-house højdemodel, er der udtrukket tværsnit, se Figur C-1, der beskriver kystprofilerne som vist på Figur C-2 til Figur C-9 for snit 1-8.



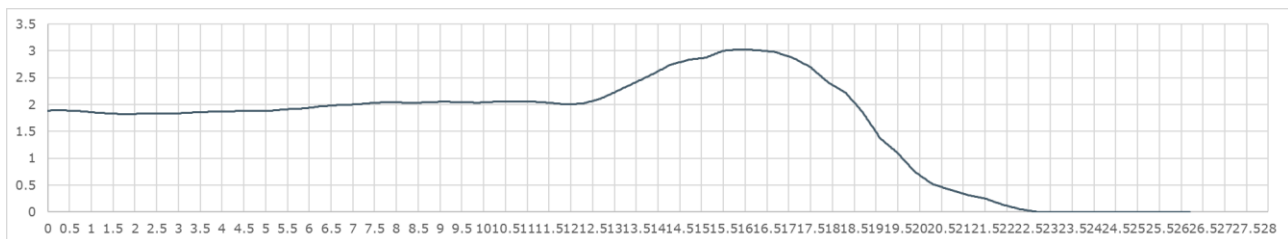
Figur C-1 Placering af udvalgte profiler på kysten – snit markeret og vist nedenfor.



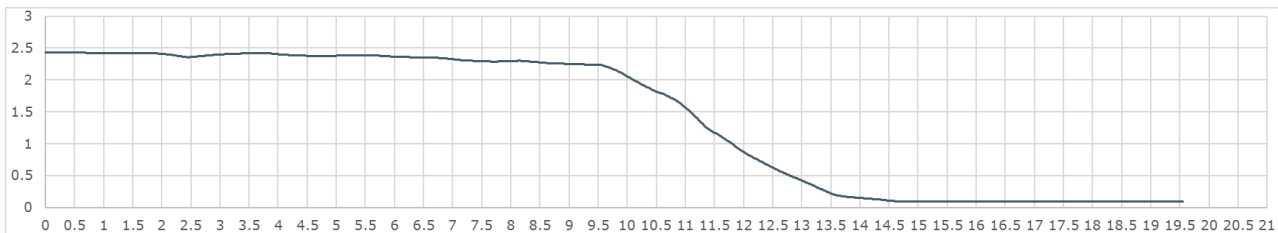
Figur C-2 Kystprofil - snit 1.



Figur C-3 Kystprofil - snit 2.



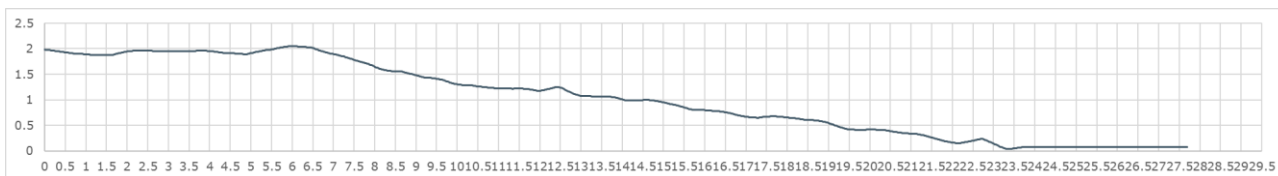
Figur C-4 Kystprofil - snit 3.



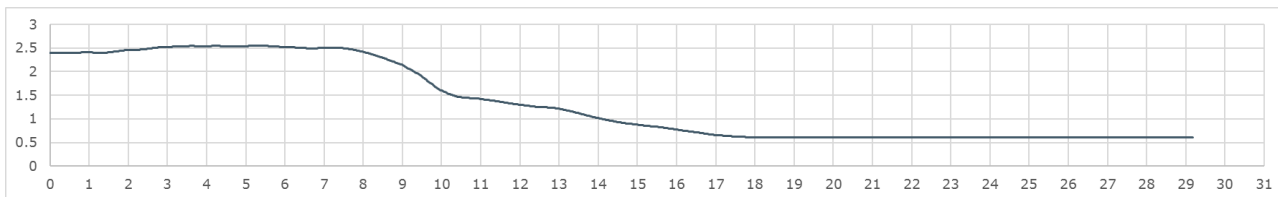
Figur C-5 Kystprofil - snit 4.



