

Bilag 1

Næstved Kommune Enø Kystbeskyttelse Dimensioneringskriterier

Projekt nr.: 229255
Dokument nr.: 1226554015/
2TAPYJQV5NV4-54161221-1480
Version 14
Revision 1

Udarbejdet af MLV
Kontrolleret af SSC, CHLD, KBO
Godkendt af MLV

Indhold

1	Indledning	3
2	Sikringsniveau og dimensionering	3
2.1	Sædvanlig dimensionering	4
2.2	Granskning af tidligere hændelser	4
2.2.1	Korrelation af bølger og vandstand ved Karrebæksminde	5
2.2.2	Scenarie 1: Vindstuvning	6
2.2.3	Scenarie 2: Storm fra nordlige retninger	6
2.2.4	Scenarie 3: Tilbageløb	7
2.2.5	Scenarie 4: Tilbageløb og storm fra øst	7
2.2.6	Scenarie 5: Sammenfald af forhøjet vandstand	8
2.3	Dimensionsgivende scenarier	8
2.3.1	Forsinkelse af højvande i fjorden	8
3	Dimensionsgivende vandstand og landhævning	9
3.1	Global havvandspejlsstigning	9
3.2	Højvandsstatistik	10
3.3	Dimensionsgivende vandstand uden bølgepåvirkning	12
3.4	Isostatisk landhævning	12
4	Bølgeklime omkring Enø og Lungshave	13
4.1	Bølgedynamik	13
4.1.1	Overskylskriterie	14
4.2	Fjordsiden	14
4.2.1	Dimensionsgivende bølge på dybt vand	15
4.2.2	Dimensionsgivende bølge på lavt vand	16
4.3	Havsiden	18

4.3.1	Dimensionsgivende bølge og vandstand på dybt vand	19
4.3.2	Dimensionsgivende bølge og vandstand på lavt vand	20
4.3.3	Dimensionsgivende bølge og vandstand på lavt vand – Strandvej 24-31	23
4.3.3.1	Kombination af strandfodring og skråningsbeskyttelse	26
5	Resulterende kronekoter	27
5.1	Fjordsiden	28
5.2	Havsiden	28
5.2.1	Strandvej 24-31	29
6	Erosion og strandfodring på havsiden	30
6.1	Havspejlsstigning	31
6.2	Kronisk erosion	33
6.3	Akut erosion	34
6.3.1	Initial forhøjelse af stranden –Strandvej 24-31	35
6.4	Samlede strandfodringsmængder	35
6.4.1	Vedligehold	36
7	Referencer	37

1 Indledning

I dette bilag præsenteres de kysttekniske forudsætninger, analyser og beregninger anvendt til dimensionering af kystbeskyttelse omkring Enø og Lungshave. Bilaget omfatter to hovedemner:

- Beskrivelse af sikringsniveau og projektering af højvandsbeskyttelsen. Gennemgang af dimensionsgivende vandstand og bølgeklima for hele Enø og Lungshave og særskilt for fjord- og havsiden.
- Analyse af den historiske kystudvikling. Bestemmelse af strandfodringsmængder som kompensation for kronisk erosion og havspejlsstigning. Analyse af potentiel akut erosion og bestemmelse af nødvendige strandfodringsmængder ift. initial- og vedligeholdelsesfodring.

2 Sikringsniveau og dimensionering

Dimensionering af højvandsbeskyttelse fastlægges ud fra en hændelse, der statistisk set forekommer med et valgt interval (middeltidshændelse/returperiode) samt en ønsket levetid. Levetiden definerer, hvor langt ud i fremtiden, det ønskes at være beskyttet mod den valgte hændelse.

Generelt er valget af den dimensionsgivende hændelse en afvejning af flere parametre, hvoraf de mest afgørende er:

- Ønsket om at være sikret mod så ekstrem en hændelse som muligt
- Acceptabel sandsynlighed for, at den dimensionsgivende hændelse overskrides inden for levetiden
- Konsekvensen af, at der opstår skader samt prisen på udbedring af disse
- Ønsket om at bevare udsigten til vandet
- Reducere anlægsomkostninger

Højvandsbeskyttelse dimensioneres normalt til at kunne modstå en 100-års middeltidshændelse. Det anbefales som minimum at vælge en levetid på 50 år.

Der vil altid være en sandsynlighed for, at den dimensionsgivende vandstand og bølgehøjde vil forekomme eller overskrides inden for den valgte levetid. Ved at kombinere middeltidshændelse og levetid kan sandsynligheden for, om højvandsbeskyttelsens dimensioneringsforudsætninger overskrides, evt. med skader til følge, beregnes, se Tabel 2.1.

Tabel 2.1: Beregnet sandsynlighed i % for at middeltidshændelsen overskrides inde for en given levetid.

Levetid i år	Middeltidshændelse (MT) i år					
	1	5	10	30	50	100
1	100	20	10	3	2	1
5	100	67	41	16	10	5
10	100	89	65	29	18	10
30	100	100	96	64	45	26
50	100	100	99	82	64	39
100	100	100	100	97	87	63

Tabellen viser, at der er 39 % risiko for, at en 100-års middeltidshændelse indtræffer inden for en 50-års levetid.

I dialog mellem NIRAS, kommunen og interessenter er det valgt at dimensionere digerne efter en 100-års middeltidshændelse om 50 år (i år 2070).

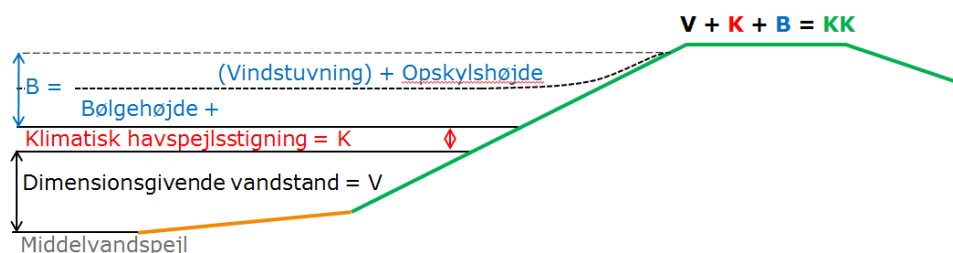
2.1 Sædvanlig dimensionering

Dimensionerne på højvandsbeskyttelsen bestemmes på baggrund af det valgte sikringsniveau. Kronekoten af beskyttelsen bestemmes overordnet set ud fra følgende trin:

1. Vandstanden (V), der svarer til den valgte middeltidshændelse findes ud fra højvandsstatistikkerne.
2. Dernæst estimeres størrelsen på den forventede havspejlsstigning inden for den valgte levetid (K).
3. Korrelation mellem forhøjet vandstand og samtidig bølgepåvirkning vurderes (om der samtidigt er forhøjet vandstand og bølgepåvirkning).
1. Summen af V og K udgør den dimensionsgivende vandstand på dybt vand.
 - a) Forventes der ingen bølgepåvirkning, samtidigt med den dimensionsgivende vandstand, fastsættes kronekoten (KK) lidt højere end selve den dimensionsgivende vandstand.
 - b) Forventes samtidighed mellem ekstrem vandstand og bølgepåvirkning, skal der estimeres en højde, hvortil bølgerne kan nå (B) på Figur 2.1. Dette afgøres bl.a. ud fra koten af det foranliggende terræn, da bølgenes højde bl.a. varierer med vanddybden. Kronekoten justeres ud fra B samt et acceptabelt niveau af bølgeoverskyl (overskylskriterie). Derudover kan kronekoten hæves eller sænkes ved anvendelse af hhv. en stejlere eller fladere anlægsside eller foranliggende strand. Jo fladere forsiden er, jo mindre er bølgerne på diget. Ligeledes vil en forhøjelse af den foranliggende strand kunne reducere bølgehøjden ved beskyttelsen. Dermed vil den nødvendige kronekote også kunne reduceres. Størrelsesordenen på bølgeoverskyl afhænger af dybde, bølgehøjde, digets hældning og højde. Bølgeoverskyl må ikke overskride et fastsat kriterie for tilladeligt overskyl.

De forskellige bidrag er visualiseret i principskitzen i Figur 2.1.

Figur 2.1: Principskitse for de forskellige bidrag til beregning af digers kronekote i fremtiden (KK). Kronekoten ved etableringstidspunktet findes ved at fratrække den forventede landhævning (og i øvrigt tage højde for sætninger efter installation).



Kronekoten ved etableringstidspunktet findes ved at fratrække den forventede landhævning og i øvrigt tage højde for sætninger efter installation.

2.2 Granskning af tidligere hændelser

Som beskrevet ovenfor er det vigtigt at identificere, om der er samtidighed mellem ekstrem vandstand og bølgepåvirkning.

Når bølger og vandstand er fuldt korrelerede, dvs. forekommer samtidigt, skal begge ekstremer inkluderes i beregningerne.

