

# Kystbeskyttelse Højvandssikring

Digeområde 1, 2 og 3  
Halsskov bydel

---

Bestemmelse af dimensionsgi-  
vende bølger og højvande

---

**SLAGELSE KOMMUNE**  
CENTER FOR MILJØ, PLAN OG TEKNIK

---

REV. 9. FEBRUAR 2021



# Indhold

---

<b>1</b>	<b>Indledning</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Metode og datagrundlag</b>	<b>1</b>
2.1	Metodik	1
2.2	Klimaændringer og usikkerhed	2
2.3	Vandstand	4
2.4	Vind	4
2.5	Bathymetri	4
2.6	Bølgemodel	5
<b>3</b>	<b>Dataanalyse</b>	<b>7</b>
3.1	Vandstand versus Vind	7
3.2	Bølger	10
3.3	Overskyl	11
3.3.1	Position 1A 1	11
3.3.2	Position 1A 2	13
3.3.3	Position 1B	16
3.3.4	Position 1C	18
3.3.5	Position 2	20
3.3.6	Position 3	22
3.4	Design bølger og stenstørrelser på konstruktioner	23
3.4.1	Position 1A1 & 1A2	23
3.4.2	Position 1C	24
<b>4</b>	<b>Referencer</b>	<b>25</b>

---

Appendix 1: Kombineret sandsynlighed for vandstand/vindhastighed, Position 1C

Appendix 2: Design input & output, Position 1A 1

Appendix 3: Design input & output, Position 1A 2

Appendix 4: Design input & output, Position 1C

Appendix 5: Design input & output, Position 2

Appendix 6: Design input & output, Position 3

Projekt ID: 10404910  
Dokument ID:  
XTAXEUDDNY4W-75177900-787  
Ændret: 10-02-2021 11:43  
Revision 16. Januar 2020

Udarbejdet af TEB  
Kontrolleret af MLV, MML, JAD  
Godkendt af KBO

## 1 Indledning

Formålet med nærværende notat er at vurdere kronekoten og stabiliteten af de planlagte højvandsbeskyttelses anlæg af Halsskov bydel.

Digegrupperne har sammen med Kommunen valgt at dimensionere højvandsbeskyttelsen af Halsskov bydel for en 100-års middeltidshændelse i år 2050 med tillæg for klimaændringer.

Topkoten på digets krone bestemmes på grundlag af kriterier om det maksimale accepterede volumen af vand, der tillades at overskylle diget i designsituationen.

I områder med boliger eller andre følsomme konstruktioner placeret umiddelbart bag beskyttelsen defineres det maksimale overskyl under design-stormen typisk til 2 l/s/m [1].

Den hændelse, som kræver den højeste og stærkeste højvandsbeskyttelse, er ikke nødvendigvis den hændelse, hvor en ekstrem vandstand svarende til en 100-års vandstand forekommer. En hændelse med en moderat forhøjet vandstand og ekstremt høje bølger (kraftig vind) kan give større bølger og højere opskyl.

Denne rapport indeholder modelberegninger af de for digets design mest kritiske kombinationer af vandstand og bølgehøjde svarende til en 100-års hændelse fremskrevet til 2050.

## 2 Metode og datagrundlag

I dette kapitel redegøres for de metoder og værktøjer, der er benyttet til beregningerne af de kritiske kombinationer af bølge- og vandstandsforhold.

### 2.1 Metodik

Størrelsen på overskylling styres af en kombination af vandstand og bølgehøjde samt designet af højvandsbeskyttelsen, herunder først og fremmest digets forsidehældning, idet en flad konstruktion giver et mindre overskyl end en stejl konstruktion og idet en "ru" og permeabel konstruktion, såsom en stenkastning, giver mindre overskyl end et tæt græsdige.

Vandstanden har været målt i Korsør Havn i mange år, men der findes ingen samtidige bølgemålinger til vurdering af den kombinerede hændelse af bølger og vandstand. I stedet bruges vinden, som er målt samtidigt med vandstanden i Korsør, som en overgangsparameter, til at vurdere den kombinerede hændelse af vind og vandstand. Herefter bruges den fundne vind som input til en modelberegning af den til vinden svarende bølgehøjde foran konstruktionen.

På dette grundlag findes en række mulige 100-års kombinationer af bølger og vandstand.

Den samlede fremgangsmåde er skitseret i detaljer nedenfor:

- 1) Vandstand og vind, i kombineret 100-års hændelse

- a. Vandstanden i Kystdirektoratets (KDI) højvandstandsstatistik [2] er første input, da denne er bestemt som en 100-års vandstand uafhængigt af vinden.
  - b. Statistikanalyse af samørende værdier af vandstand (observationer i Korsør Havn [3]) og vindhastighed (ERA5 [4]) i skridt af 30° på vindretningen.
- 2) Vandstand og bølger, i kombineret 100-års hændelse
    - a. Modellering af de i pkt. 1) fundne kombinationer af vandstand og vind for en 100 års middeltidshændelse inkl. havspejlsstigning frem til år 2050.
  - 3) Overskyl ved 100 årshændelse i år 2050 inkl. havspejlsstigning
    - a. Overskyl beregnet med udgangspunkt i EurOtop [1] og input fra pkt. 2) mht. vandstand og bølger.

Til at modellere bølgerne er der anvendt MIKE21 SW, som er en spektral bølgemodel udviklet af DHI [5].

## 2.2 Klimaændringer og usikkerhed

Med hensyn til kystbeskyttelse er der to forhold, der ændres som følge af klimaforandringerne:

- 1) Vandstand
- 2) Bølger, som dannes af vinden

Størrelsen på den forventede stigning af middelvandspejlet frem til år 2050 er behæftet med nogen usikkerhed og dækker over et vist spænd, vurderet til

- 0,25 m, ved centralt estimat, Figur 2.1.
- 0,1 m, tillæg til ekstremituationerne pga. vandstandsmålerens placering i havnen, der også er indløb til Korsør Nor. Maksimum vandstanden må derfor forventes at være lavere end vandstanden på kysten, da opfyldningen af noret har en længere varighed end den maksimale vandstand på kysten.
- 0,1 m givet af vand og lokale vindstuvninger af vandstanden inkl. diverse usikkerheder.

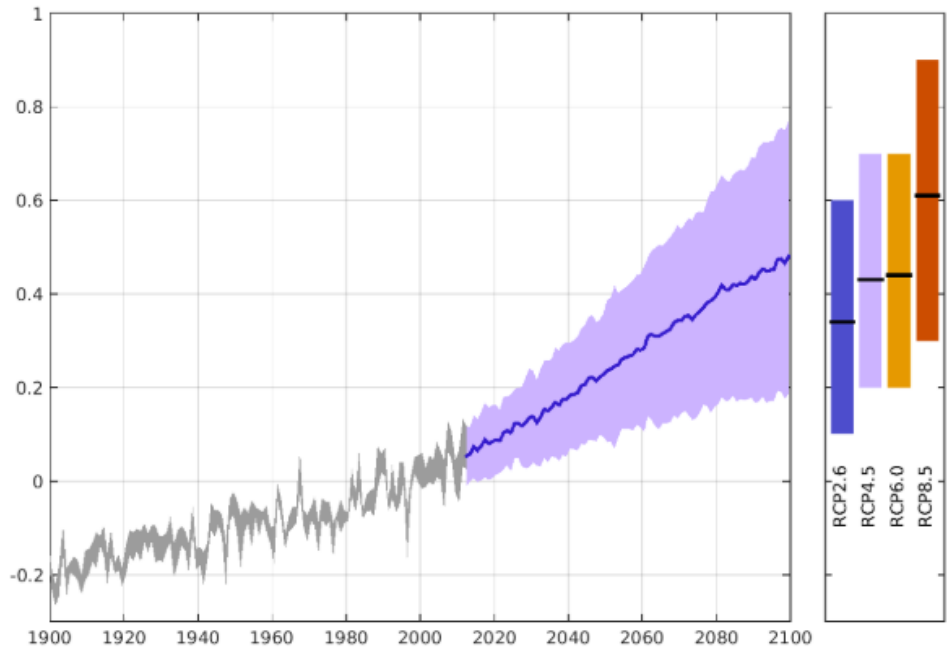
Hvilket sammenlagt giver et tillæg på 0,45 m.

De estimerede ændringer i middelvinden i vinterperioden i år 2100, Figur 2.2, ligger mellem ingen ændring til 0,3 (B2) og 0,5 m/s (A2), hvilket for sidstnævnte svarer til en 7 % stigning. Udover at det vurderes, at klimaændringerne vil medføre øget stormintensitet, er påvirkningen på ekstremvindene ikke vurderet. Som kompensation for dette tillægges ekstremvindene i år 2050 10% på vindhastigheden.

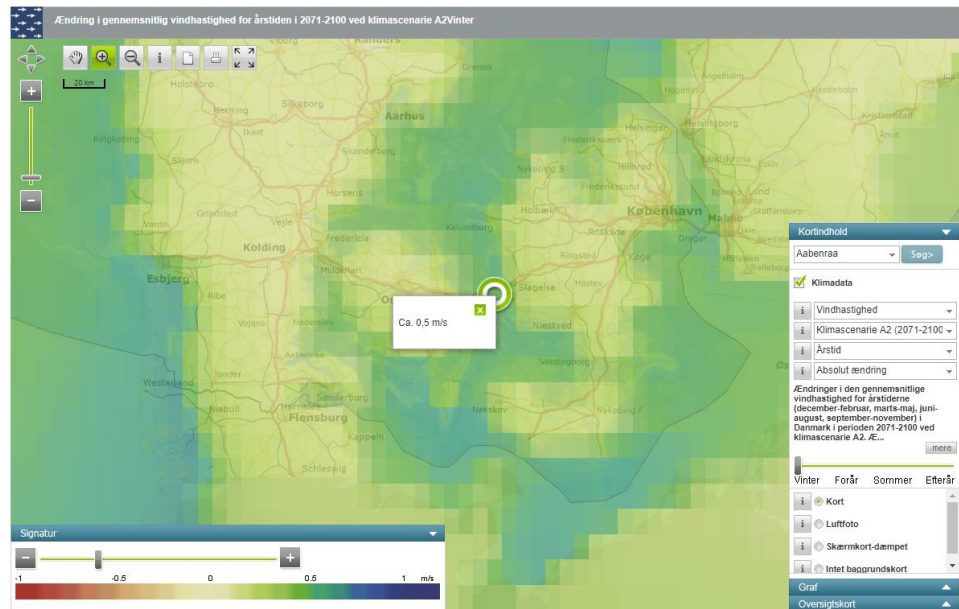
Figur 2.1: Fremtidens vandstand i Danmark [6].

Den absolutte middelvandstand ved Danmark i meter for årene 1900-2100, i forhold til middelvandstanden i referenceperioden 1986-2005. Den blå 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. Kilde: Baseret på Olesen et al. 2014 figur 9.