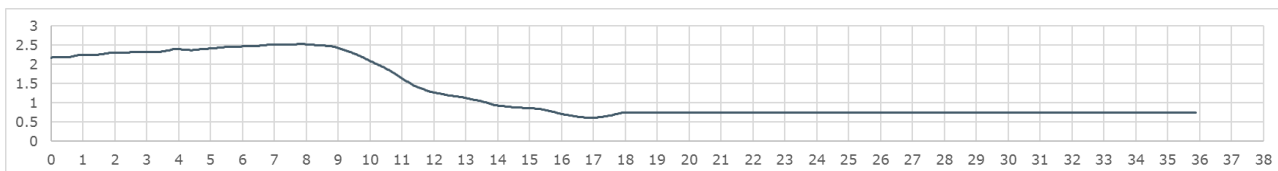
Figur C-6 Kystprofil - snit 5.



Figur C-7 Kystprofil - snit 6.



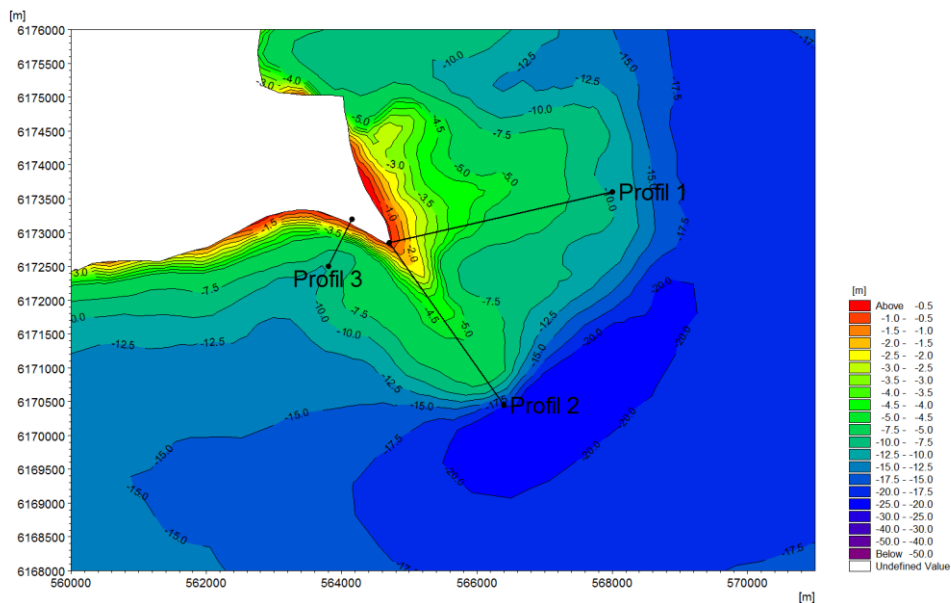
Figur C-8 Kystprofil - snit 7.



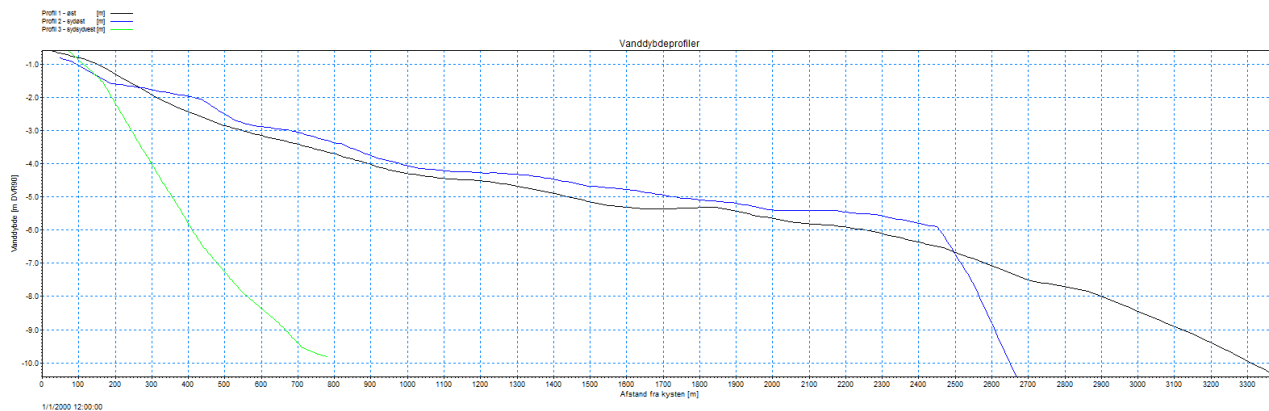
Figur C-9 Kystprofil - snit 8.

## Bilag D Kystprofiler på vandsiden

Baseret på bathymetri brugt i bølgemodellen, er der udtrukket profiler, se Figur D-1, der beskriver strandprofilerne som vist på Figur D-2 for profil 1, 2 og 3.