Når bølger og vandstand ikke er fuldt korrelerede bør forskellige kombinationer af bølgehøjde og vandstand vurderes som f.eks.:

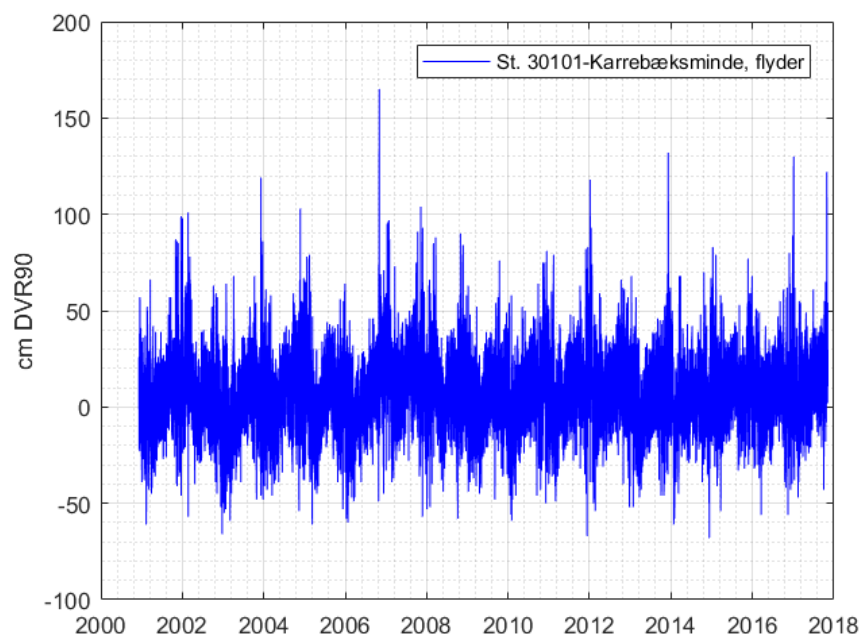
- en ekstremt forhøjet vandstand uden bølge
- en moderat forhøjet vandstand med en moderat eller ekstrem bølge
- ingen forhøjet vandstand med en moderat eller ekstrem bølge

Kendskab til kritiske kombinationer af bølgeforhold og vandstand er ikke kun vigtigt ift. bestemmelse af kronekoten men også ift. bestemmelse af mulig erosion foran diget under den dimensionsgivende hændelse.

2.2.1 Korrelation af bølger og vandstand ved Karrebæksminde

Kystdirektoratets vandstandsmåler i Karrebæksminde Havn ligger nærmest projektområdet. Måleren har målt vandstand siden 2001. Dette er den længste måleperiode anvendt til granskning af højvandstandshændelser ved projektområdet.

Figur 2.2: Tidsserien fra vandstandsmåleren i Karrebæksminde, [20].



Derudover er vandstandsmålere nær projektområdet med længere måleperioder samt diverse beskrivelser og rapporter fra bl.a. DMI anvendt til sammenligning, [1].

Granskningen er foretaget med øje for, at bølgepåvirkning af højvandsbeskyttelsen på fjord- og havsiden ikke kan forekomme under samme situation. Analysen viser stærk korrelation mellem ekstrem bølgepåvirkning og ekstrem højvandstand for fjordsidens strækninger, der er eksponeret mod nord og nordøst, men ikke for havsiden.

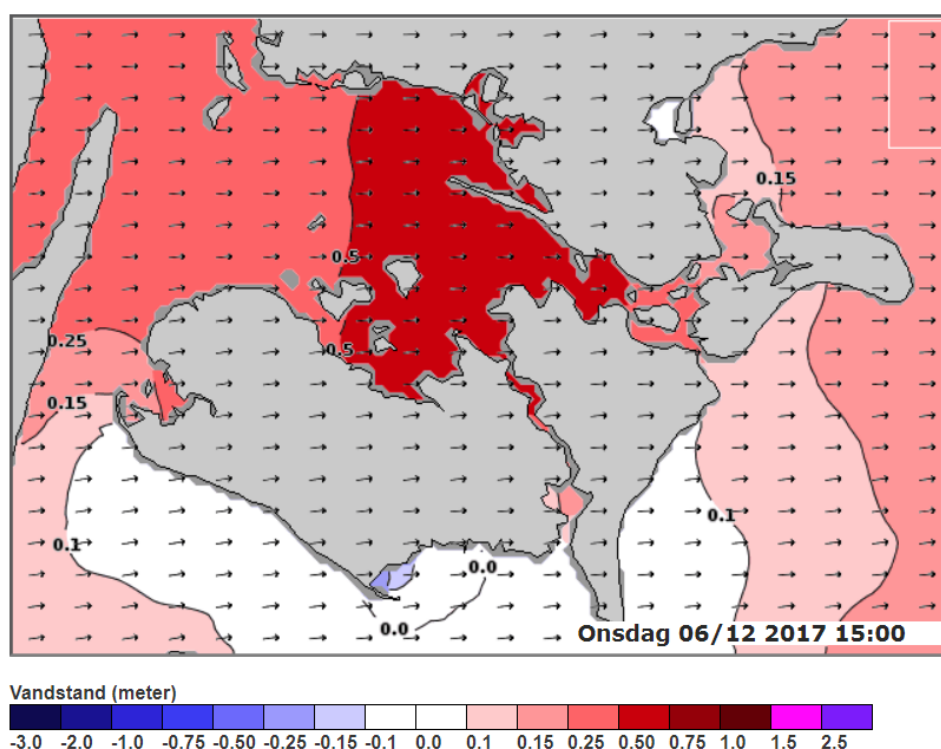
Der er identificeret 5 forskellige meteorologiske og hydrauliske hændelsestyper, der kan skabe højvande og potentiel oversvømmelse af Lungshave og Enø.

2.2.2 Scenarie 1: Vindstuvning

Vestlige vinde kan give en lokal vindstuvning i den østlige del af Smålandsfarvandet, da den hydrauliske modstand gennem Storstrømmen er større end i Smålandsfarvandet.

Dette kunne bl.a. opleves d. 06.12.2017, se Figur 2.3. Størrelsen af opstuvningen i Smålandsfarvandet afhænger af hvor længe, der forekommer vestenvind samt med hvilken styrke.

Figur 2.3: Eksempel på vindstuvning i Smålandsfarvandet ved vestenvind grundet højere hydraulisk modstand gennem Storstrømmen [20].



Kraftig vestenvind forekommer adskillige gange årligt i Danmark, men højvande over ca. +0,8 m DVR90 forekommer sjældent. Vestenvind i forbindelse med stormhændelser forekommer oftest under stormens opstartsfase, hvilken sjældent er forbundet med ekstreme højvande over ca. +0,8 - +0,9 m DVR90.

Stormene Allan (oktober 2013) samt Dagmar og Egon (januar 2015) var alle tre storme med vestenvind. Stormen Allan var den kraftigste storm nogensinde målt i Danmark, [2]. I Karrebæksminde sås dog ingen tegn på forhøjet vandstand, under Egon formegentlig grundet stormens korte varighed. Dagmar og Egon forekom i umiddelbar forlængelse af hinanden og var således mere langvarig, men vandstanden nåede kun op på +0,83 m DVR90.

Ved dette scenarie vil der være samtidig bølgepåvirkning på havsiden af Enø og Lungshave.

2.2.3 Scenarie 2: Storm fra nordlige retninger

Ofte begynder storme i Danmark med vind fra sydvest til nordvest. Hermed presses store mængder vand ind gennem Skagerrak og ind i Kattegat. Ved langvarig vindpåvirkning fra vestlige retninger kan en del af den forhøjede vandstand bevæge sig fra Kattegat ned gennem bælterne. Da de Indre Danske Farvande udgør en tragt mellem Kattegat og Østersøen øges vandstanden, når vandet skal passere Øresund og Bælthavet.

I nogle tilfælde vil stormen fra vestlige retninger efterfølges af kraftig vind fra nordlige retninger. Dette var situationen i forbindelse med stormen Bodil 6.12.2013. Størrelsen af højvandet i de indre danske farvande afhænger af, hvor kraftig og hvor langvarig stormen fra nord er og hvor meget vand, der i forvejen er presset ind i Kattegat under den forudgående vestenvind.

Karrebæksminde og projektområdet oplevede ekstremt højvande som følge af kraftig vind fra nord under stormen i januar 2012, Bodil (december 2013) og Ingolf (oktober 2017). Her var vandstandene hhv. +1,18, +1,32 og +1,3 m DVR90. Under disse situationer er der samtidig bølgepåvirkning på fjordsiden.

2.2.4 Scenarie 3: Tilbageløb

Hvis store mængder af vand, under en storm fra nordlige retninger over Danmark, er presset ind i Østersøen, vil dette vandlegeme strømme retur gennem de Indre Danske Farvande, Kattegat og Skagerrak, når vinden lægger sig eller ændrer retning. Indimellem sker det desuden, at lavtrykket bevæger sig videre over til den Botniske bugt og skaber nordenvind her. Herved presses vandet i den Botniske bugt mod syd og ind i de Indre Danske Farvande.

Når store mængder vand under en storm fra nordlige retninger over Danmark er presset ind i Østersøen, vil vandet strømme tilbage gennem de Indre Danske Farvande, Kattegat og ud i Skagerrak, når vinden lægger sig eller ændrer retning. Indimellem sker det desuden, at lavtrykket bevæger sig videre over til den Botniske Bugt og skaber nordenvind her. Herved presses vandet i den Botniske Bugt mod syd og ind i de Indre Danske Farvande.

Der skabes forhøjet vandstand i de snævre Indre Danske Farvande, når vandet strømmer retur til Nordsøen, men der vil ikke være bølgepåvirkning af projektområdet under scenarie 3.

Denne type højvandstand forekommer sjældent, men forekom dog i december 2003 og senest efter stormen Urd i januar 2017, hvor vandstanden i Karrebæksminde nåede op på hhv. +1,19 og +1,3 m DVR90.

Nytårsaften 1904 var der også ekstremt højvande i de Indre Danske Farvande. Det er dog ikke helt sikkert, om der var tale om et tilbageløb eller ej. Vandstanden blev ikke målt i Karrebæksminde men derimod i Korsør og Gedser. Ud fra gennemsnittet af disse to målinger vurderes vandstanden i Karrebæksminde at have været ca. +1,5 m DVR90, [3].