Ændringer i middelvandstand [meter]	Globalt middel	Danmark
RCP2.6	0,40 (0,26 - 0,54)	0,34 (0,1 - 0,6)
RCP4.5	0,47 (0,32 - 0,62)	0,43 (0,2 - 0,7)
RCP6.0	0,47 (0,33 - 0,62)	0,44 (0,2 - 0,7)
RCP8.5	0,62 (0,45 - 0,81)	0,61 (0,3 - 0,9)



Figur 2.2: Forventet ændring i middelvinden for klimascenarie A2 [7]

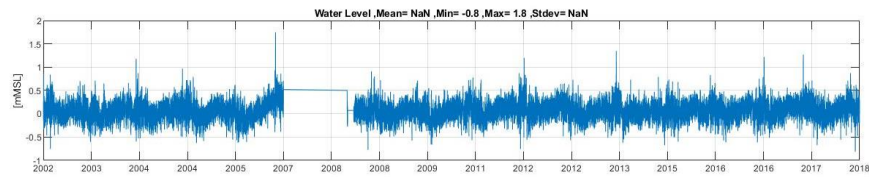


## 2.3 Vandstand

Vandstandsobservationer er til rådighed fra en måler, som er placeret i Korsør Havn ved indløbet til Korsør Nor. Målingerne dækker følgende to perioder, Figur 2.3:

- 2001-01-01 til 2007-01-01
- 2008-04-09 til 2018-12-31

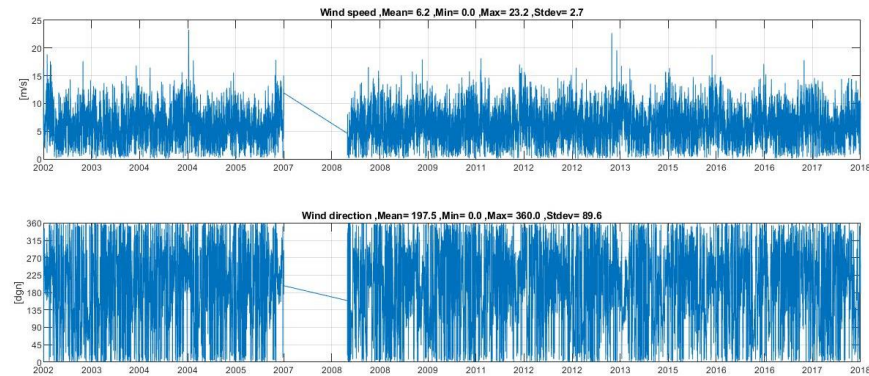
Figur 2.3: Vandstand målt ved Korsør



## 2.4 Vind

Til at repræsentere vinden ved Korsør er der benyttet vind fra den globale model ERA5 drevet af ECMWF [4]. Vinddata er til rådighed som timeværdier i et beregningsnet på 0,25° dvs. ca. 27 km for perioden januar 1979 til og med december 2018 i både 10 m og 100 m højde over terrænen, Figur 2.4.

Figur 2.4: Vind @ 10 m for samme periode som vandstanden.



## 2.5 Bathymetri

De anvendte vanddybder i modellen er baseret på:

- Opmåling lokalt med single beam, Figur 2.5.
- AIS data i et 100 m grid [8].

Figur 2.5: Punkter med opmålte dybde, single beam opmåling NIRAS 2019.



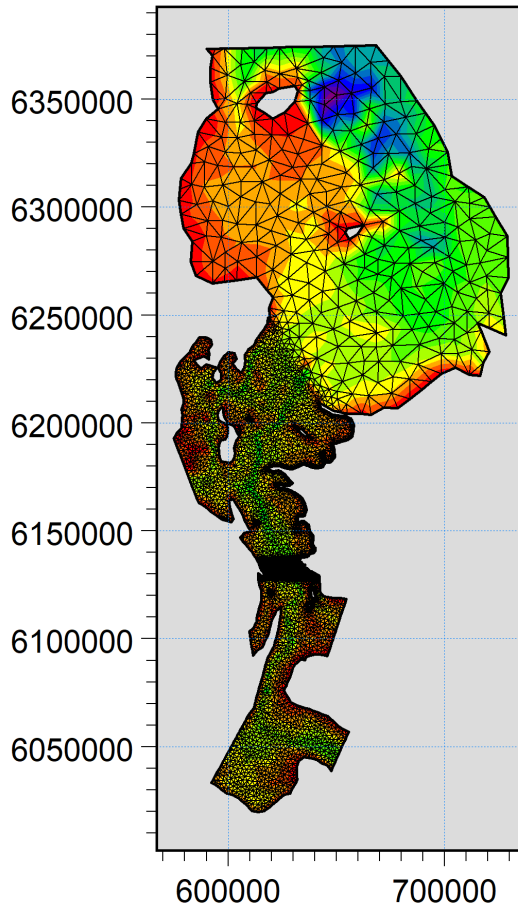
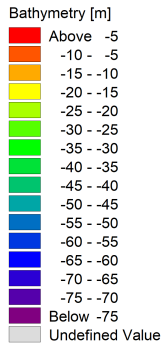
## 2.6 Bølgemodel

Bølgerne i lokalområdet er bestemt ved hjælp af DHI's spektral bølge model baseret på standard værdier af modelparameter. Erfaringsmæssigt kræver modellen kun mindre justeringer, hvorfor anvendelse af standard værdier er vurderet som et godt udgangspunkt til modellering af repræsentative bølger for området.

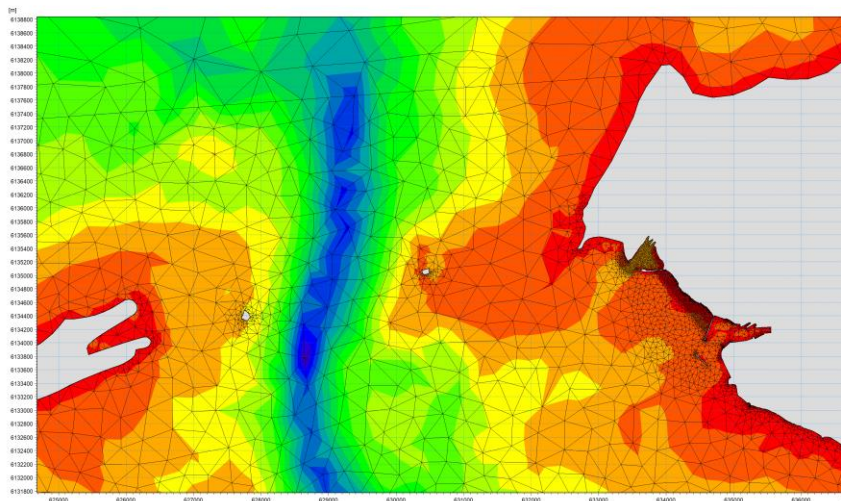
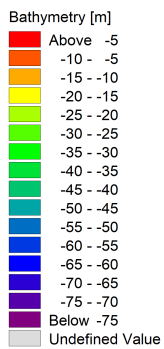
Til at drive bølgerne er vandoverfladen påtrykt en konstant vind og vandstand svarende til de statistisk kombinerede hændelser. Modelområdet, som er vist på Figur 2.6 omfatter Kattegat og hele Storebælt. Udstrækningen er så stor, at energien hen over de åbne rande mod hhv. nord og syd er ubetydelig for beregningen af de lokale bølger ved Halskov i det lokale net, se Figur 2.7. Energien hen over de ydre modelrande er derfor negligeret.



Figur 2.6: Hele modellen dækkende Kattegat og Storebælt. Model beregningsnet og vanddybde.



Figur 2.7: Lokalt beregningsnet og vanddybde fra Sprogø, Østrenden og kysten ud for fokusområdet nord for Korsør.





De lokaliteter, der er trukket data fra, er vist på Figur 2.8. De dækker højvandsbeskyttelser i de tre digeområder.

Figur 2.8: Markering af punkter for udtræk af bølgedata.



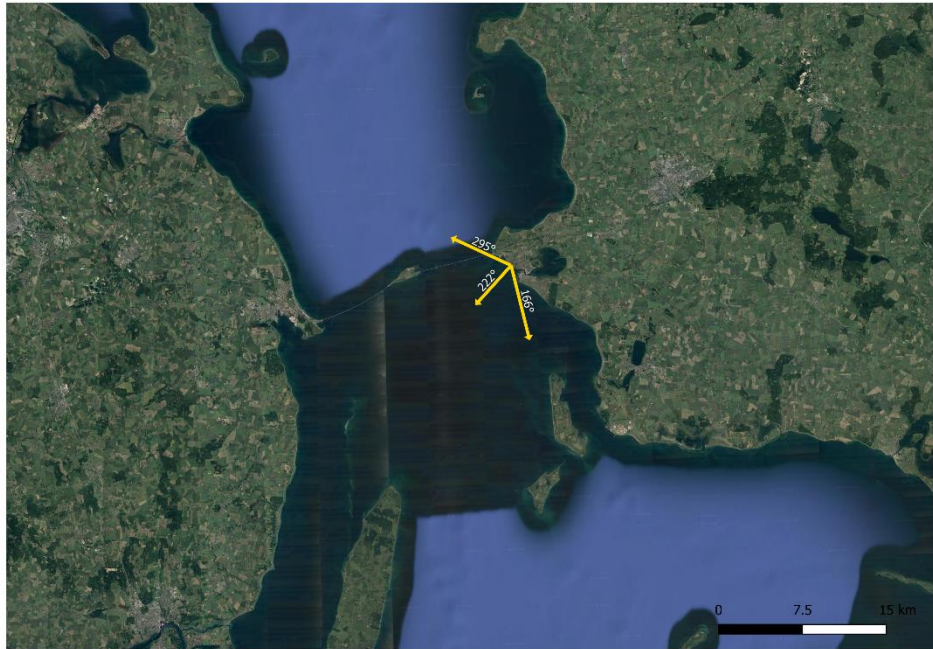
### 3 Dataanalyse

For kystbeskyttelse er det kombinationen af størrelsen på bølgerne og den samtidigt forekommende vandstand, der er dimensionsgivende. Da bølgedata ikke er tilgængelige for perioden med tilgængelige vandstandsdata, og da bølgerne er givet af de lokale vindforhold, er det (som beskrevet i kapitel 2) valgt at betragte vindhastigheden og vindretningen i forhold til vandstanden ud for Halskov/Korsør.

#### 3.1 Vandstand versus Vind

Området der betragtes, Figur 3.1, er udsat for bølger fra sektoren 150° i syd til 0° i nord.

Figur 3.1: Placering af fokusområde med angivelse af bølgevinkelrum og kystnormal.



h

Ca. hvert 5. år udarbejder KDI en højvandsstatistik for de danske tidevandsstationer. Fra den seneste statistik fra 2017 [2] er de højeste 13 vandstande udtrukket og sammenholdt med den gennemsnitlige vindhastighed og vindretning for tidspunktet for højvande +/-2.5 time, Tabel 3.1. For de fire vandstande (rød skrift i Tabel 3.1), hvor klokkeslættet er kendt, kommer vinden i alle tilfælde fra vinkelrummet NV-NØ. Halsskov ligger delvist i læ for bølger skabt fra dette vinkelrum.

Tabel 3.1: Største 13 højvande i Korsør [2]. Gul baggrund: ERA5 vind findes. Rød font: klokkeslæt for højvande er kendt. Wl: max. Vandstand. Wspd: vindhastighed i 10 m som middel over 5 timer omkring højvande. Wdir: vindretning i 100 m som middel over 5 timer omkring højvande. Hændelsen 2006-11-01 svarer til en 100-års vandstand.

Date	Wl [cm]	Wspd [m/s]	Wdir [dgn]
2006-11-01	158	12.9	348.2
1904-12-31	155	-	-
1993-02-21	152	9.0	359.6
1914-09-19	133	-	-
2013-12-07	130	16.2	311.7
1898-12-16	129	-	-
1914-01-09	129	-	-
1983-11-28	128	14.4	19.8
1973-11-20	121	-	-
1921-10-24	119	-	-
1922-01-01	118	-	-
1958-01-07	118	-	-
2017-01-05	117	9.7	33.3

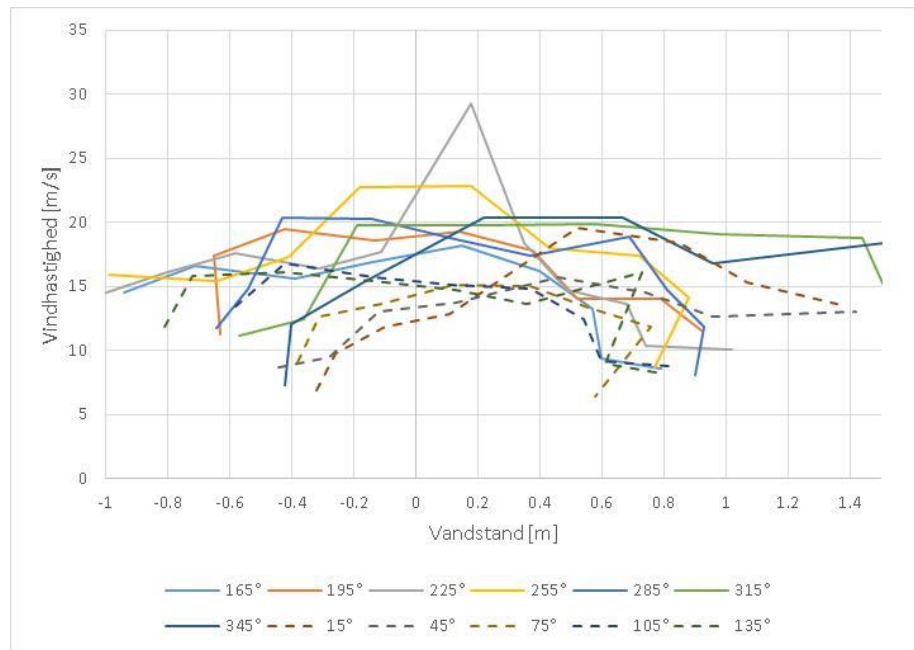
Dette giver en indikation af, at højvande og store bølger normalt ikke er sammenfaldende.