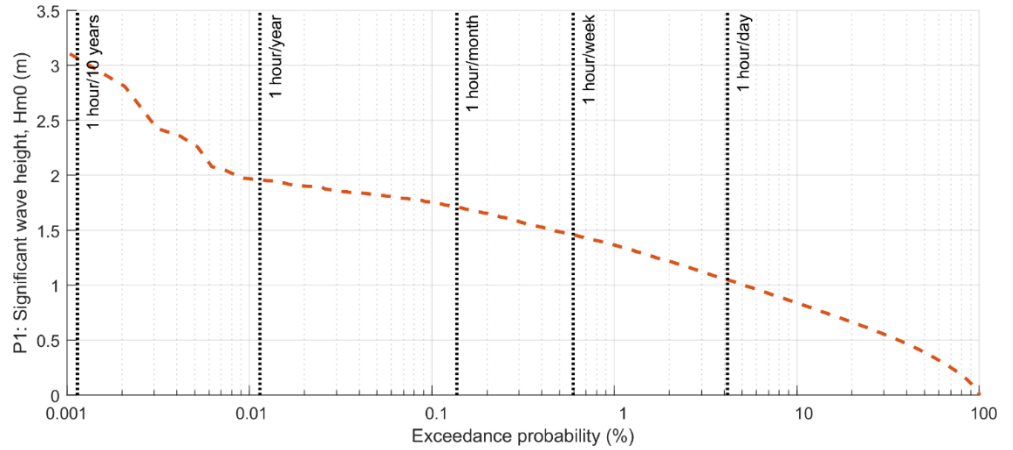
Figur D-1 Placering af udvalgte strandprofiler langs Bjørnsknude – profiler markeret og vist nedenfor.



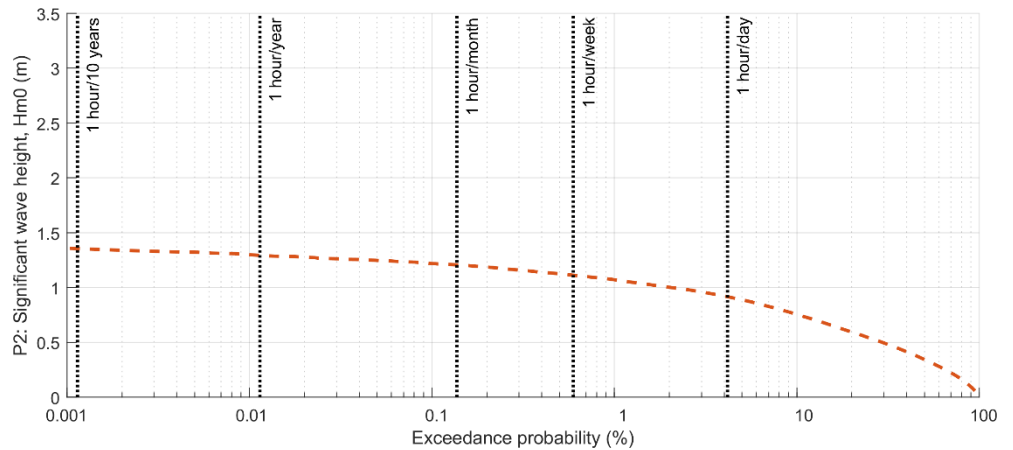
Figur D-2 Udtrukne strandprofiler langs Bjørnsknude.

## Bilag E Overskridelsessandsynlighed

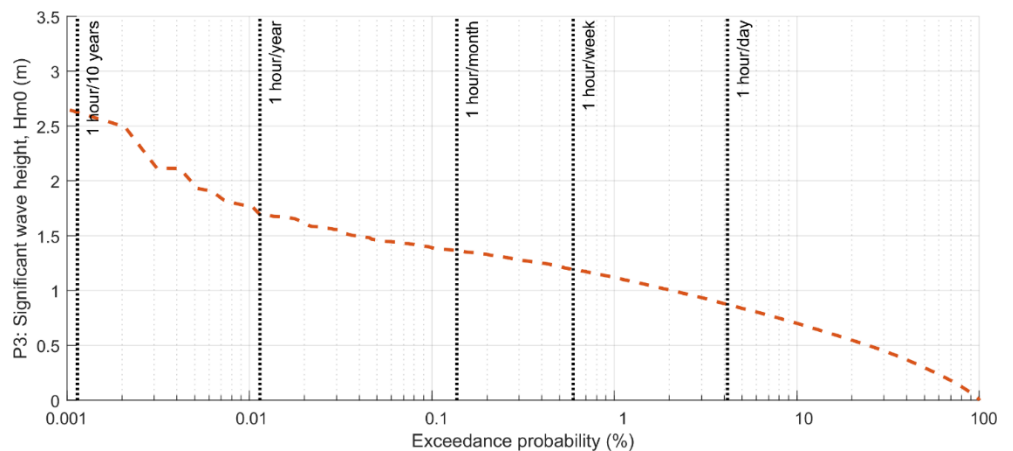
Figur E-1 til Figur E-8 viser bølgestatistikken i form af overskridelsessandsynligheder for de signifikante bølgehøjder ud for Bjørnsknude udtrykket i P1 til P8.