2.2.5 Scenarie 4: Tilbageløb og storm fra øst

I sjældne tilfælde kan der opstå kraftige lavtryk syd for Østersøen, som giver storm fra øst over Østersøen og Indre Danske Farvande. Herved presses vandet fra Østersøen ind i de Indre Danske Farvande, hvilket kan skabe ekstreme stormfloder.

Vandstanden kan øges yderligere, hvis der i forvejen er presset vand ind i Østersøen. Dette vurderes dog ikke at være en forudsætning for ekstremt højvande under storm fra øst.

Storm fra øst eller syd forekommer sjældent og er senest berettet om i forbindelse med stormen i 1872 og er grundigt beskrevet af A. Colding, [4]. Ved Enø og Lungshave var vandstanden kl. 18 d. 13. november 1872 mellem +1,65 - 1,8 m DVR90.

Igennem de sidste 1.000 år er 8 (inkl. 1872) hændelser med stormflod grundet østenstorm dokumenteret, [5].

Ved Lungshave og Enø vil storme fra østlige retninger ikke give ekstreme bølger samtidig med højvandet, da vandstanden er højest i forbindelse med vinde fra østsydøst til nordøst.

2.2.6 Scenarie 5: Sammenfald af forhøjet vandstand

De to hændelser, der har forvoldt størst oversvømmelse af Lungshave og Enø i nyere tid, er stormene i februar 1993 og november 2006. Disse forekom under et specielt sammenfald af meteorologiske forhold. Højvandet i disse situationer blev skabt ved ([1]);

- At en storm med vind fra nord først presser vand ind i Østersøen. Efterfølgende bevæger dette lavtryk sig mod øst og skaber storm fra nord over den Botniske Bugt og Østersøen. Dette resulterer i, at der strømmer vand tilbage mod Bælthavet og Sundet, som derved skaber højvande ved projektområdet (Scenarie 3).
- Samtidig skabes et nyt lavtryk og dermed en ny storm fra nord over Danmark. Hermed presses vand på ny ned gennem Indre Danske Farvande (Scenarie 2). Højvande forårsaget af tilbageløbet fra Østersøen og vandet, som påny presses ind gennem Skagerrak og Kattegat, kulminerer i de Indre Danske Farvande. Herved kan der skabes ekstremt højvande ved Enø og Lungshave.

Vandstanden nåede i november 2006 op på +1,65 m DVR90, som er den højest målte vandstand i måleserien fra Karrebæksminde. Under stormen i 1993 var måleren i Karrebæksminde endnu ikke installeret.

Vandstanden i Korsør nåede under stormen i november 2006 op på +1,62 m DVR90, hvilket var 3 cm lavere end i Karrebæksminde. Antages denne forskel under højvandet i 1993 betyder det, at vandstanden i Karrebæksminde formodentligt var omkring +1,56 m DVR90, da vandstanden i Korsør blev målt til 1,53 m DVR90.

Sammenfaldet af højvande fra nord i Kattegat og fra den Botniske Bugt er primært genereret af vind fra nordlige retninger og er derfor ikke sammenfaldende med ekstreme bølgeforhold i Smålandsfarvandet.

2.3 Dimensionsgivende scenarier

Gennemgangen af højvandssituationer og historiske hændelser viser, at scenarie 2 og 5 vil give den højeste hydrauliske påvirkning på fjordsiden grundet samtidigheden mellem ekstrem vandstand og ekstrem bølgepåvirkning.

For havsiden er der ikke samtidighed mellem ekstrem bølgehøjde og ekstrem vandstand, hvorfor det muligvis er scenarie 1 eller opstarten af scenarie 2, der giver den største påvirkning og vil være dimensionsgivende for havsiden.

2.3.1 Forsinkelse af højvande i fjorden

Der vil kunne være en mindre forsinkelse af stormflodshøjvandet og den maksimale højde af stormfloden i fjorden, men som udgangspunkt vurderes denne forskel at være minimal.

I forbindelse med ekstremt højvande i området ved Karrebæksminde Fjord vil strandengene på den sydligste del af Enø samt Dybsø blive oversvømmet helt. Storme fra nord har ofte en lang varighed, og der er derfor ofte tid nok til, at vandstanden i havet kan forplante sig fuldt ud ind i fjorden.

Eventuel estimering af forskellen i ekstrem vandstand mellem Lungshave og Enøs vest- og østside under dimensionsgivende hændelser kræver omfattende modelberegninger, hvilket er uden for omfanget af nærværende projekt.

Ved tidligere stormflodshændelser menes vandstanden at have været 10-20 cm lavere i Karrebæk Fjord end i Smålandsfarvandet. Jo længere tid en storm varer, jo mindre er vandstandsforskellen mellem Smålandsfarvandet og Karrebæk Fjord. I fremtiden forventes stormfloders varighed at stige. De forventede havspejlsstigninger vil oversvømme dele af Enø overdrev og Dybsø, hvorved indstrømningen af vand fra Smålandsfarvandet til Karrebæk Fjord vil foregå hurtigere. De forventede havspejlsstigninger og længere varighed af stormfloder medfører, at vandstandsforskellen mellem Smålandsfarvandet og Karrebæk Fjord i fremtiden vil være ubetydelig eller ikke-eksisterende, [6].

3 Dimensionsgivende vandstand og landhævning

Den dimensionsgivende vandstand på dybt vand er summen af den forventede havspejlsstigning og vandstanden svarende til den valgte middeltidshændelse. Vandstanden på lavt vand, altså inde ved kysten, kan være højere grundet bølge- og vindsetup.

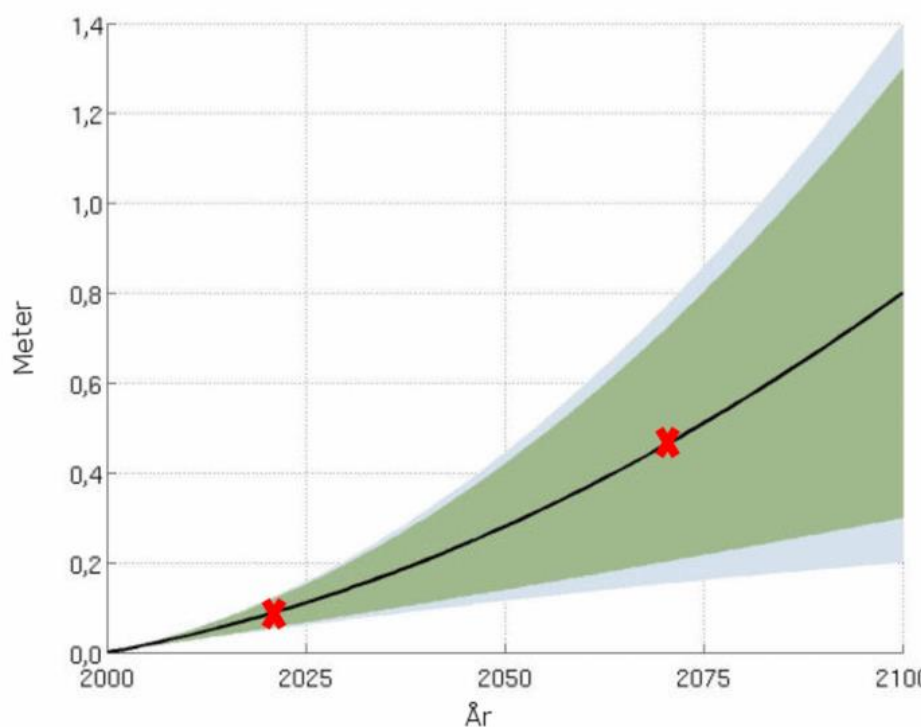
3.1 Global havvandspejlsstigning

De globale klimaforandringer resulterer i eustatiske havspejlsstigninger, som skal medregnes i den dimensionsgivende vandstand ud fra den ønskede levetid for stormflodssikringen.

Den forventede fremtidige havspejlsstigning afhænger af, hvilken prognose der benyttes.

I nærværende projekt er valgt at anvende DMI og Danmarks Klimacenters's bedste bud på vandstandsstigninger i Danmark indtil år 2100, Figur 3.1. Denne er baseret på IPCC's 2013 rapport med den seneste fremskrivning af den globale havspejlsstigning i tilfælde af forskellige scenarier (RCP) vedrørende bl.a. CO₂-udledninger og temperaturstigninger, [7].

Figur 3.1: DMI's bedste bud på vandstandsstigninger de næste 100 år i meter, når der ses bort fra landhævning. Den sorte kurve viser middelværdien, mens de grønne og blå områder viser usikkerheden henholdsvis globalt og omkring Danmark, [7].



DMI vurderer, at den fremtidige havspejlsstigning er 0,8 m for perioden mellem år 2000 og 2100, hvilket er en gennemsnitlig stigning på 8 mm/år. Havspejlet forventes at stige eksponentielt med tiden.

En levetid på 50 år, fra år 2020 til år 2070, svarer dermed til en havspejlsstigning på 38 cm.