Betragtes de kombinerede hændelser af vandstand og vindhastighed stepvis i vinkelrum af 30° for 100-års hændelsen fremgår det, at der er en tendens til, at vindhastigheden, illustreret ved position 1C, falder ved stigende vandstand, se Appendix 1, Figur 3.2 og Tabel 3.2. 1C er placeret på 3 m vanddybde ud for Pilevænget i Digeområde 1C.

De højeste vindhastigheder forekommer fra retninger næsten vinkelret på kysten (ca. 225°) med en samtidig vandstand på +0,16 m DVR90. Den mest kritiske 100-årshændelse findes for en vind i vinkelrummet 165° til 345°, hvor der er det største frie stræk og dermed de største bølger samtidigt med mulighed for højvande mellem +0,4 m til lige over +2,0 m DVR90.

Den værste 100-års hændelse dvs. hændelsen med det største overskyl bestemmes ved at simulere bølger med tilhørende vandstand for de udvalgte kombinerede 100 årshændelser.

Figur 3.2: Position 1C (Figur 2.8), Kombinerede 100-års hændelser for vandstand versus vindhastighed for vindretningerne i sektorer af 30°.



Tabel 3.2 Position 1C, Kombineret 100-års hændelse for vandstand versus vindhastighed for vindretningerne 165°+/-15° til 345°+/-15°

165° +/- 15°		195° +/- 15°		225° +/- 15°		255° +/- 15°		285° +/- 15°		315° +/- 15°		345° +/- 15°	
Vandstand [mDVR90]	Vind [m/s]	Vandstand [mDVR90]	Vind [m/s]	Vandstand [mDVR90]	Vind [m/s]	Vandstand [mDVR90]	Vind [m/s]	Vandstand [mDVR90]	Vind [m/s]	Vandstand [mDVR90]	Vind [m/s]	Vandstand [mDVR90]	Vind [m/s]
-	-	-	-	-1.02	14.35	-	-	-	-	-	-	-	-
-0.94	14.53	-0.63	11.23	-0.76	15.28	-0.99	15.89	-0.64	11.73	-0.57	11.19	-0.42	7.32
-0.67	15.47	-0.61	16.5	-0.55	16.65	-0.61	14.74	-0.54	14.86	-0.36	12.42	-0.4	12.09
-0.37	15.15	-0.39	18.37	-0.3	15.82	-0.4	16.59	-0.43	20.33	-0.19	19.73	-0.17	15.36
-0.13	16.21	-0.12	17.88	-0.11	16.97	-0.17	21.22	-0.14	20.31	0.19	19.77	0.22	20.4
0.14	17.39	0.13	18.46	0.16	25.58	0.17	21.55	0.13	18.68	0.58	19.86	0.67	20.37
0.38	15.31	0.36	16.94	0.33	17.45	0.42	17.37	0.37	17.39	0.98	19.08	0.96	16.76
0.54	12.58	0.51	13.65	0.47	14.25	0.68	16.34	0.69	18.86	1.44	18.74	1.61	18.67
0.58	8.95	0.74	13.32	0.65	13.03	0.83	13.33	0.81	14.69	1.53	13.98	-	-
0.74	8.01	0.85	10.63	0.71	10.02	0.75	8.39	0.93	11.89	-	-	-	-
-	-	-	-	0.96	9.43	-	-	0.9	8.05	-	-	-	-



## 3.2 Bølger

Med udgangspunkt i de kombinationer af vandstand og vindhastighed præsenteret i Afsnit 3.1 er bølgehøjden beregnet ved modellering. Det er forudsat, at vinden blæser så længe, at der dannes et fuldt udviklet bølgeklime (M21 SW, basic equations: "Fully spectral formulation" & "Quasi stationary formulation") for de estimaterede 100-års hændelser samt for 100-års hændelsen i november 2006 for den samtidige vindhændelse. Alle modelleringer og beregninger er foretaget inkl. klimabetinget havspejlsstigning på 25 cm og vind- og bølgestuvning på 20 cm, dvs. i alt extra 45 cm.

Bølgerne er udtrukket på ca. 3 m vanddybde i en afstand af ca. 100 m fra kysten bortset fra positionen i Halskov Havn, hvor bølgen er udtrukket i havnebassinet ud for den planlagte højvandsbeskyttelse, Figur 2.8. For sidstnævnte er det antaget, at modellen kan transformere offshore bølgerne ind i havnen. Dette er en tilnærmelse vurderet ikke at have væsentlig indflydelse på resultatet.

De betragtede hændelser for Position 1C med tilhørende bølger er vist i Tabel 3.3. Tilsvarende er udført for de andre positioner, se Appendix 2-6.

Tabel 3.3 Position 1C, Kombineret 100-års hændelse inkl. havspejlsstigning for vandstand versus vindhastighed for vindretningerne 165°+/-15°, 195°+/-15°, 225°+/-15°, 255°+/-15° og 285°+/-15° med tilhørende bølger.

Wspd: vindhastighed

Wdir: vindretning

Hm0: signifikant bølgehøjde

Tp: peak bølgeperiode

Hdir: bølgeretning

Wl: vandstand

Sidstnævnte på listen er KDI's estimeret 100-års vandstands-hændelse inkl. havspejlsstigning.

Wspd [m/s]	Wdir [°]	Hs [m]	Tp [s]	Hdir [°]	Wl [m]
32.2	225	2.2	7.7	220	0.63
20.3	225	2.1	6.2	220	0.80
16.2	225	1.7	5.3	220	0.94
15.0	225	1.5	5.2	220	1.13
11.4	225	1.0	4.4	219	1.19
11.0	225	1.0	4.3	219	1.47
20.5	285	1.7	6.2	250	0.58
19.1	285	1.7	5.8	253	0.82
20.7	285	1.9	6.2	253	1.14
16.2	285	1.4	5.3	260	1.26
13.1	285	1.0	4.6	264	1.38
8.9	285	0.5	3.4	268	1.35
21.7	315	1.5	7.0	256	0.64
21.8	315	1.5	7.0	253	1.03
21.0	315	1.4	6.9	257	1.43
20.6	315	1.5	6.9	260	1.89
15.4	315	1.0	5.8	270	1.98
22.4	345	1.2	7.5	256	0.67
22.4	345	1.3	7.5	259	1.12
18.4	345	0.9	6.8	261	1.41
20.5	345	1.2	7.1	264	2.06
21.6	15	0.8	7.3	255	0.97
20.2	15	0.7	7.1	259	1.30
16.8	15	0.5	6.6	264	1.52
15.0	15	0.4	6.3	268	1.81
17.3	45	0.2	6.3	259	0.91
16.0	45	0.2	6.1	262	1.19
13.9	45	0.1	5.7	266	1.41
14.3	45	0.2	5.8	267	1.87
20.1	165	1.8	6.2	201	0.60
17.8	165	1.6	5.8	198	0.85
14.6	165	1.2	5.2	194	1.02
10.3	165	0.7	4.2	191	1.05
9.5	165	0.7	4.0	190	1.24
21.3	195	2.0	6.4	211	0.59
19.5	195	2.0	6.2	209	0.83
15.4	195	1.6	5.4	206	0.97
15.5	195	1.6	5.4	206	1.24
12.7	195	1.2	4.9	204	1.37
14.2	348	0.4	5.6	275	2.03

### 3.3 Overskyl

#### 3.3.1 Position 1A 1

Den mest udsatte position i Halskov Havn er beliggende på hjørnet ud for den vestligste beliggende ejendom, Figur 3.3.

Figur 3.3: Placeringen af position 1A 1 og 1A 2.



Kystbeskyttelsen består her af en impermeabel stenkastning med en hældning på 1:3 og topkote i +2,25 m DVR90.

Overskyllet for 100-års hændelse med bølgeindfaldsretning på 345 dgn er beregnet til lidt over 1.300 l/s/m, Figur 3.4 og Appendix 2:

Dette er en konservativ værdi, da der er regnet med fuldt udviklet bølge og konstant vindhastighed over 8 – 10 timer, tillige er beregninger af overskyl efter [1] på den sikre side.

For at komme under 2 l/s/m vil det være nødvendigt at hæve topkoten til +2,55 m DVR90 med en mobil sikring i de situationer, hvor der er varslet en hændelse med risiko for forhøjet vandstand samtidig med vind fra nordvestlig retning, Figur 3.5.

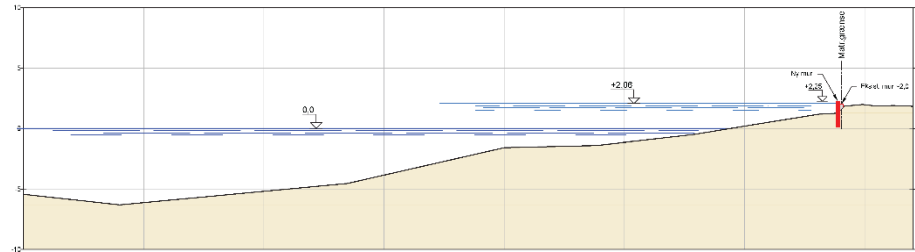




### 3.3.2 Position 1A 2

Den foreslåede konstruktion består af en vertikal væg med et foranliggende strandprofil som vist på Figur 3.7, og beliggende som vist på Figur 3.3.

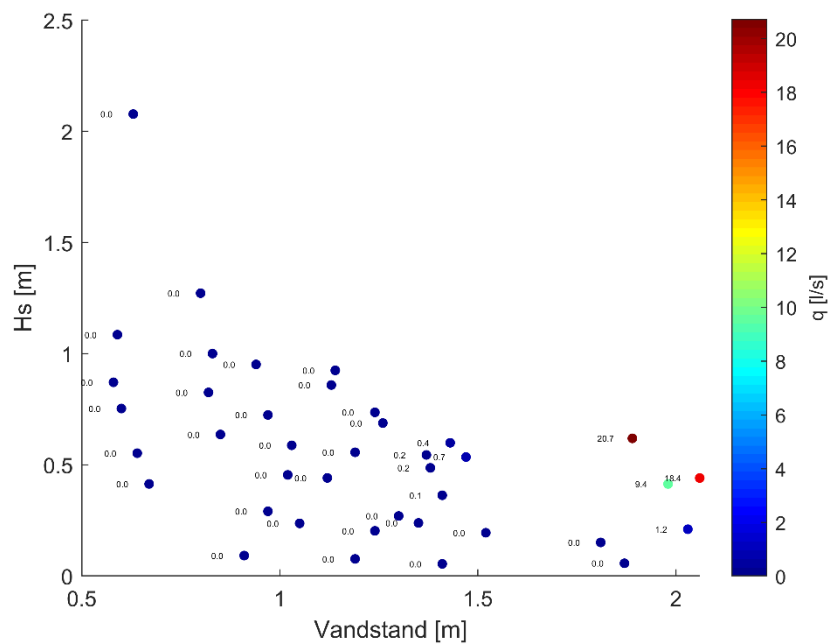
Figur 3.6: Skitse af den planlagte kystsikring i Halskov Havn, position 1A 2.