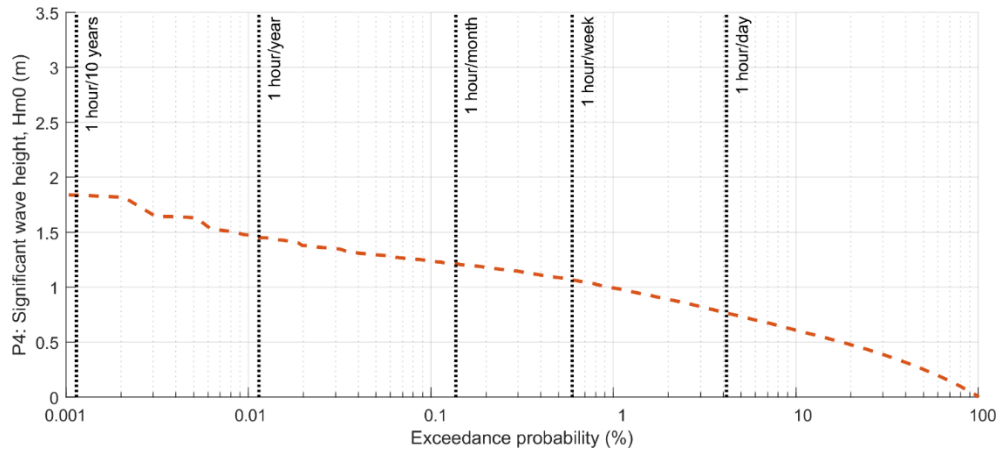
Figur E-1 Overskridelsessandsynlighed for signifikante bølgehøjder ved P1.



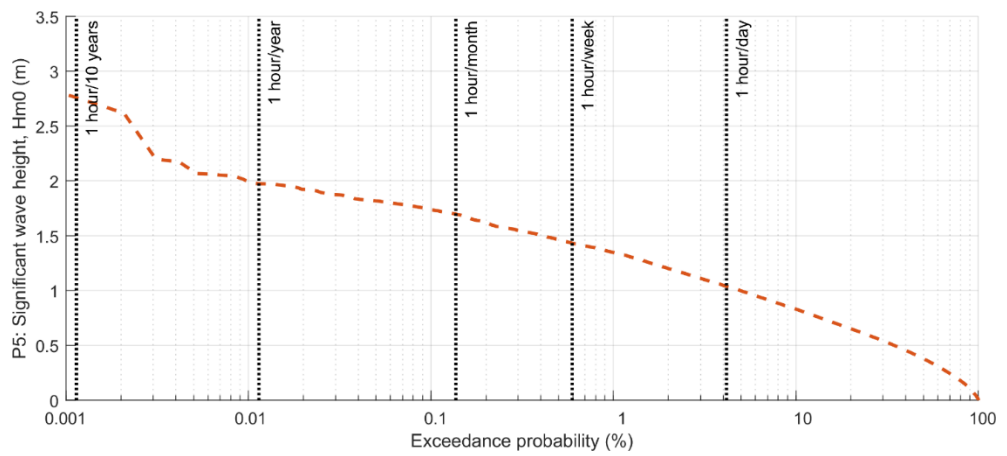
Figur E-2 Overskridelsessandsynlighed for signifikante bølgehøjder ved P2.