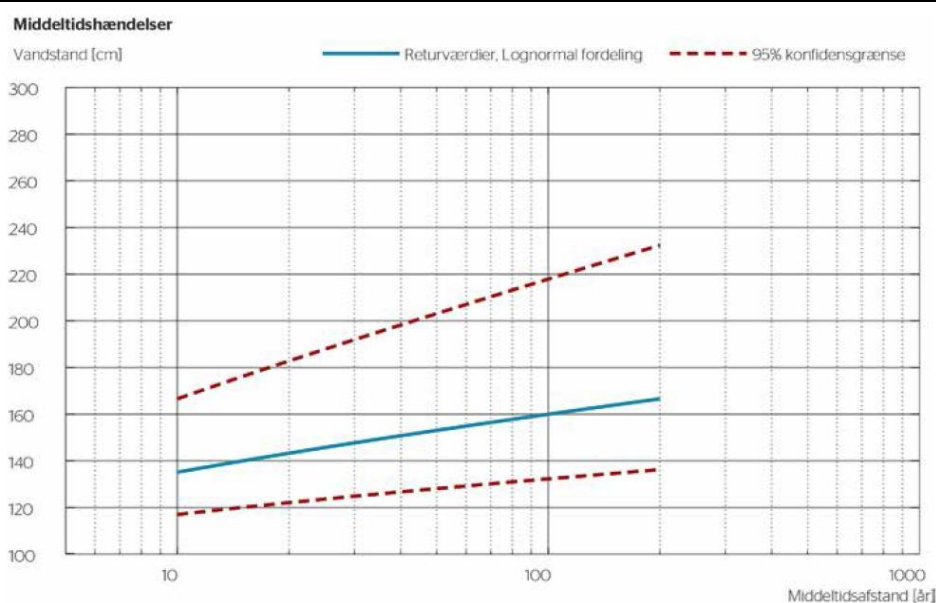
3.2 Højvandsstatistik

Den dimensionsgivende stormflodsvandstand, som diget skal modstå, vurderes ud fra højvandstandsstatistikker.

I Karrebæksminde Havn er forskellen mellem daglig middel lav- og højvande omkring 0,5 m. Med indgående strøm stiger vandstanden de første 5 timer og falder den sidste time; mens vandstanden med udgående strøm falder de første 5 timer og stiger den sidste time. Nordvestlige vinde kan give høvande op til +1,2 m DVR90 og Sydøstlige vinde ned til 0,6 m lavvande, [8].

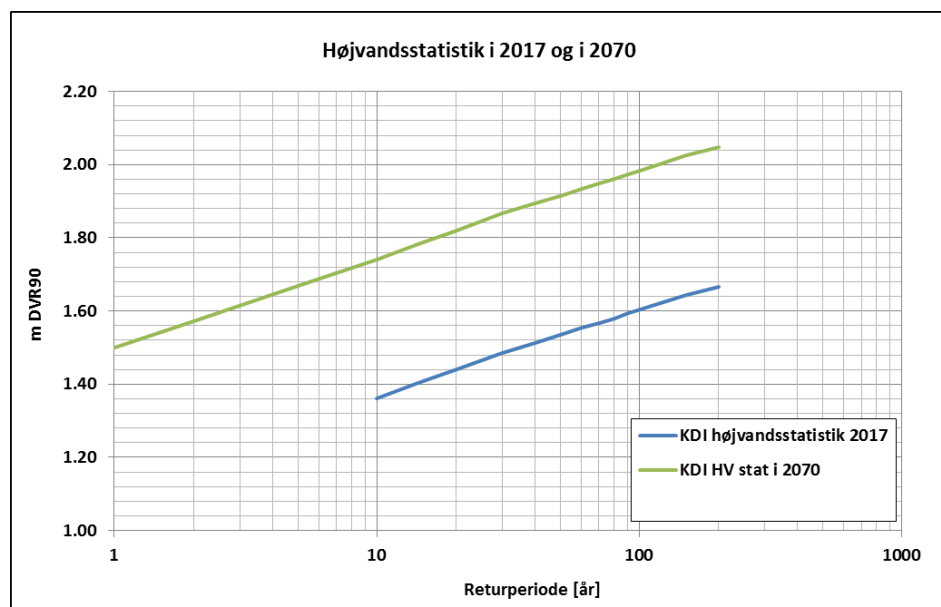
Kystdirektoratets nyeste højvandsstatistik for Karrebæksminde Havn er baseret på målinger mellem 2001-2017 (august). Statistikken viser, at en 100-års middeltidshændelse i dag (år 2017) svarer til +1,60 m DVR90, se Figur 3.2.

Figur 3.2: Middeltidshændelse med usikkerhedsinterval for Karrebæksminde Havn, [9].



Middeltidshændelsen for en given vandstand falder, efterhånden som det generelle havspejl stiger. En vandstand som i dag har en middeltidshændelse på 100 år vil om 50 år have en middeltidshændelse på ca. 2-3 år. Vandstanden for en 100-års middeltidshændelse i år 2070 vil derfor være højere end i dag. Dette er illustreret i Figur 3.3, hvor KDIs højvandsstatistik er tillagt den forventede havspejlsstigning frem til 2070.

Figur 3.3: Fremskrivning af højvandsstatistikken fra Kystdirektoratet 2017 til år 2070, [21]. Returperiode = middeltidshændelse.



Det skal bemærkes, at en måleperiode på blot 17 år, giver stor statistisk usikkerhed.

3.3 Dimensionsgivende vandstand uden bølgepåvirkning

Den dimensionsgivende vandstand på dybt vand for det valgte sikringsniveau med en 100 års middeltidsvandstand (MT) om 50 år (i år 2070) er beregnet og vist i Tabel 3.1.

Tabel 3.1: Dimensionsgivende vandstand på dybt vand for en 100 års MT vandstand om 50 år.

	100 års MT om 50 år (i år 2070)
Ekstremvandstand for 100-års MT i år 2020 (V) [m DVR90]	+1,60
Forventet havspejlsstigning år 2020-2070 (K) [m]	0,38
Dimensionsgivende vandstand [m DVR90]	+1,98 $\approx$ +2,0

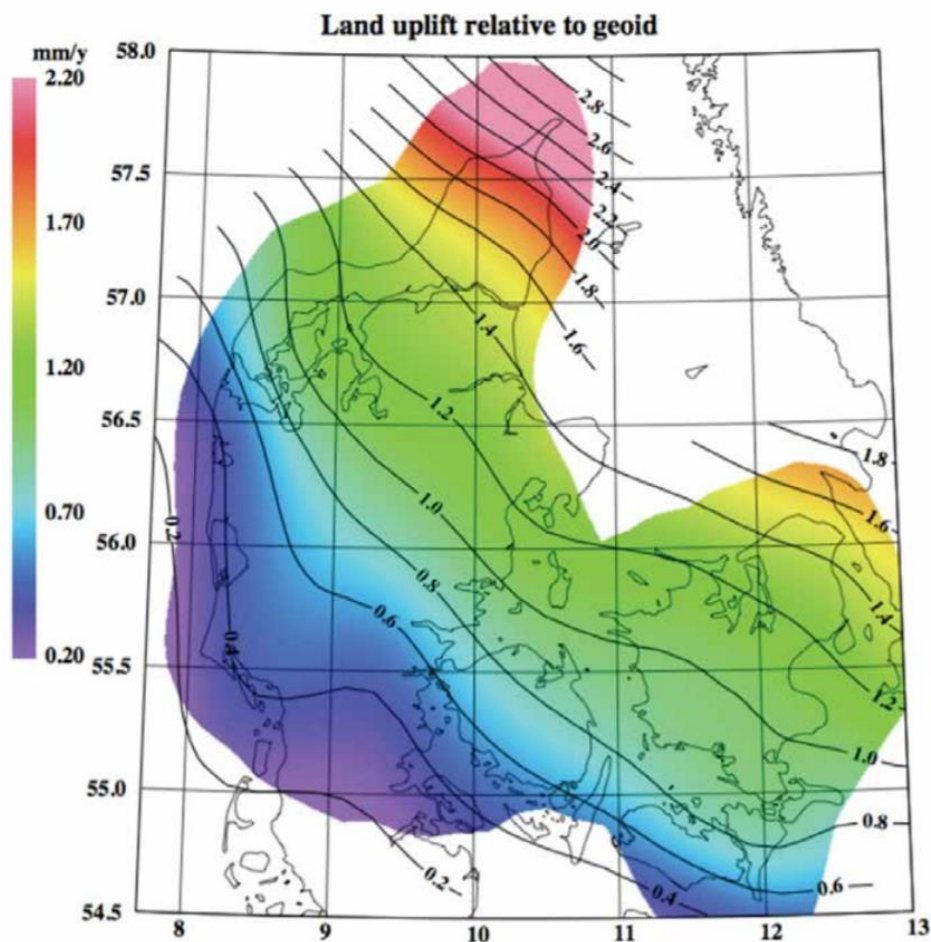
En vandstand på +2,0 m DVR90 er dimensionsgivende på lavt vand for fjordsiden, også hvor der er bølgepåvirkning. I tilfælde af bølgepåvirkning må medregnes et setup fra bølgerne.

3.4 Isostatisk landhævning

Ved beregning af kronekoten for byggetidspunktet skal tages højde for den forventede landhævning ved at fratrække denne fra den dimensionsgivende vandstand.

I Danmark foregår generelt en landhævning efter, at isen under den seneste istid "trykkede" en del af Danmark ned. Da isen forsvandt, begyndte landet at hæve sig igen og dette foregår endnu med store regionale hastighedsforskelle, se Figur 3.4.

Figur 3.4: Absolut landhævning i Danmark med nøjagtighed på 0,2 mm/år, [22].



Ved Enø er den gennemsnitlige landhævning (L) vurderet til ca. 0,9 mm/år. Den resulterende landhævning indtil år 2070 er dermed ca. 5 cm.

Da kronekoten af diget fastsættes i forhold til den dimensionsgivende vandstand i fremtiden, skal der ved anlægstidspunktet tages højde for landhævning ($V + K - L$). Diget vil med tiden hæve sig til den dimensionsgivende kronekote.

4 Bølgeklima omkring Enø og Lungshave

Bølgepåvirkning af hav- og fjordsiden forekommer ikke samtidigt, da kystorienteringerne er modsatrettede. De bathymetriske forhold ud for kysterne på de to strækninger er desuden vidt forskellige, hvilket skaber forskellige bølgestørrelser ved kysten.