Overskyllet er bestemt for de fundne kombinationer af vandstand og bølger vha. [1] ligning 7.6, Figur 3.7 og Appendix 3: Den værste hændelse på 20,7 l/s/m (topkote 2,25 m) og 7,2 l/s/m (topkote 2,50 m) er for en signifikant bølgehøjde på 0,61 med en vind fra 315° kombineret med en vandstand på +1,89 m DVR90. For at komme under et overskyl på 2 l/s/m skal topkoten øges til +2,80 m DVR90, Figur 3.10.

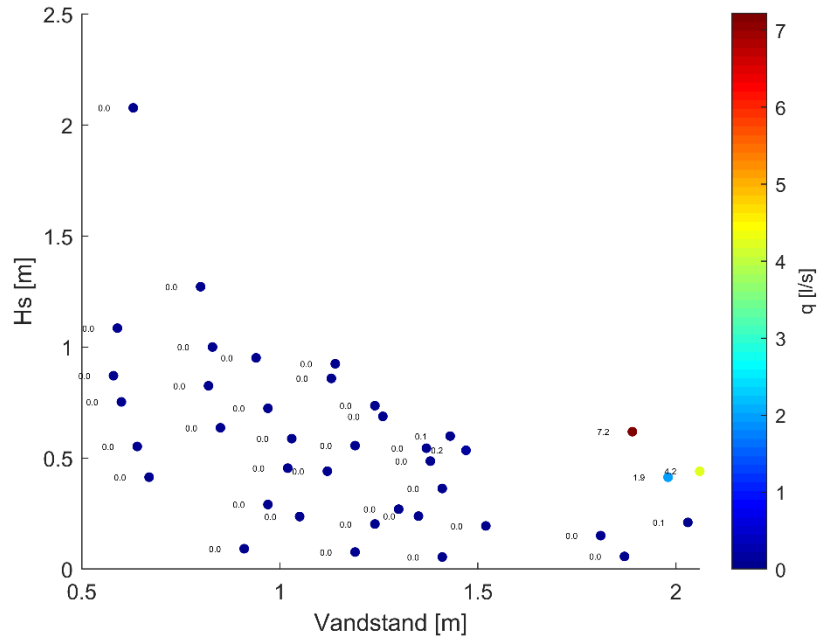
Figur 3.7: Position 1A 2. Overskyl for væg med kronekote +2,25 m DVR90, ligning 7.6.

Maksimum overskyl 20.7 l/s/m



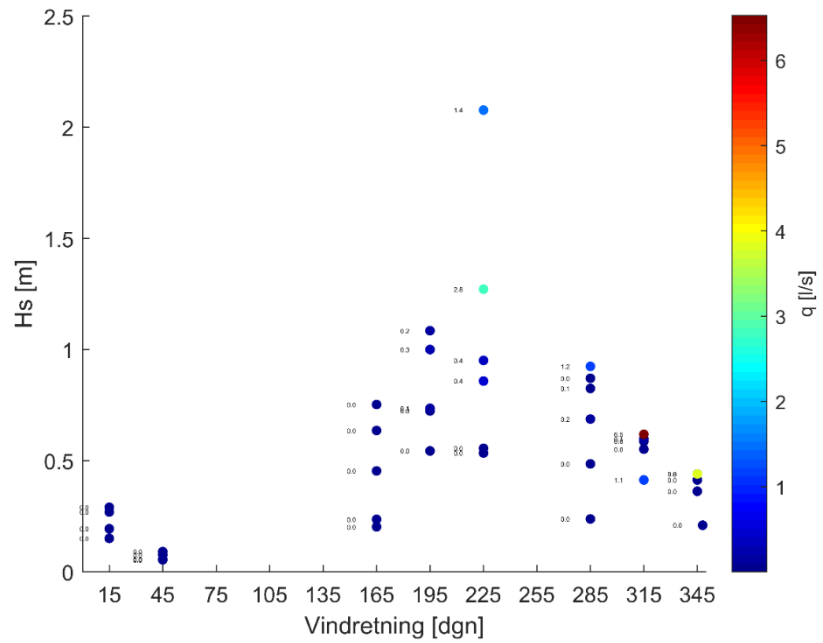
Figur 3.8: Position 1A 2. Overskyl for væg med kronekote +2,50 m DVR90.

Maksimum overskyl 7.2 l/s/m  
ligning 7.6



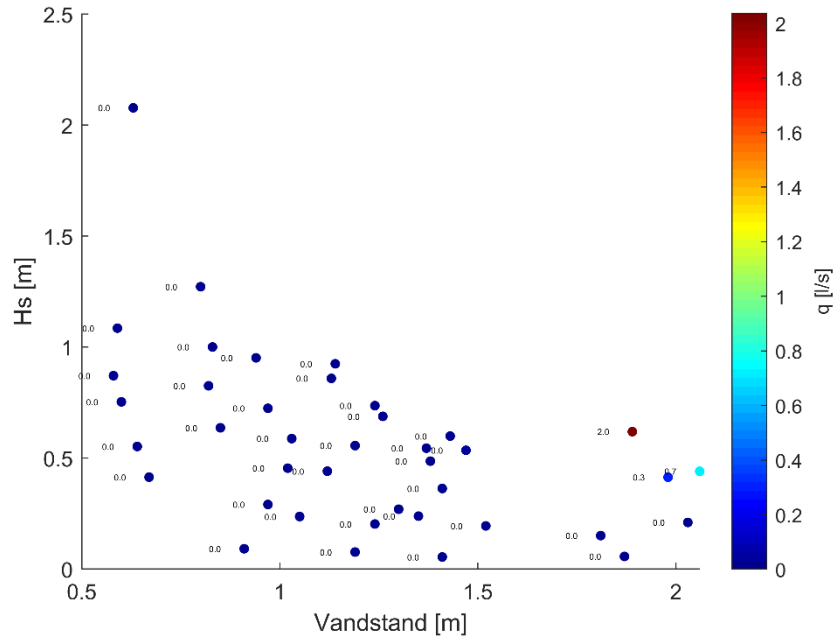
Figur 3.9: Overskyl for væg med kote +2,65 m DVR90.

Maksimum overskyl: 6,5 l/s/m



Figur 3.10: Position 1A 2. Overskyt for væg med kronekote +2,80 m DVR90.

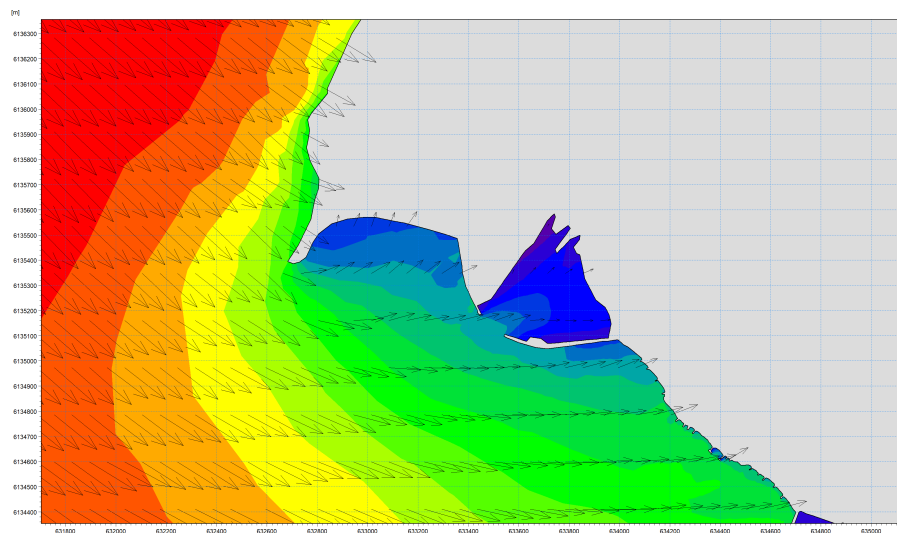
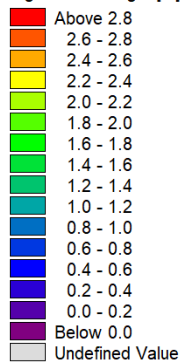
Maksimum overskyt 2.0 l/s/m ligning 7.6



Bølger fra 315° og 345° løber ned gennem Storebælt og pga. af refraction og diffraktion drejer de og aftager i størrelse og er omtrent vinkelret på kysten tæt ved land, Figur 3.11.

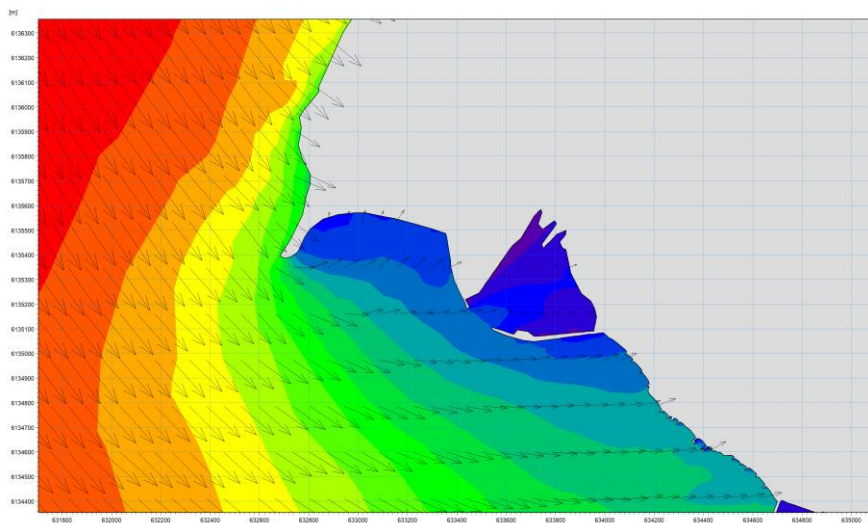
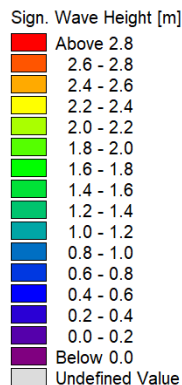
Figur 3.11: Bølger givet af en vind på 20,6 m/s fra 315° ved et højvande på +1,89 m DVR90.

Sign. Wave Height [m]





Figur 3.12: Bølger givet af en vind på 20,5 m/s fra 345° ved et højvande på +2,06 m DVR90.



### 3.3.3 Position 1B

Kystbeskyttelsen fra havnen og ca. 100 m mod øst består af et traditionelt jorddige bestående af en impermeabel kerne og en overflade bevoxet med græs med anlæg 1:3 på forsiden. 100 m fra molen drejer diget ind i land og er derefter beskyttet af en foranliggende klitrække.

Foran diget er inkluderet 20 m strand fra kote 0 til kote +1,5 m DVR90. Højden af diget er ønsket til kote +2,25 m DVR90. Kronekote +2,50 m DVR90 er ligeledes modelleret.

Position 1B ligger ikke lige ud for diget, men ca. 25 m længere mod øst for at kunne repræsentere alle retningerne i sektoren NV til SV med høje bølger og højvande under modelberegningerne. Det betyder, at bølgerne for denne kombination der viste sig at være den mest kritiske nemlig NV er noget større end på diget lige øst for havnemolen (se Figur 3.11 og Figur 3.12) og beregningerne er derfor på den sikre side.