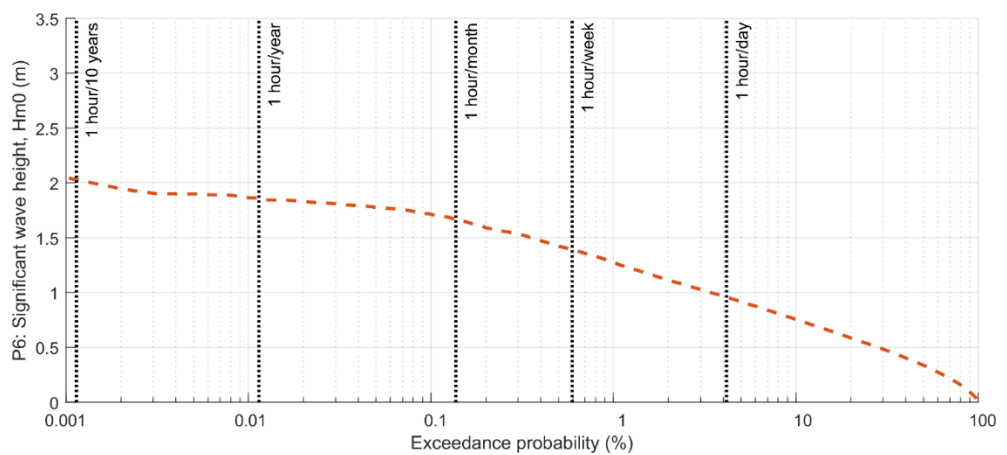
Figur E-3 Overskridelsessandsynlighed for signifikante bølgehøjder ved P3.



Figur E-4 Overskridelsessandsynlighed for signifikante bølgehøjder ved P4.

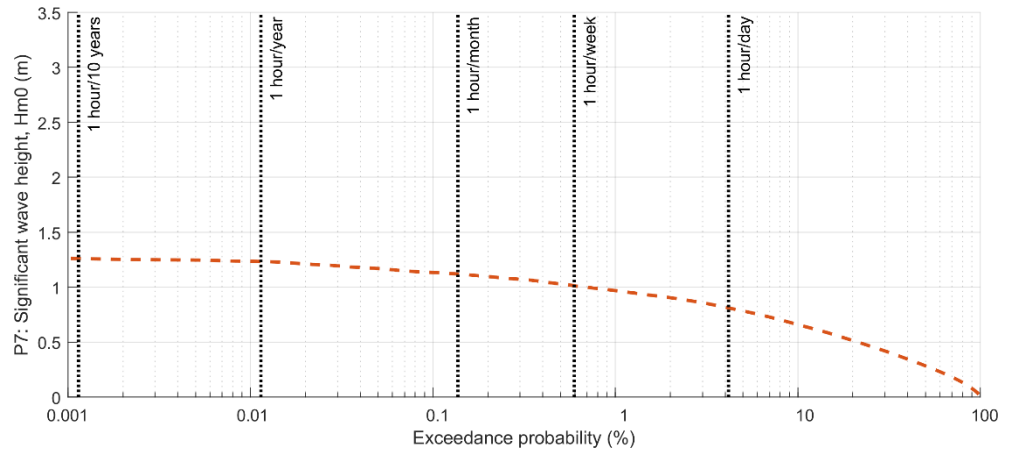


Figur E-5 Overskridelsessandsynlighed for signifikante bølgehøjder ved P5.

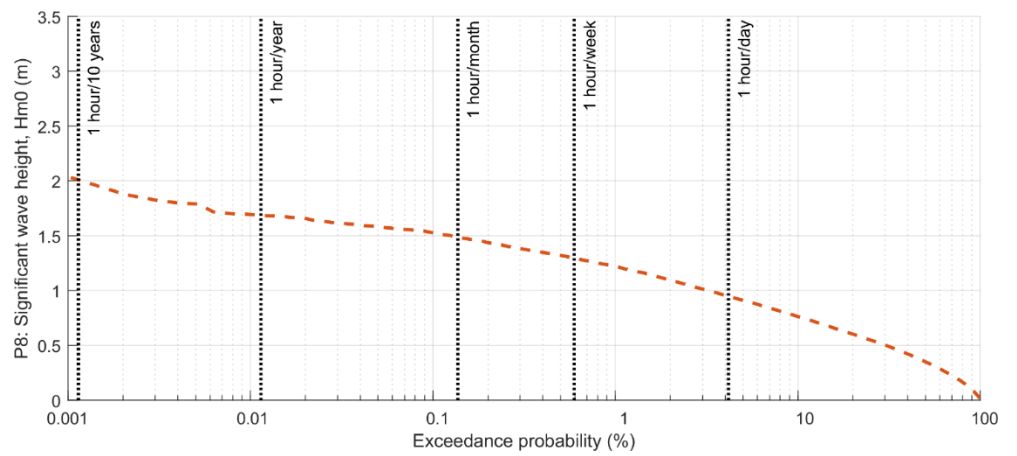


Figur E-6 Overskridelsessandsynlighed for signifikante bølgehøjder ved P6.





Figur E-7 Overskridelsessandsynlighed for signifikante bølgehøjder ved P7.



Figur E-8 Overskridelsessandsynlighed for signifikante bølgehøjder ved P8.