4.1 Bølgedynamik

Bølgehøjder på dybt vand afhænger af det frie stræk vinden blæser over havet, længden af perioden, som vinden blæser fra samme retning, samt vindens styrke og dybden i farvandet. Når bølger kommer ind på mindre vanddybder, påvirkes de af ruheden fra bunden, hvormed de bremses og bliver stejlere, indtil de begynder at bryde.

Når bølger rammer kysten eller konstruktioner, skyller de op ad stranden/konstruktionen.

Opskylshøjden og størrelsen af bølgeopskyllet afhænger i store træk af konstruktionens forsidehældning, terrænet og bølgenes størrelse umiddelbart foran. Jo lavere det foranliggende terræn er, jo større bølger kan nå ind til digets fod, og jo større og højere bliver opskyllet og dermed et eventuelt overskyl.

4.1.1 Overskylskriterie

Overskyl fra bølger kan være kraftfuldt og kan skade nærtliggende bygninger og konstruktioner. Betydeligt bølgeoverskyl kan over længere tid resultere i oversvømmelser i baglandet.

Hældningen af bagsiden af diget har stor indflydelse på, hvor modstandsdygtigt diget er imod bølgeoverskyl. Digebrud indledes ofte ved beskadigelse af digets bagside ved et enkelt kraftigt bølgeoverskyl. Jo fladere bagsiden er, jo mindre er sandsynligheden for skader og gennembrud. Et diges for- og bagsidehældning bør som minimum være 1:3 ved bølgepåvirkede kyster, [10].

I dette projekt anvendes en forsidehældning på 1:3 med mindre andet er beskrevet. Bagsidehældningen afhænger af om strækningen er udsat for bølgepåvirkning ved det dimensionsgivende scenarie, [11].

Et diges optimale kronekote fastsættes endeligt ud fra et kriterie for tilladeligt overskyl, som angivet i Tabel 4.1.

Tabel 4.1: Overskylskriterie for velholdt græsdige, [12].

	Gennemsnitligt overskyl [L/s/m]	Maksimalt overskyl [L/m]
Område med nærtliggende bebyggelse hvor dårlig mulighed for afløb af overskyl til arealer uden bebyggelse eller anlæg.	2	2000

4.2 Fjordsiden

Dele af fjordsiden kan påvirkes af bølger fra nord-nordvest til nord-nordøst med et frit stræk på op til 3 km. Karrebæk Fjord er længere end 3 km, men med sin topkote omkring de +5,0 m DVR90 blokerer Lindholmen for bølgeenergien fra den nordligste del af fjorden.

Ud fra middelvindsobservationer er det fundet, at der under stormsituationer maksimalt forekommer middelvinde på 20 m/s fra nord-nordøstlige retninger og 25 m/s fra nordvestlige retninger [13], hvorfra det maksimale frie stræk for bølgedannelse er henholdsvis ca. 3 og 2 km. Vest for næsset ud for Feriecenteret er det frie stræk mod disse retninger dog kun henholdsvis 2 og 1,5 km. Ved lystbådehaven er det frie stræk 1 km.

Dybden i fjorden er mellem 1 - 2 m og mange steder mindre (søkort nr. 164). Til beregning af bølgepåvirkning antages en vanddybde på 2 m. Under et dimensionsgivende højvande (+2,0 m DVR90), vil den samlede dybde maksimalt være 4 m og de små holme (topkoter op til +0,3 m DVR90), med undtagelse af Lindholmen, vil være helt oversvømmede.

Figur 4.1: Frit stræk for bølgerne, der kan påvirke fjordsiden. Længste frie stræk er fra nord-nordøst og på ca. 3 km.



4.2.1 Dimensionsgivende bølge på dybt vand

Den maksimale bølgehøjde i fjorden er fundet ud fra en simpel SMB model (Sverdrup-Munk & Bretschneiders model, [14]) baseret på vindstyrke og frit stræk under den dimensionsgivende vandstandshændelse.

Bølgehøjden i fjorden samt bølgenes propagering til kysten findes ikke ved numerisk modellering, da modellering ikke er en del af nærværende opgave.

For nedenstående tre delstrækninger fås en maksimal signifikant bølgehøjde (H_s) i fjorden på 0,8 m samt en bølgeperiode på 2,5 s, se Tabel 4.2.

Tabel 4.2: Kritiske bølgescenarier og resulterende dimensionsgivende bølgeparametre for fjordsiden på dybt vand både vest og øst for Feriecenteret, samt ved Lystbådehavnen som ligger mere i læ.

Øst for Feriecenteret	Middelvindhastighed [m/s]	Frit stræk [km]	H _s [m]	T _p [s]
Vind fra Nord-Nordvest	25	2	0,8	2,5
Vind fra Nord-Nordøst	20	3	0,7	2,5
Dimensionsgivende bølgeparametre øst for Feriecenteret			0,8	2,5
Vest for Feriecenteret	Middelvindhastighed [m/s]	Frit stræk [km]	H _s [m]	T _p [s]
Vind fra Nord-Nordvest	25	1	0,6	2,0
Nord-Nordøst	20	2	0,6	2,3
Dimensionsgivende bølgeparametre vest for Feriecenteret			0,6	2,3
Lystbådehavn	Middelvindhastighed [m/s]	Frit stræk [km]	H _s [m]	T _p [s]
Dimensionsgivende Lystbådehavn og Enø Kystvej 119-123	20	1	0,4	2,0

4.2.2 Dimensionsgivende bølge på lavt vand

Bølgerne transformeres fra dybt vand ind over terrænet ved brug af LITPACK. Bølgetransformationen er foretaget for de seks lokaliteter vist på Figur 4.2.

Figur 4.2: Placering af profiler anvendt til bølgetransformation og bestemmelse af digets kronekote på de strækninger af fjordsiden, hvor diget vil blive påvirket af bølger i det dimensionsgivende scenarie.



Området er inddelt i et antal delstrækninger, der repræsenterer forholdene ud fra terræn og bølgeeksponering.

Profilerne, som kun strækker sig over +0,0 m DVR90 og opefter, er udtrukket fra terrænmodellen udarbejdet af NIRAS til nærværende projekt. Da der ikke er tilgængelige bathymetriske opmålinger i fjorden, udover søkortet, er bølgen ved

søværts ende af profilet antaget at være den dimensionsgivende bølge på dybt vand.

Til beregningen af bølgehøjde i LITPACK tages højde for, at denne beregning er på dimensionsgivende tidspunkt (altså om 50 år), hvorfor landhævningen indtil år 2070 lægges til terrænkoterne i profilet (Afsnit 3.4).

Bølgehøjderne til LITPACK er omregnet til H_{rms} -bølgehøjder ved brug af, [15]:

Omregning på dybt vand:
$$H_s = \sqrt{2} H_{rms} \approx 1.42 H_{rms}$$

og til beregning af overskyl og dermed bestemmelse af kronekoten er H_{rms} -bølgehøjderne på lavt vand igen omregnet til H_s -værdierne ved brug af følgende, [15]:

Omregning på lavt vand (dybdebegrænset bølge):
$$H_{rms} = \left(0.6725 + 0.2025 \left(\frac{H_s}{h} \right) \right) H_s$$

Hvor h er vanddybden.

Ved beregningen er forskellige fodkoter, ved hver lokalitet, evalueret ift. den resulterende kronekote samt digets mulige og mest hensigtsmæssige placering i forhold til bebyggelsen. Jo nærmere kysten, og dermed jo lavere terræn, diget placeres på, jo større vil bølgepåvirkningen på diget være og dermed vil den nødvendige kronekote være højere.

Ud fra dette er digefodskoter på bølgepåvirkede strækninger bestemt for at minimere kronekoten, Tabel 4.3. Flere steder er der ikke mulighed for at trække linjeføringen tilbage.

Når linjeføringsmulighederne granskes ses det, at ved Stejlepladsen er linjeføringen så langt tilbagetrukket og med et så højtliggende terræn, at diget næsten ikke udsættes for bølgepåvirkning. Derudover skal det bemærkes, at diget ud for Feriecenterets tværsnit ikke bør placeres lavere end i kote +1,7 m DVR90, da det foranliggende terræn er meget smalt og stejlt. Ovennævnte minimums terrænkoter er dog efter 50 års landhævning, hvilket betyder, at den nødvendige terrænkote foran digefoden er 5 cm lavere idag.

Ud fra disse kriterier bliver de resulterende maksimale signifikante bølgehøjder (H_s) som vist i Tabel 4.3.

Tabel 4.3: Dimensionsgivende bølgehøjde for fjordsiden på lavt vand (ved digefoden) samt terrænkote for denne bølgehøjde. Terrænkoterne angiver den mindste nødvendige/mulige terrænkote ved hver lokalitet. Terrænkoterne er for år 2070, og bør fratrækkes 50 års landhævning for at finde nødvendige minimums terrænkote i dag.

Lokalitet	Terrænkote ved digefod [m DVR90] inkl. landhævning	H_s på dybt vand [m]
Fjordhusene	+1,5	0,25
Volleybane	+1,5	0,3
Feriecenter	+1,7	0,3
Stejleplads	+2,0	0,1
Lystbådehavn	+1,0	0,25
Reedtzholmvej nord	+1,0	0,4
Kystvej 119-123	+0,5	0,45

Strækningen foran Fjordhusene samt husene langs Reedtzholmvej og Enø Kystvej 119-121 kan blive udsat for den største bølgepåvirkning (svarende til 'Øst for Feriecenteret' i Tabel 4.2).