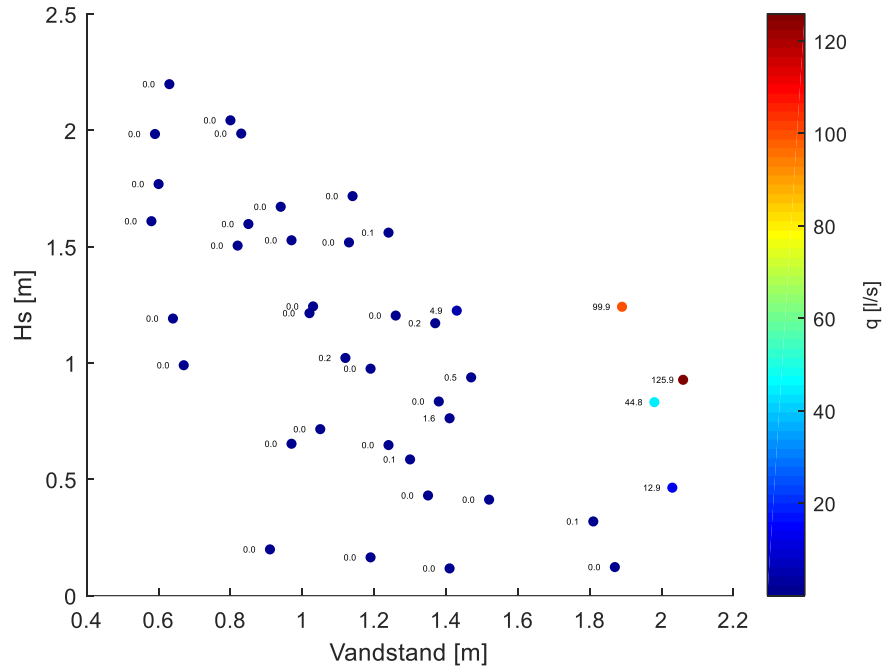
Det maksimale overskyl for de to digehøjder er hhv. 128 l/s/m og 48 l/s/m (Figur 3.13 og Figur 3.14), hvilket begge er over det anbefalet, selv om overskyllet reduceres med 62,5% ved 0,5 m forhøjelse. Det vurderes at en kronekote på +2,50 m DVR90 kan være tilstrækkelig på de aktuelle strækning efter molen, men at der skal suppleres med sandsække efter behov i de dimensioneringsgivende situationer, hvor der varsles vandstand over +2 m DVR90 samtidig med kraftig vind (20 m/s og derover) fra nordvestlige retninger.

Da kommunen ikke ønsker en beredskabsløsning med udlægning af sandsække i to lag (0,5 m forhøjelse) vurderes det, at en kronekote på + 3,0 m DVR90 med et græsbeklædt dige med anlæg 1:3 vil være tilstrækkeligt til at sikre overholdelse af overskylskriterie.

Tilsvarende vinde fra vestlige retning kan også være relevante, men vil under normale omstændigheder ikke forekommer samtidig med højvande.

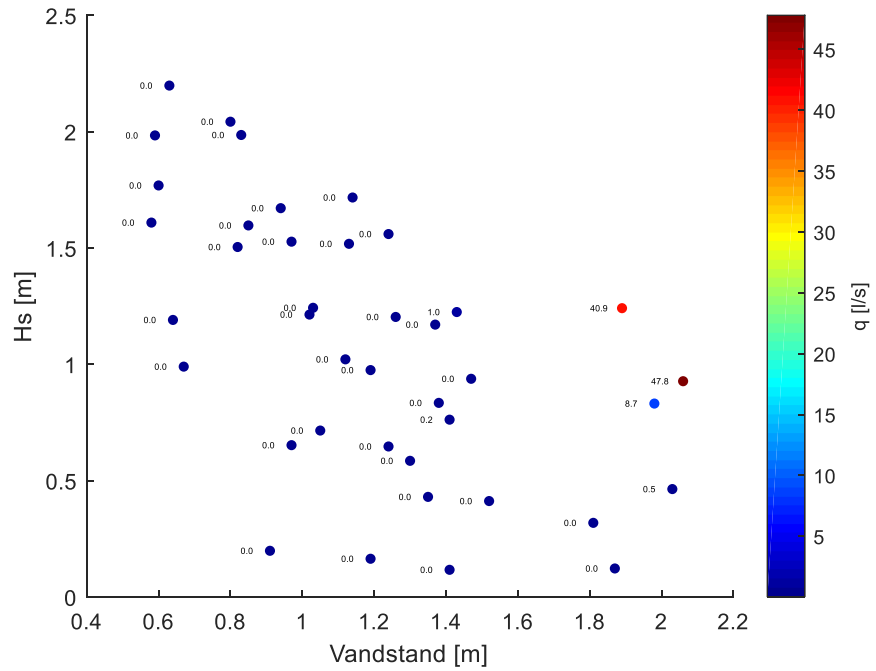
Figur 3.13: Position 1B. Overskyl i l/s/m for udvalgte 100-års hændelser inkl. havspejlsstigning for en topkote på +2,25 m DVR90 ligning 6.10 (dige).

Maksimum overskyl over diget er 125 l/s/m.



Figur 3.14: Position 1B. Overskyl i l/s/m for udvalgte 100-års hændelser inkl. havspejlsstigning for en topkote på +2,50 m DVR90 ligning 6.10 (dige).

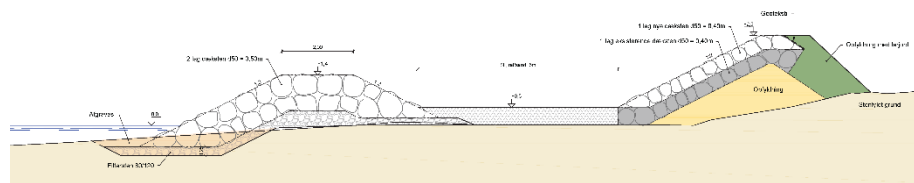
Maksimum overskyl over diget er 48 l/s/m.



### 3.3.4 Position 1C

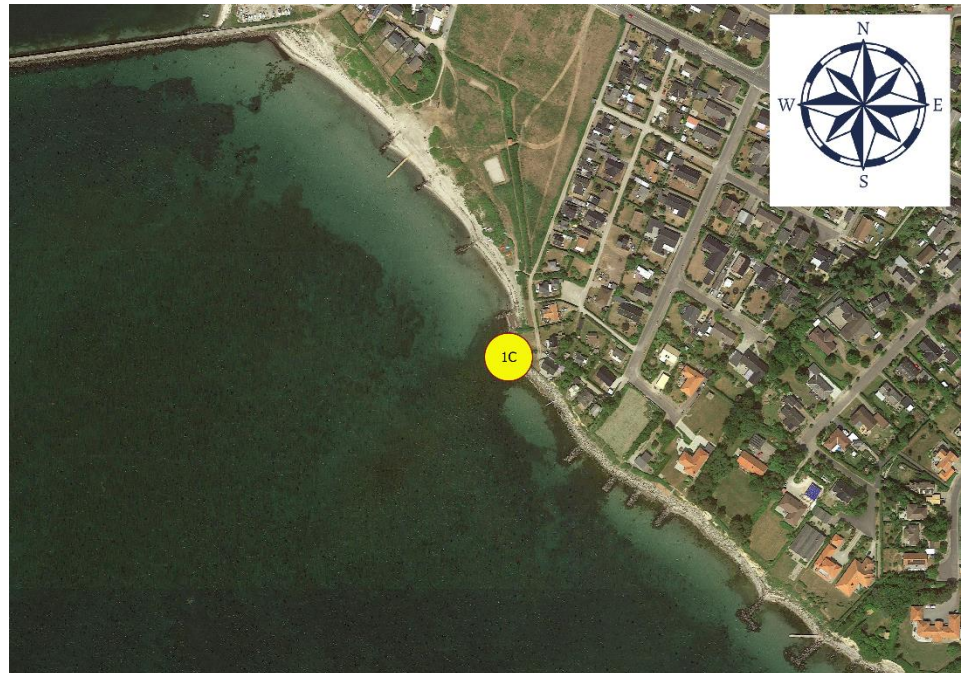
Den foreslåede kystbeskyttelse ved position 1C er sammensat af et dige og en bølgebryder, der er placeret parallelt med hinanden. Overskyttet er undersøgt for dem begge med henblik på design af hhv. den mellemliggende sti og for bestemmelse af koten på det øvre dige.

Figur 3.15: Skitse af planlagt kystbeskyttelse ved position 1C



Beliggenheden af position 1C er vist på Figur 3.16.

Figur 3.16: Beliggenhed af position 1C



Overskyttet hen over bølgebryderen er bestemt vha. [1] ligning. 6.6 og hen over diget med [1] ligning 6.10 med den forudsætning, at faconen på den samlede konstruktion ikke ændres over tid.

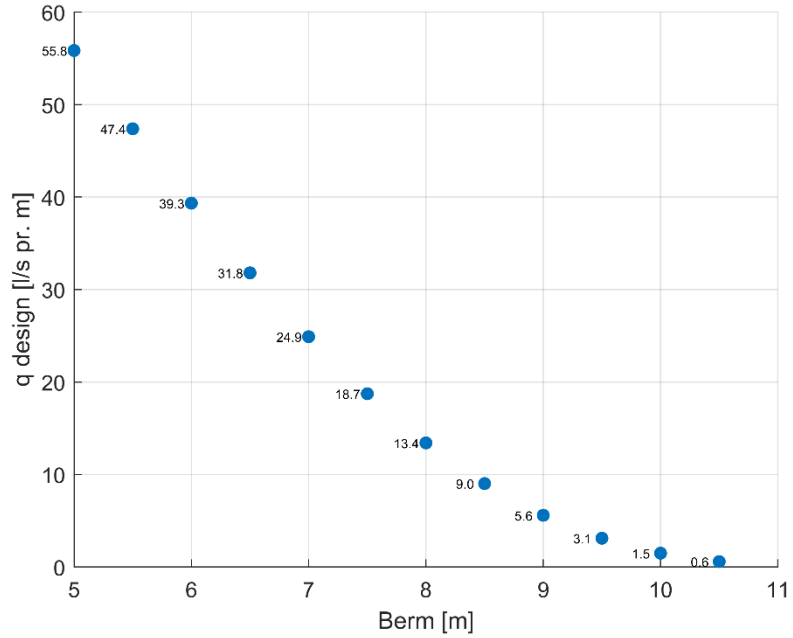
I udgangspunktet er topkoten på bølgebryderen sat til +1,40 m DVR90, diget til +2,50 m DVR90 og afstanden imellem dem til 5,0 m. Ved denne kombination vil det maksimale overskyl henover bølgebryderen og diget være henholdsvis 1.295 l/s/m og 56 l/s/m, hvilket er langt større end kriteriet på 2 l/s/m, se Figur 3.17 og Appendix 4:.



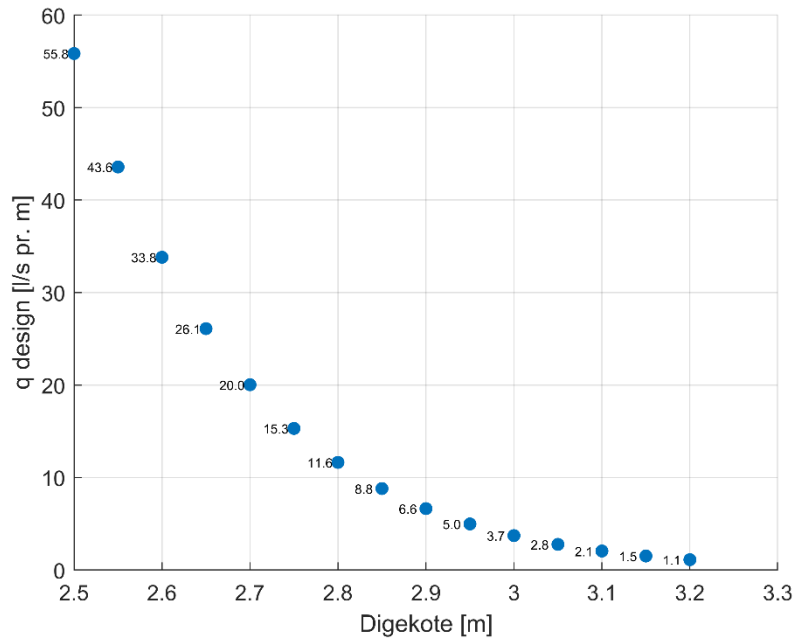


Figur 3.18: Position 1C. Overskyl i l/s/m for en topkote på +2,5 m DVR90 for stigende afstand mellem de to diger startende 5 m og op til 11 m [1] ligning 6.10

Berm = afstanden mellem de to diger i meter.



Figur 3.19: Position 1C. Overskyl i l/s/m for en afstand på 5 m mellem de to diger for stigende topkote startende fra +2,5 og op til +3,3 m DVR90 [1] ligning 6.10

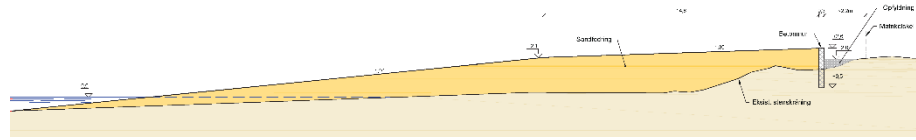


### 3.3.5 Position 2

Det betragtede profil er vist på Figur 3.20, med en foranliggende strand yderst med hældning 1:10 og inderst på 1:30 for at slutte af med en lodret væg. Selve den lodrette væg har topkote i +2,6 m DVR90. Det antages, at strandprofillet over

tid kun ændres i mindre omfang, således at formen på det overordnede profil bibeholdes.

Figur 3.20: Skitse af planlagt kystbeskyttelse ved Position 2.



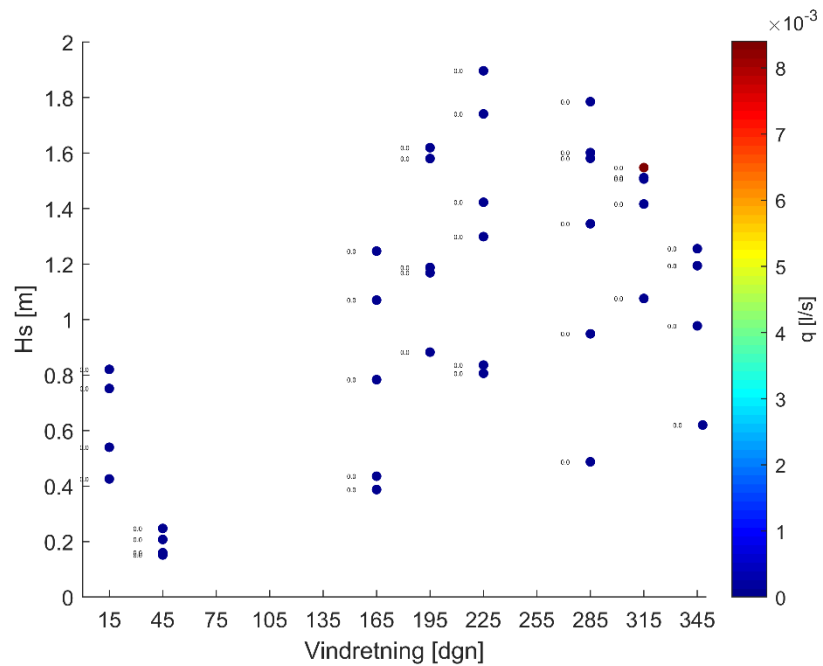
Beliggenheden af position 2 er vist på Figur 3.21.

Figur 3.21: Beliggenhed af position 2 og 3.



Estimeret overskyl er for den værste af de betragtede 100-års hændelser i år 2100 mindre end 1 l/s/m, Figur 3.22 og Appendix 5:.

Figur 3.22: Position 2. Overskyl i l/s/m for udvalgte 100-års hændelser inkl. havspejlsstigning for en kronekote på +2,6 m DVR90 fundet ved [1] ligning 6.10 og ligning 6.11.



### 3.3.6 Position 3

Kystprofilen er beskrevet som et dige med topkote +2,2 m DVR90 og en hældning på 1:8 med en impermeabel overflade, hvor diget er stejlest. Overskyl på op til 4,8 l/s/m kan forventes for den værste kombinerede 100-års hændelse af vandstand og vind. Da arealet mellem diget og de bagvedliggende beboelser består af græs efterfulgt af en vej, forventes de 4,8 l/s kun at være et problem for trafikken i en kortere periode dvs. 2 til 3 timer.

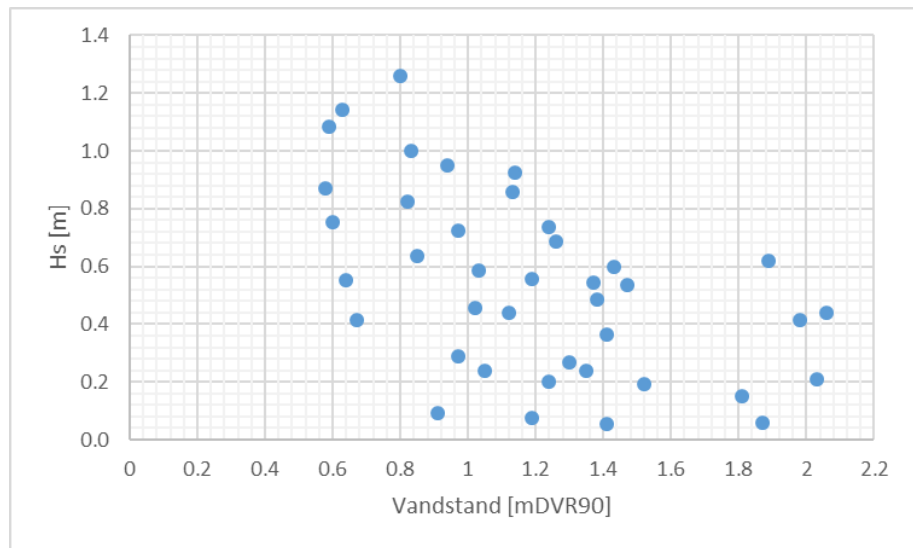
For sammenligning er den i nov. 2006 observerede 100-års vandstand inkl. havspejlsstigning beregnet til et overskyl på 0 l/s/m, Appendix 6:.

Beliggenheden af position 3 er vist på Figur 3.21.





Figur 3.24: Pos. 1A1 & 1A2, 100 års designvandstand, -bølger.



### 3.4.2 Position 1C

I Figur 3.22 er de estimerede signifikante bølgehøjder foran de to konstruktioner for en kombineret 100 års vandstand-/bølgehændelse angivet.

Det giver følgende designforhold for den ydre bølgebryder og den indre skråningsbeskyttelse:

#### Designforhold

*Ydre bølgebryder:*  $H_s=1,5$  m og en peak bølge periode på 6.9 s og samtidig vandstand +1,89 m DVR90

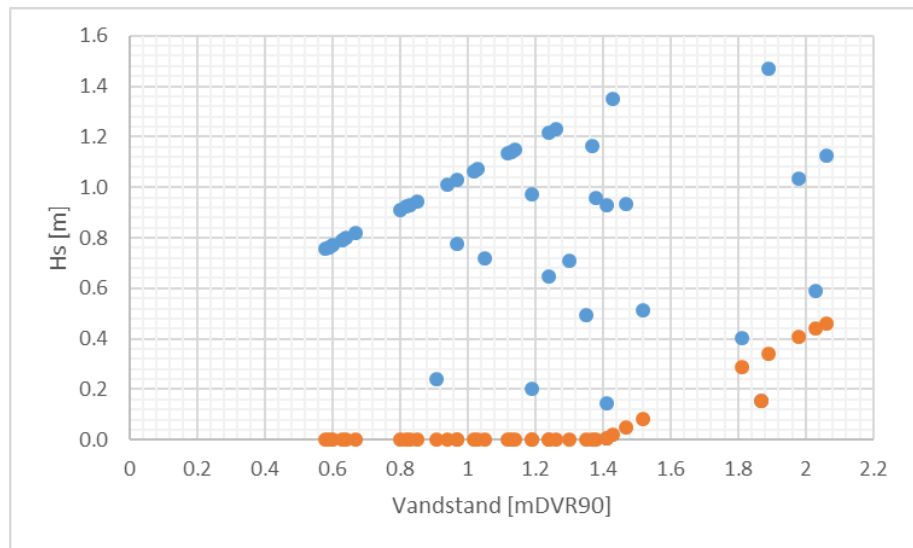
*Indre skråningsbeskyttelse:*  $H_s=0,5$  m og peak bølge periode på 7.1 s og samtidig vandstand på +2,06 mDVR90

De tilhørende stenstørrelser [9] for en densitet på 2650 bliver da:

**Dæksten på ydre bølgebryder:  $D_{n50} = 0,61$  m eller 615 kg**

**Dæksten på indre skråningsbeskyttelse:  $D_{n50} = 0,25$  m eller 43 kg, hvilket af også skal håndtere overskyl er opjusteret til **0,4 m eller 170 kg.****

Figur 3.25: Pos. 1C, 100 års designvandstand, -bølger for hhv. den ydre bølgebryder (blå) og den inderste skråningsbeskyttelse (orange) dige.



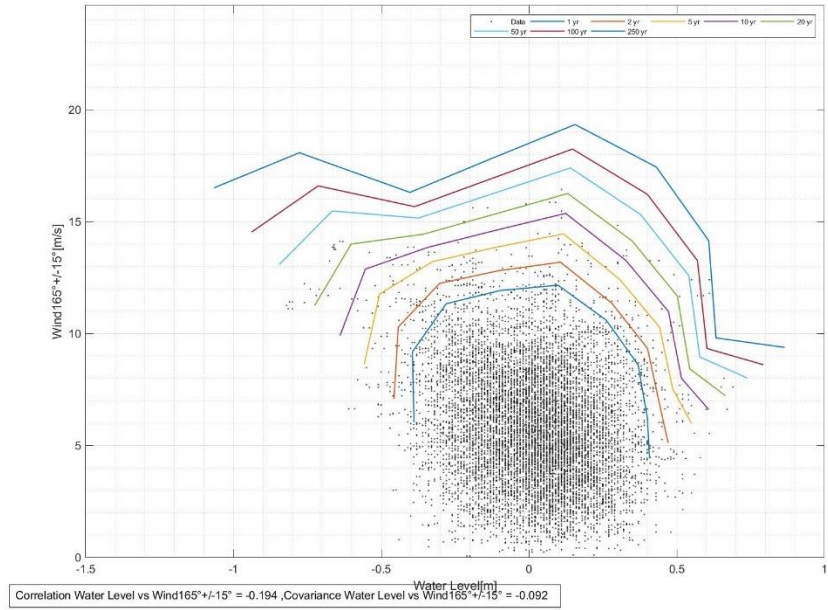
## 4 Referencer

- [1] EurOtop, "Manual on wave overtopping of sea defences and related structures," 2016.
- [2] Kystdirektoratet, "Højvandsstatistik 2017," Miljø- og Fødevareministeriet, 2018-02-16.
- [3] DMI, "Vandstand".
- [4] ECMWF, "Climate Data Store," ECMWF, 01 03 2019. [Online]. Available: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=form>.
- [5] DHI, "MIKE powered by DHI," DHI, [Online]. Available: <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-21/waves>. [Accessed 01 03 2018].
- [6] DMI, "Fremtidens vandstand," DMI, [Online]. Available: <https://www.dmi.dk/hav-og-is/temaforside-fremtidens-vandstand/>. [Accessed 20 05 2019].
- [7] "Klimatilpasning," Miljøstyrelsen, [Online]. Available: <https://www.klimatilpasning.dk/vaerktoejer/klimakort/vindhastighed/>. [Accessed 20 05 2019].