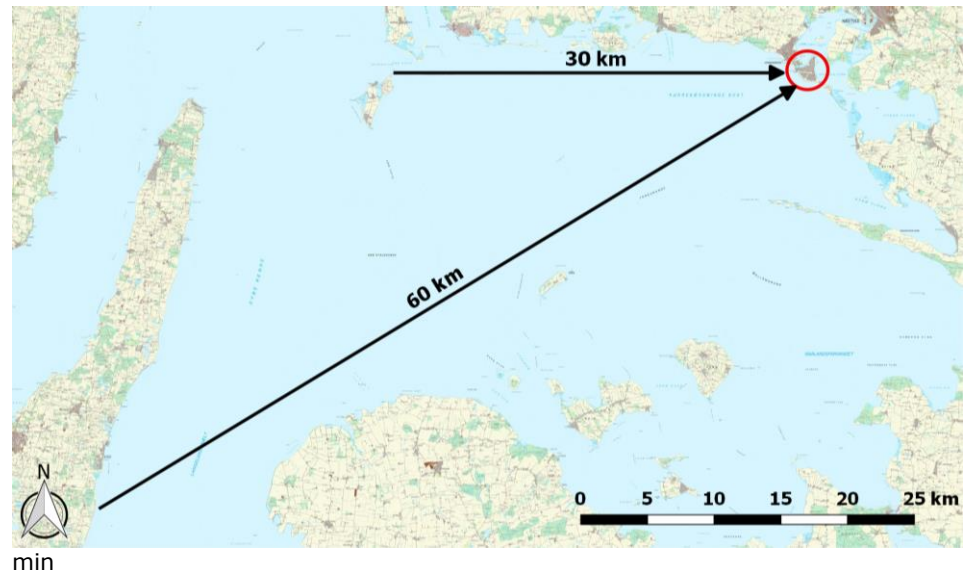
Strækningen mellem pynten/Feriecenteret og lystbådehavnen, som ellers også er bølgepåvirket, ligger mere i læ af Sjælland og bølgepåvirkningen her er mindre. Bølgehøjden er større ved Feriecenteret, hvor det foranliggende terræn er meget smalt (Tabel 4.2).

4.3 Havsiden

Havsiden påvirkes af bølger fra retninger mellem syd og vest (160-280 grader). Det længste frie stræk er på 60 km mod sydvest. Efter analyse af vindstatistikker, for samme periode, som der findes vandstandsmålinger i Karrebæksminde Havn, ses at de kraftigste vinde optræder fra vest. Det frie stræk herfra er begrænset af Agersø og Omø og er derfor ca. 30 km.

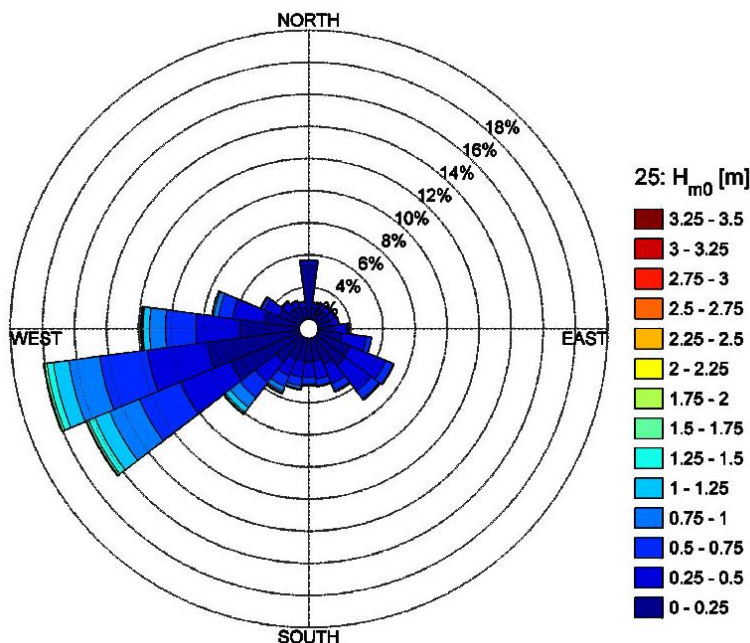
Bølger fra sydvest dannes i Langelandsbæltet, som er en del af sejlrenden gennem Storebælt, med dybder på 20 m. I Smålandsfarvandet er dybden i gennemsnit ca. 10 m (Søkort nr. 103 og 104, [16]).

Figur 4.3: Frit stræk for bølgerne der kan påvirke havsiden. Længste frie stræk er fra sydvest og på ca. 60 km.



De kraftigste storme i området kommer fra vest-nordvest, men storme fra sydvest med middelvindshastigheder på ca. 20 m/s forekommer også [13]. Det dominerende bølgeklima i området er fra vestlige retninger, som det ses af Figur 4.4.

Figur 4.4: Bølgerose ud for Enø i Smålandsfarvandet, [17].



For dette område er der ikke stærk korrelation mellem ekstrem højvandstand og ekstrem bølgepåvirkning. I det følgende undersøges, hvilken kombination af vandstande og bølgehøjder, der giver størst bølgepåvirkning på havsiden og dermed højest nødvendig kronekote.

Dimensionsgivende bølger på dybt vand gælder for hele strækningen, men på lavt vand er beregningerne forskellige mellem strækningerne Enø Kystvej 10-Strandvej 24 og Strandvej 24-31.

4.3.1 Dimensionsgivende bølge og vandstand på dybt vand

For at fastsætte kronekoten på diget er det essentielt at have kendskab til de lokale vandstands- og bølgeforhold. En numerisk bølgemodel (MIKE 21 SW [18]) af Storebælt, Langelandsbælt og Smålandsfarvandet er opsat til simulering af bølgeklimaet givet af vinden [13]. På kort form er modellen baseret på følgende

- 1) Vinden er vindfelter for perioden 2001 til 2015 med en horisontal opløsning på minimum 0,3° og en tidslig opløsning på en time [13];
- 2) Vandstanden er konstant i modelområdet med en tidslig variation som målt ved Karrebæksminde;
- 3) Dybdata til bathymetrien er trukket fra Miljøstyrelsen AIS database (tidligere Farvandsvæsenet) [19].
- 4) Modellen er ukalibreret og baseret på default parametrene i modellen [18];

Bølgeforholdene for det omkringliggende farvand er simuleret for en 15 årig periode (2001-2015). Tidsserien er herefter benyttet til at bestemme ekstremværdier med forskellige middeltidshændelser.

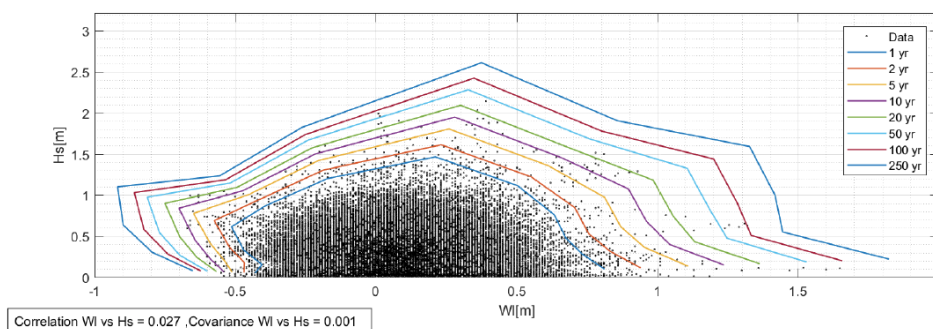
Ekstremværdierne er bestemt ud fra peak-over-threshold med en minimum afstand mellem stormene på 2 dage og et gennemsnit på 2 storme pr. år. Værdierne er bestemt med en 3-parameter Weibull fordeling. Dette er gjort for intervaller af samtidige værdier af den signifikante bølgehøjde og vandstanden.

Kovariansen for de to datasæt er tæt på nul, hvorfor de kan betragtes som værende uafhængige.

Den samlede sandsynlighed for en given kombination af bølgehøjde og vandstand bestemmes som sandsynligheden for den ene multipliceret med sandsynligheden for den anden. F.eks. Hvis den ene hændelse forekommer med en returperiode på 10 år og den anden med en returperiode på 2 år, vil den samlede returperiode være 20 år.

Figur 4.5 viser den signifikante bølgehøjde på dybt vand ud for projektområdet som funktion af vandstand og middeltidshændelse for kompasretningen 160-280 grader. Figuren viser, at de største signifikante bølgehøjder er op til 2,0 – 2,5 m og forekommer ved vandstande mellem +0,0 - +0,5 m (DVR90).

Figur 4.5: Sammenhæng mellem vandstand, signifikant bølgehøjde på 10 m dybde og middeltidshændelse ud for Lungshave og Enø for kompasretningerne 160-280 grader.



Følgende 5 kombinationer af vandstand og bølgehøjde er analyseret på dybt vand.

Tabel 4.4: Kombinationer af vandstande og bølgehøjder samt tilhørende bølgeperioder for 100-års hændelse i Smålandsfarvandet på dybt vand ud for Enø og Lungshave.