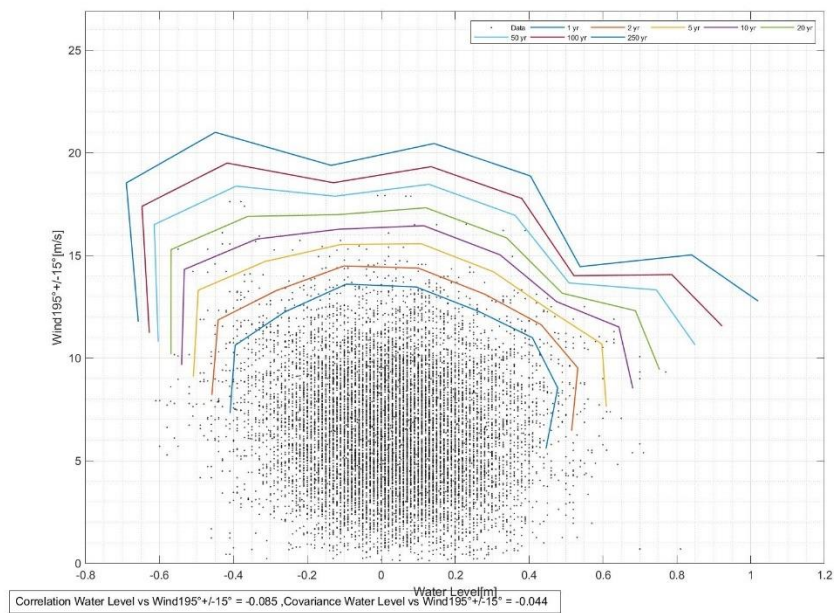
- [8] Miljøministeriet, "AIS data," Miljøministeriet, [Online]. Available: [http://www.dmu.dk/1\\_Viden/2\\_Miljoe-tilstand/3\\_samfund/AIS/](http://www.dmu.dk/1_Viden/2_Miljoe-tilstand/3_samfund/AIS/). [Accessed 01 03 2018].
- [9] CIRIA, The Rock Manual, 2nd Edition, London: CIRIA, CUR, CETMEF, 2007.
- [10] NIRAS, Kystbeskyttelse, højvandssikring. Digeområde 1, 2 og 3. Halsskov bydel, Slagelse Kommune, 2019.

## Appendix 1: Kombineret sandsynlighed for vandstand/vindhastighed, Position 1C

165° +/- 15°

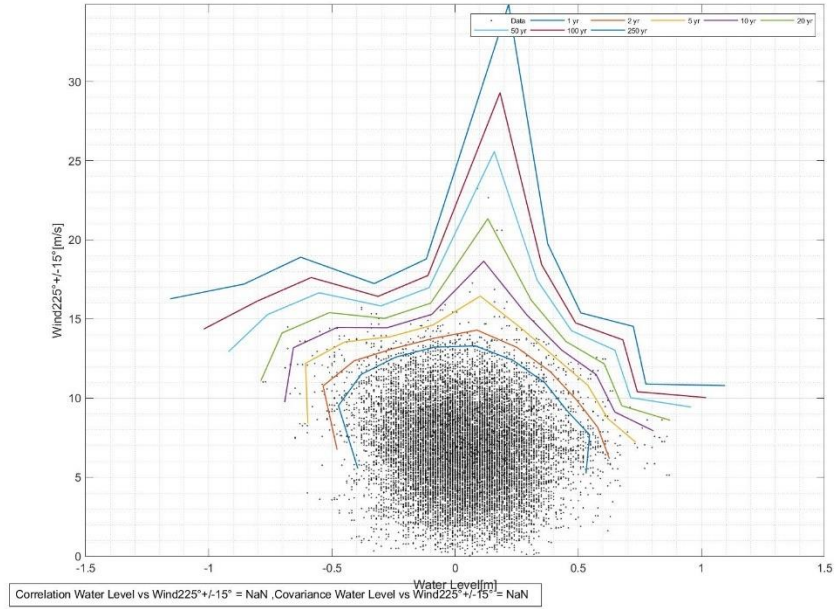


195° +/- 15°

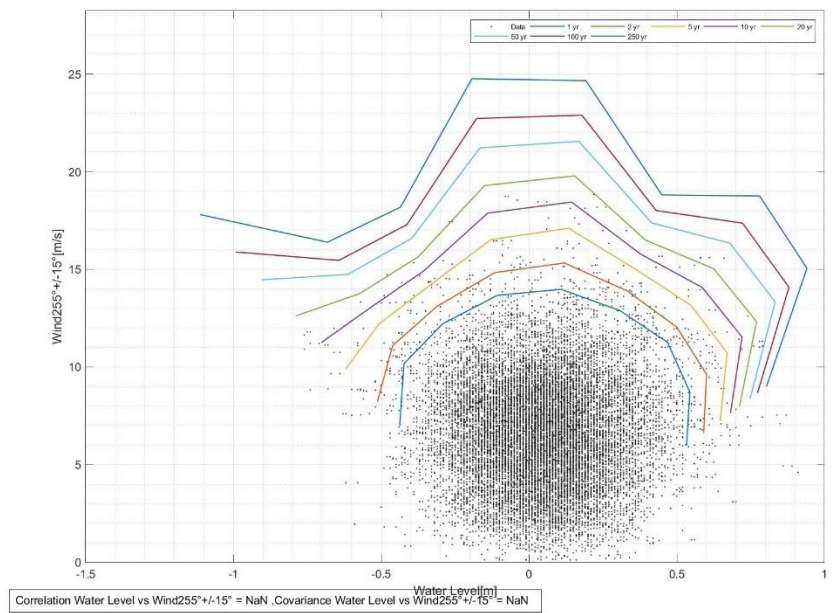




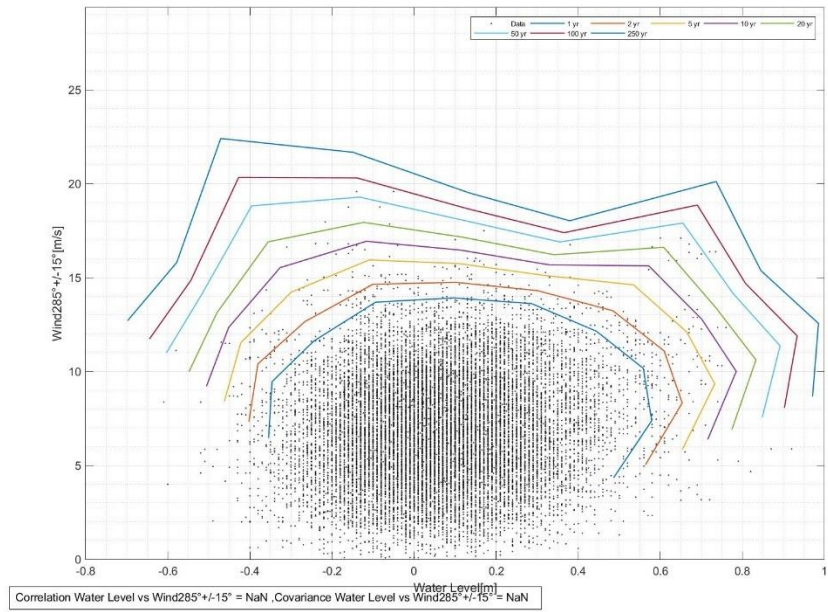
225° +/-15°



255° +/-15°



285° +/-15°



## Appendix 2: Design input & output, Position 1A 1

Topkote +2,25 m DVR90, sidste hændelse er stormen i nov. 2006 inkl. klimatillæg

Wspd [m/s]	Wdir [°]	Hm0 [m]	Tp [s]	Hdir [°]	Wl [m]	q_design
32.23	225	2.0776	7.6546	233.95	0.63	0.00
20.273	225	1.2719	5.9462	234.4	0.8	0.01
16.225	225	0.95141	5.21	234.95	0.94	0.14
15.048	225	0.85878	4.9641	234.95	1.13	0.42
11.44	225	0.55614	4.2191	234.75	1.19	0.00
11.033	225	0.53484	4.0933	234.8	1.47	0.03
20.548	285	0.87099	6.0359	240.95	0.58	0.00
19.129	285	0.82545	5.6583	241.77	0.82	0.04
20.746	285	0.92466	6.1167	241.35	1.14	1.21
16.159	285	0.68765	5.0381	242.97	1.26	0.16
13.079	285	0.48609	4.0008	243.4	1.38	0.01
8.855	285	0.23831	2.9811	242.47	1.35	0.00
21.747	315	0.55209	6.9173	241.93	0.64	0.00
21.846	315	0.5875	6.9398	242.4	1.03	0.00
20.988	315	0.59894	6.8665	243.19	1.43	0.15
20.614	315	0.61888	6.8385	243.78	1.89	6.53
15.378	315	0.41367	5.7162	245.23	1.98	1.13
22.44	345	0.41389	7.3086	242.91	0.67	0.00
22.407	345	0.44089	7.3933	243.35	1.12	0.00
18.436	345	0.36287	6.6234	244.79	1.41	0.00
20.537	345	0.44039	7.0776	244.61	2.06	3.79
21.571	15	0.29073	7.1884	243.44	0.97	0.00
20.174	15	0.26949	7.0652	244.01	1.3	0.00
16.819	15	0.19425	6.5633	244.7	1.52	0.00
14.993	15	0.1506	6.2743	245.09	1.81	0.00
17.292	45	0.09147	6.2862	244.2	0.91	0.00
15.983	45	0.076407	6.1232	244.45	1.19	0.00
13.893	45	0.054239	5.7	244.83	1.41	0.00
14.322	45	0.056715	5.8217	244.82	1.87	0.00
20.064	165	0.753	6.2288	229.61	0.6	0.00
17.831	165	0.63627	5.8007	229.59	0.85	0.00
14.575	165	0.45446	5.2591	229.43	1.02	0.00
10.263	165	0.23643	4.4361	229.09	1.05	0.00
9.46	165	0.20278	4.3777	229.08	1.24	0.00
21.252	195	1.0852	6.3798	231.4	0.59	0.00
19.547	195	1.0002	6.1795	231.46	0.83	0.02
15.411	195	0.7241	5.3199	231.83	0.97	0.01
15.466	195	0.73593	5.3505	231.83	1.24	0.15
12.705	195	0.54435	4.8031	231.7	1.37	0.01
14.2	348	0.20997	5.8876	246.01	2.03	0.00

## Appendix 3: Design input & output, Position 1A 2

Topkote +2,55 m DVR90, sidste hændelse er stormen i nov. 2006 inkl. klimatillæg

Wspd [m/s]	Wdir [°]	Hm0 [m]	Tp [s]	Hdir [°]	Wl [m]	q_design
32.23	225	2.0776	7.6546	233.95	0.63	0.00
20.273	225	1.2719	5.9462	234.4	0.8	0.00
16.225	225	0.95141	5.21	234.95	0.94	0.00
15.048	225	0.85878	4.9641	234.95	1.13	0.00
11.44	225	0.55614	4.2191	234.75	1.19	0.00
11.033	225	0.53484	4.0933	234.8	1.47	0.03
20.548	285	0.87099	6.0359	240.95	0.58	0.00
19.129	285	0.82545	5.6583	241.77	0.82	0.00
20.746	285	0.92466	6.1167	241.35	1.14	0.00
16.159	285	0.68765	5.0381	242.97	1.26	0.00
13.079	285	0.48609	4.0008	243.4	1.38	0.01
8.855	285	0.23831	2.9811	242.47	1.35	0.00
21.747	315	0.55209	6.9173	241.93	0.64	0.00
21.846	315	0.5875	6.9398	242.4	1.03	0.00
20.988	315	0.59894	6.8665	243.19	1.43	0.02
20.614	315	0.61888	6.8385	243.78	1.89	2.04
15.378	315	0.41367	5.7162	245.23	1.98	0.29
22.44	345	0.41389	7.3086	242.91	0.67	0.00
22.407	345	0.44089	7.3933	243.35	1.12	0.00
18.436	345	0.36287	6.6234	244.79	1.41	0.00
20.537	345	0.44039	7.0776	244.61	2.06	0.71
21.571	15	0.29073	7.1884	243.44	0.97	0.00
20.174	15	0.26949	7.0652	244.01	1.3	0.00
16.819	15	0.19425	6.5633	244.7	1.52	0.00
14.993	15	0.1506	6.2743	245.09	1.81	0.00
17.292	45	0.09147	6.2862	244.2	0.91	0.00
15.983	45	0.076407	6.1232	244.45	1.19	0.00
13.893	45	0.054239	5.7	244.83	1.41	0.00
14.322	45	0.056715	5.8217	244.82	1.87	0.00
20.064	165	0.753	6.2288	229.61	0.6	0.00
17.831	165	0.63627	5.8007	229.59	0.85	0.00
14.575	165	0.45446	5.2591	229.43	1.02	0.00
10.263	165	0.23643	4.4361	229.09	1.05	0.00
9.46	165	0.20278	4.3777	229.08	1.24	0.00
21.252	195	1.0852	6.3798	231.4	0.59	0.00
19.547	195	1.0002	6.1795	231.46	0.83	0.00
15.411	195	0.7241	5.3199	231.83	0.97	0.00
15.466	195	0.73593	5.3505	231.83	1.24	0.00
12.705	195	0.54435	4.8031	231.7	1.37	0.00
14.2	348	0.20997	5.8876	246.01	2.03	0.00



## Appendix 4: Design input & output, Position 1C

Topkote +1,4 m DVR90 (q\_design) og +2,25 m DVR90 (q2\_design) for hhv. inderste og yderste dige. Sidste hændelse er stormen i nov. 2006 inkl. klimatillæg.