Vandstand på dybt vand i år 2020 [m DVR90]	Vandstand på dybt vand i år 2070 [m DVR90]	Bølgehøjde på dybt vand (H_s) for 100 års MT [m]	T_p [s]
0,3	0,72	2,4	5,9
0,8	1,22	1,8	5,3
1,2	1,62	1,5	5,0
1,3	1,72	0,5	3,3
1,6	2,02	0,3	2,8

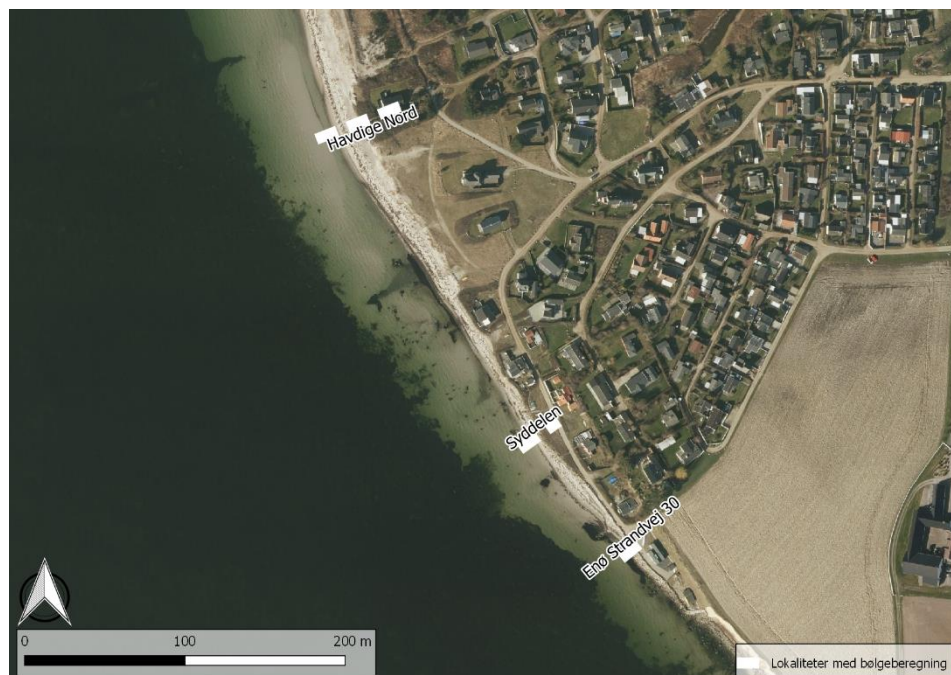
Vandstandsdata (angivet i m DVR90) anvendt i bølgemodellen, er ikke korrigeret ift. havspejlsstigning inden for måleperioden (2001-2015). Derfor tillægges havspejlsstigningen fra midten af måleperioden (år 2008) frem til år 2070, hvilket svarer til 42 cm, Figur 3.1.

4.3.2 Dimensionsgivende bølge og vandstand på lavt vand

Til at transformere bølgerne til lavt vand i LITPROF er profilet ud for Strandvej 21A ('Havdige Nord') anvendt til beregning af digehøjden. Stranden er smallest her og profilet er det stejleste. Profilet vurderes at være repræsentativt for maksimal bølgepåvirkning langs havdiget, Figur 4.6.

På Figur 4.6 er også vist de to lokaliteter for hvilke der beregnes dimensioner af skråningsbeskyttelse.

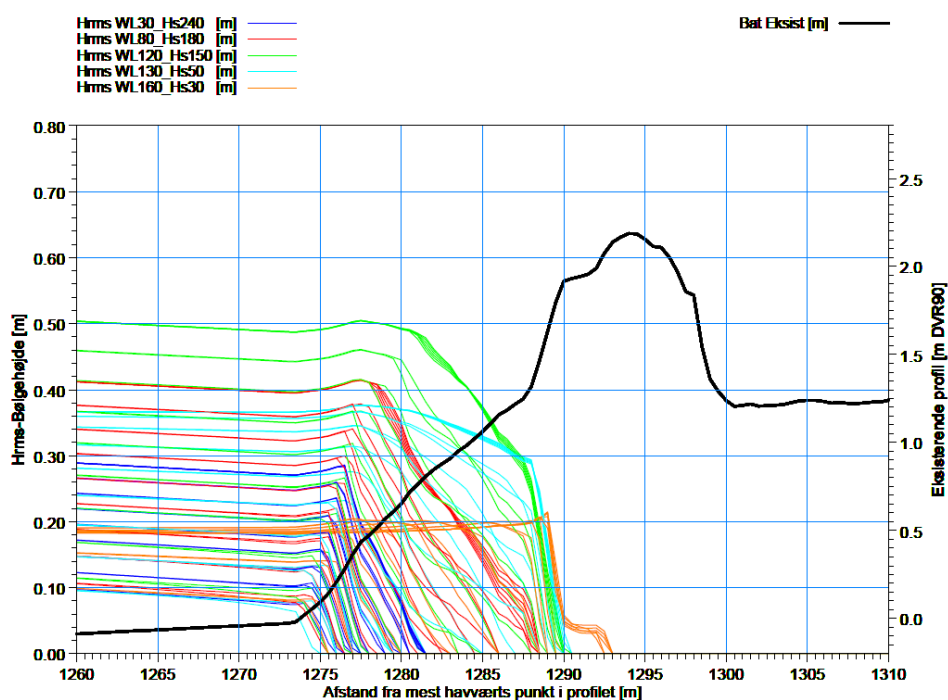
Figur 4.6: Placering af de repræsentative profiler anvendt til modellering af bølger på lavt vand samt beregning af kronekoter for havsiden af Enø og Lungshave for både dige og skråningsbeskyttelse.



Til beregningen af bølgehøjde i LITPROF tages højde for, at denne beregning er for det dimensionsgivende tidspunkt (altså om 50 år), hvorfor landhævnningen indtil år 2070 lægges til terrænkoterne i profilet, ligesom for fjordsiden, Afsnit 3.4.

De opstillede kombinationer af vandstand og bølgehøjde (jf. Tabel 4.4) er konstrueret med en varighed på 24 t, med maksimal vandstand i 6 timer og inkluderer den forventede havspejlsstigning.

Figur 4.7: Variation af bølgehøjden præsenteret som Hrms foran det projekterede dige for de fem analyserede kombinationer af vandstand, WL og bølgehøjde, Hs svarende til 100-års hændelser. Figuren viser den inderste del af kystprofilet. Klitfoden ligger i afstand af ca. 1.287 m fra det mest havværts punkt i profilet.



Af Figur 4.7 ses hvordan bølgehøjden for de forskellige kombinationer af vandstand og bølgehøjde varierer hen over strandprofilet under stormen. Ved kombinationen med de største bølger og lille forhøjet vandstand ($WL=0,3$ m DVR90 + $H_s=2,4$ m) bryder bølgerne på forstranden. Ved kombinationen af vandstand på $+0,8$ m DVR90 og signifikant bølgehøjde på $1,8$ m når en mindre bølge op til klitfoden (1.287 m afstand).

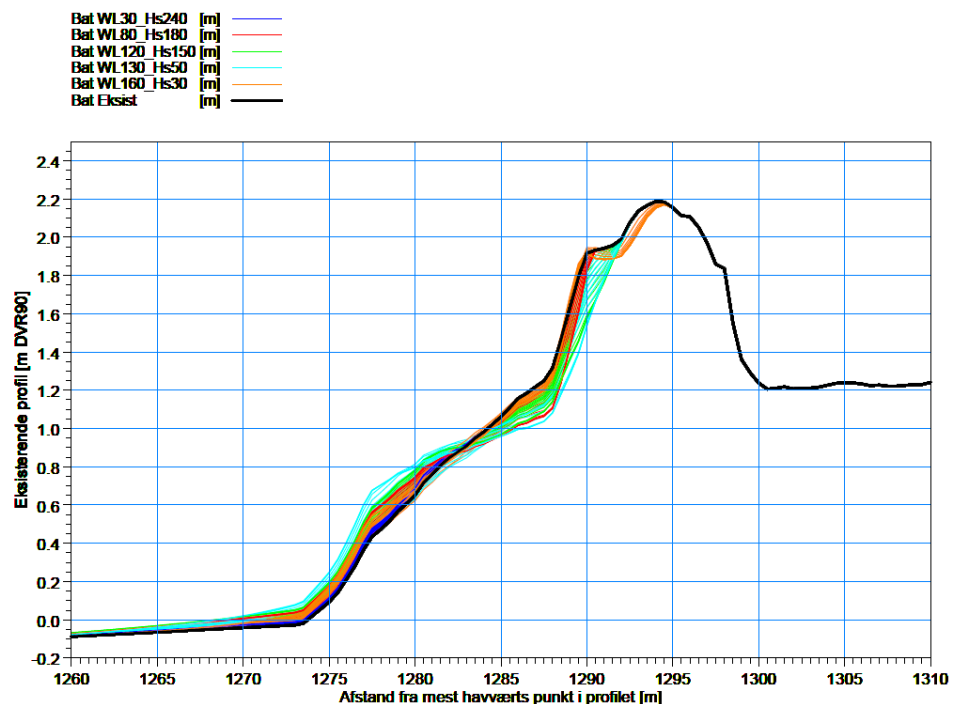
De tre kombinationer med højest vandstand på hhv. $+1,2$; $+1,3$; $+1,6$ m DVR90 giver de største bølger på bagstranden og dermed ved klitfoden.

På havsiden af Enø og Lungshave skal diget placeres på grænsen til stranden, og det er derfor nødvendigt at inkludere den potentielle akutte erosion ved digefoden i bestemmelsen af den dimensionsgivende bølgehøjde og vandstand.

Hvis stranden eroderes under hændelsen, øges bølgepåvirkningen på diget, og dermed øges også opskylshøjden og -mængden. Ligeledes kan diget ved akut erosion undermineres og ødelægges af bølgerne nedefra, Afsnit 0.

Den beregnede akutte erosion under stormen for de fem kombinationer er vist i , Figur 4.8. Kombinationen med en vandstand på $+1,6$ m DVR90 og en signifikant bølgehøjde på $0,3$ m giver erosion længst landværts, men kun lille erosion ved klitfoden. Kombinationen med en vandstand på $+1,3$ m DVR90 og signifikant bølgehøjde på $0,5$ m giver den største erosion på ca. 20 cm ved klitfoden.