Wspd [m/s]	Wdir [°]	Hm0 [m]	Tp [s]	Hdir [°]	Wl [m]	q_design	q_red [l/s]	Vmax [l/r]	Ru2% [m]	q2_desigr
32.23	225	2.2015	7.7116	222.89	0.63	1.73	0.06	356	1.54	0.00
20.273	225	2.0429	6.1178	222.84	0.8	13.52	0.88	1419	1.54	0.00
16.225	225	1.6442	5.2888	222.1	0.94	45.21	4.30	2503	1.56	0.00
15.048	225	1.4966	5.1367	221.82	1.13	148.48	21.14	4065	1.70	0.00
11.44	225	0.9702	4.3186	220.5	1.19	178.41	24.79	3357	1.56	0.00
11.033	225	0.93491	4.2632	220.07	1.47	324.37	324.37	4000	1.50	0.00
20.548	285	1.7444	6.134	254.02	0.58	1.59	0.05	322	1.49	0.00
19.129	285	1.654	5.7826	256.78	0.82	21.82	1.51	1797	1.66	0.00
20.746	285	1.8824	6.1941	256.14	1.14	170.12	24.68	5502	2.04	0.00
16.159	285	1.3549	5.2177	262.27	1.26	269.23	48.09	5348	1.93	0.00
13.079	285	0.95594	4.5917	265.32	1.38	295.52	39.21	4298	1.65	0.00
8.855	285	0.49488	3.3807	268.03	1.35	92.56	0.66	1140	0.85	0.00
21.747	315	1.3783	6.9641	254.81	0.64	3.46	0.13	572	1.64	0.00
21.846	315	1.4483	6.9864	256.77	1.03	96.79	11.28	4877	2.03	0.00
20.988	315	1.44	6.9146	259.68	1.43	412.75	412.75	10148	2.37	0.17
20.614	315	1.4707	6.8857	262.33	1.89	1136.80	1136.80	20570	2.75	55.85
15.378	315	1.033	5.7263	271.53	1.98	1087.40	1087.40	17113	1.84	2.71
22.44	345	1.1723	7.3929	258.49	0.67	4.43	0.19	701	1.67	0.00
22.407	345	1.2178	7.4578	260.11	1.12	151.33	21.15	6654	2.13	0.00
18.436	345	0.92713	6.6835	263.67	1.41	291.08	291.08	7284	1.91	0.00
20.537	345	1.1267	7.0996	263.56	2.06	1294.60	1294.60	24920	2.28	33.74
21.571	15	0.77577	7.2458	258.27	0.97	42.26	2.70	3034	1.79	0.00
20.174	15	0.70777	7.1115	260.72	1.3	144.95	6.40	5004	1.63	0.00
16.819	15	0.5113	6.6073	265.4	1.52	188.83	188.83	4422	1.19	0.00
14.993	15	0.40494	6.2819	268.91	1.81	527.56	527.56	12005	0.95	0.00
17.292	45	0.2409	6.3115	259.34	0.91	0.00	0.00	2	0.69	0.00
15.983	45	0.20152	6.1393	262.13	1.19	0.60	0.00	68	0.59	0.00
13.893	45	0.14628	5.6931	265.71	1.41	19.83	19.83	607	0.44	0.00
14.322	45	0.15393	5.8025	266.35	1.87	564.55	564.55	235240	0.46	0.00
20.064	165	1.7677	6.1977	203.79	0.6	0.36	0.01	128	1.17	0.00
17.831	165	1.5948	5.7405	200.01	0.85	11.41	0.86	1288	1.29	0.00
14.575	165	1.2147	5.1318	195.89	1.02	52.31	5.97	2696	1.30	0.00
10.263	165	0.7169	4.1488	192.56	1.05	22.75	1.06	1304	0.95	0.00
9.46	165	0.64822	3.9144	191.47	1.24	68.72	2.06	1593	0.85	0.00
21.252	195	1.9957	6.4226	213.57	0.59	0.57	0.02	165	1.28	0.00
19.547	195	1.9849	6.215	212.01	0.83	13.53	0.96	1458	1.45	0.00
15.411	195	1.5186	5.3332	208.29	0.97	44.53	4.54	2552	1.43	0.00
15.466	195	1.549	5.3602	207.99	1.24	231.69	40.06	5237	1.64	0.00
12.705	195	1.1647	4.7954	205.78	1.37	369.28	77.96	5539	1.63	0.00
14.2	348	0.59157	5.8696	272.91	2.03	993.24	993.24	26740	1.19	0.00

## Appendix 5: Design input & output, Position 2

Overløb bestemt for den foreslået konstruktion. Sidste hændelse er stormen i nov. 2006 inkl. klimatillæg.

Wspd [m/s]	Wdir [°]	Hm0 [m]	Tp [s]	Hdir [°]	Wl [m]	q_design
32.23	225	1.8967	7.6787	230.37	0.63	0.00
20.273	225	1.7412	6.0584	231.35	0.8	0.00
16.225	225	1.4227	5.2643	231.7	0.94	0.00
15.048	225	1.2989	5.0981	231.45	1.13	0.00
11.44	225	0.83594	4.2873	230.91	1.19	0.00
11.033	225	0.80627	4.2232	230.51	1.47	0.00
20.548	285	1.6017	6.1464	250.67	0.58	0.00
19.129	285	1.5813	5.8058	253.31	0.82	0.00
20.746	285	1.7854	6.2124	252.71	1.14	0.00
16.159	285	1.3454	5.2501	258.73	1.26	0.00
13.079	285	0.94874	4.6151	262.59	1.38	0.00
8.855	285	0.48734	3.3015	266.9	1.35	0.00
21.747	315	1.4165	6.9574	252.51	0.64	0.00
21.846	315	1.5065	6.9813	254.09	1.03	0.00
20.988	315	1.5115	6.9139	256.33	1.43	1.6032e-3
20.614	315	1.5477	6.8893	258.52	1.89	0.01
15.378	315	1.076	5.7448	267.26	1.98	0.00
22.44	345	1.1944	7.3462	254.34	0.67	0.00
22.407	345	1.2553	7.4219	255.8	1.12	0.00
18.436	345	0.97739	6.6489	258.69	1.41	0.00
20.537	345	1.1944	7.0853	259.1	2.06	0.00
21.571	15	0.82046	7.2014	254.74	0.97	0.00
20.174	15	0.75144	7.0648	256.27	1.3	0.00
16.819	15	0.53968	6.5526	259.66	1.52	0.00
14.993	15	0.4257	6.2519	262.78	1.81	0.00
17.292	45	0.24709	6.2849	256.12	0.91	0.00
15.983	45	0.20753	6.1009	257.95	1.19	0.00
13.893	45	0.15159	5.6829	260.77	1.41	0.00
14.322	45	0.15975	5.7925	261.7	1.87	0.00
20.064	165	1.2468	6.2589	224.17	0.6	0.00
17.831	165	1.0702	5.8101	222.46	0.85	0.00
14.575	165	0.78353	5.2225	220.01	1.02	0.00
10.263	165	0.43545	4.266	217	1.05	0.00
9.46	165	0.38736	4.0228	215.98	1.24	0.00
21.252	195	1.6195	6.4207	227.26	0.59	0.00
19.547	195	1.5803	6.2158	226.48	0.83	0.00
15.411	195	1.1688	5.3496	224.76	0.97	0.00
15.466	195	1.1879	5.3811	224.39	1.24	0.00
12.705	195	0.88264	4.8115	222.84	1.37	0.00
14.2	348	0.61995	5.8708	267.55	2.03	0.00

## Appendix 6: Design input & output, Position 3

Overløb bestemt for den foreslået konstruktion. Sidste hændelse er stormen i nov. 2006 inkl. klimatillæg.

Wspd [m/s]	Wdir [°]	Hm0 [m]	Tp [s]	Hdir [°]	Wl [m]	q_design
32.23	225	1.4007	5.6076	204.59	0.63	1.43
20.273	225	0.67558	6.0676	200.17	0.8	2.93
16.225	225	0.53226	5.281	200.75	0.94	0.41
15.048	225	0.4914	5.129	201.13	1.13	0.49
11.44	225	0.32329	4.3049	201.09	1.19	0.00
11.033	225	0.32242	4.2451	201.35	1.47	0.03
20.548	285	0.36209	5.6094	204.38	0.58	0.00
19.129	285	0.34065	5.4374	205.75	0.82	0.00
20.746	285	0.40417	5.8658	206.2	1.14	0.03
16.159	285	0.2794	4.9692	208.52	1.26	0.00
13.079	285	0.19397	4.2234	210.86	1.38	0.00
8.855	285	0.092849	3.2246	214.63	1.35	0.00
21.747	315	0.26271	6.917	204.2	0.64	0.00
21.846	315	0.28514	6.9427	205.39	1.03	0.00
20.988	315	0.28959	6.8804	206.65	1.43	0.00
20.614	315	0.30123	6.86	207.9	1.89	2.95
15.378	315	0.18515	5.7372	210.09	1.98	0.20
22.44	345	0.19096	7.2968	202.75	0.67	0.00
22.407	345	0.21201	7.3713	204.14	1.12	0.00
18.436	345	0.16867	6.5864	205.41	1.41	0.00
20.537	345	0.21783	7.0579	206.57	2.06	4.79
21.571	15	0.13575	7.153	203.26	0.97	0.00
20.174	15	0.12926	7.0046	204.27	1.3	0.00
16.819	15	0.094479	6.4649	205.33	1.52	0.00
14.993	15	0.075458	6.1803	206.44	1.81	0.00
17.292	45	0.045733	6.2582	200.47	0.91	0.00
15.983	45	0.039318	6.0411	202.05	1.19	0.00
13.893	45	0.028732	5.6501	203.57	1.41	0.00
14.322	45	0.03142	5.7743	204.64	1.87	0.00
20.064	165	0.50005	6.0967	195.29	0.6	0.02
17.831	165	0.49152	5.675	195.12	0.85	0.07
14.575	165	0.4151	5.0081	194.18	1.02	0.01
10.263	165	0.27055	3.9645	192.37	1.05	0.00
9.46	165	0.25585	3.8451	191.96	1.24	0.00
21.252	195	0.60342	6.3874	197.83	0.59	0.32
19.547	195	0.64404	6.1792	198.1	0.83	2.08
15.411	195	0.53867	5.2931	197.92	0.97	0.57
15.466	195	0.57536	5.3158	198	1.24	4.50
12.705	195	0.42467	4.7541	197.21	1.37	0.51
14.2	348	0.10313	5.8401	207.96	2.03	0.00