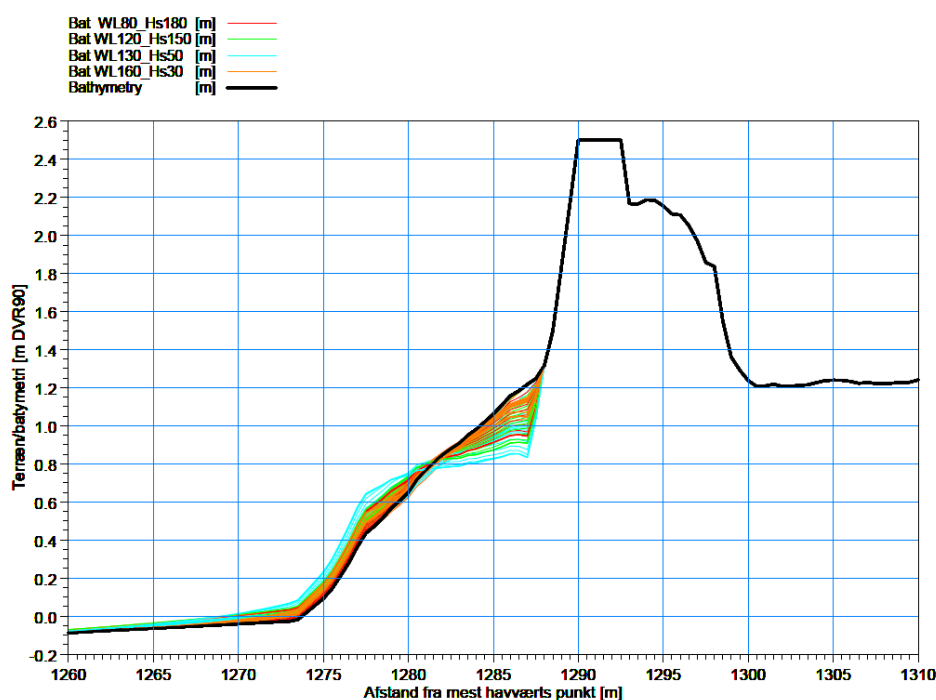
Figur 4.8: Akut erosion ud for det eksisterende profil for de fem analyserede kombinationer af vandstand, WL og bølgehøjde, H_s svarende til 100-års hændelser. Figuren viser den inderste del af kystprofilet. Klitfoden ligger i afstand af ca. 1.287 m fra det mest havværts punkt i profilet.



Når det eksisterende profil kombineres med et ikke-eroderbart dige, bliver den vertikale erosion op mod 40 cm lidt foran digefoden. Forskellen skyldes, at bølgerne flytter sandet udad i profilet. Ved et fuldt eroderbart profil, vil noget af sandet fra klitten flyttes til klitfoden og således reducere den totale erosionsdybde her.

Figur 4.9: Akut erosion ud for det projekterede dige for de fire analyserede kombinationer af vandstand, WL og bølgehøjde, Hs svarende til 100-års hændelser. Figuren viser den inderste del af kystprofilen. Klitfoden ligger i afstand af ca. 1.287 m fra det mest havværts punkt i profilet.

(Figuren er udarbejdet efter den endelige kronekote er fastsat).



4.3.3 Dimensionsgivende bølge og vandstand på lavt vand – Strandvej 24-31

Mellem Strandvej 24 – 31 er også udført en særskilt LITPROF analyse af den nødvendige kronekote, den potentielle erosion og minimumsfodkote foran skråningsbeskyttelserne på to lokaliteter, se Figur 4.6.

Strandbredden og placeringen af konstruktionsfoden ift. vandlinjen er varierende langs denne strækning og anderledes end nordfor. Mellem Strandvej 24-26 ligger konstruktionsfoden over kote +0,5 m DVR90, mens den ligger nær vandkanten i kote +0,25 m DVR90 mellem Strandvej 30-31, Figur 4.6.

Derfor er analysen foretaget for to lokaliteter. Profilet anvendt under vandlinjen er det samme, mens profilet over vandlinjen er forskelligt, se Figur 4.10. Der er ikke foretaget opmålinger af bathymetrien i området. Analyserne, og deraf følgende mængder, er derfor baseret på bathymetriske oplysninger fra søkort nr. 103 og 104.

Korrektion ift. landhævning foretages på samme vis som beskrevet for den nordlige del af havsiden i ovenstående Afsnit 4.3.2.

De analyserede kombinationer af vandstand og bølgehøjde er ligeledes som for den nordlige del af havsiden, Afsnit 4.3.2.

Et scenarie uden fast konstruktion testes ikke mellem Strandvej 24-31, da skrænten allerede er bebygget med skråningsbeskyttelse. Konstruktionen der anvendes i modelleringen er opbygget med en anbefalet forside med en hældning på 1:2.

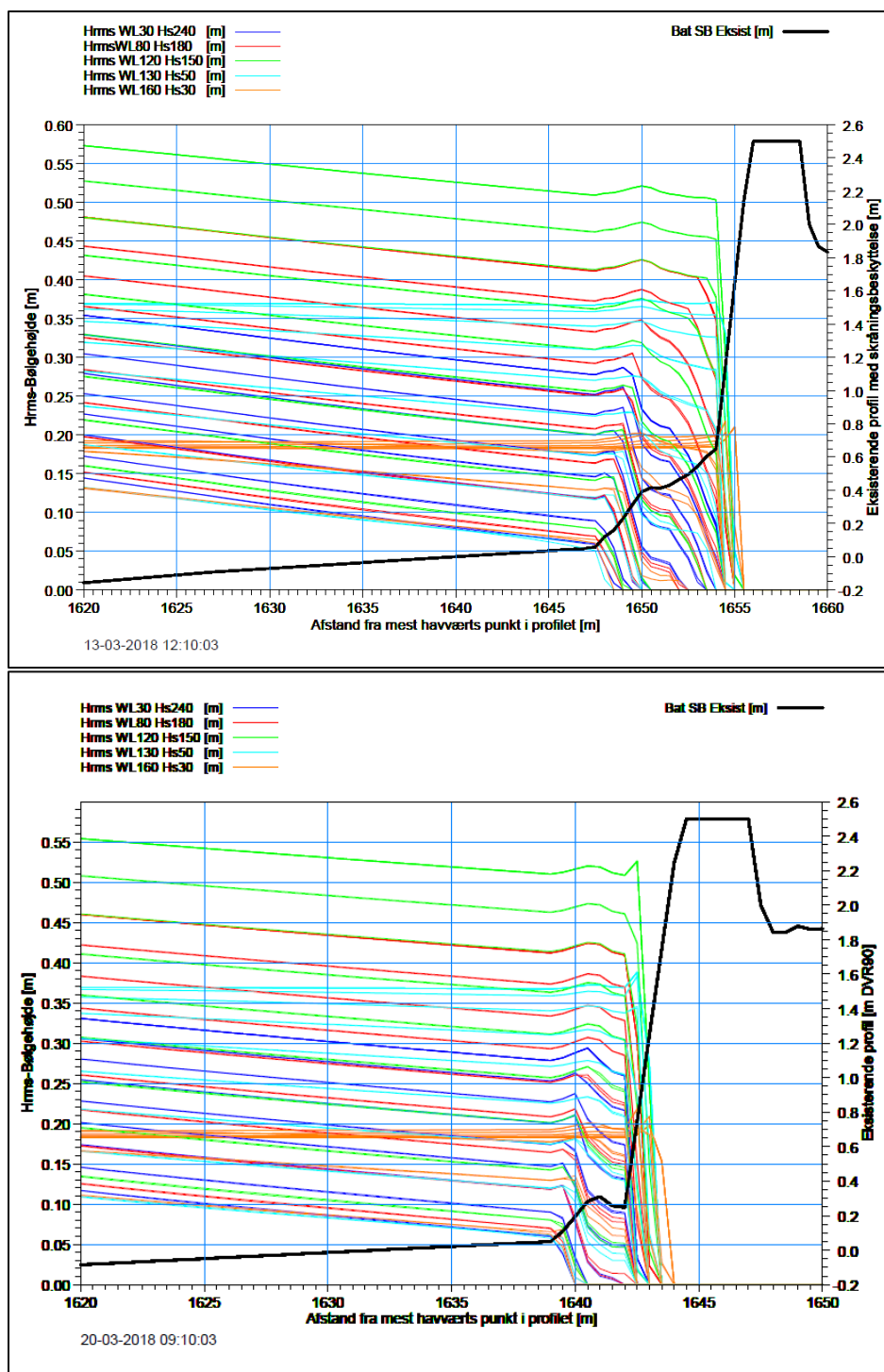
Konstruktionsfoden i de to kystprofiler ligger i kote +0,64 og +0,25 m DVR90 for hhv. det nordlige og det sydlige profil. Dette svarer til en afstand af ca. 1.654 og 1.642 m fra det mest havværts punkt i profilerne.

Figur 4.10: Variation af bølgehøjden præsenteret som Hrms foran det projekterede dige for de fem analyserede kombinationer af vandstand, WL og bølgehøjde, Hs svarende til 100-års hændelser. Figuren viser den inderste del af kystprofilen.

Øverst: det nordlige profil. Konstruktionsfoden ligger i afstand af ca. 1.654 m fra det mest havværts punkt i profilet

Nederst: Det sydlige profil. Konstruktionsfoden ligger i afstand af ca. 1.642 m fra det mest havværts punkt i profilet.

(Figuren er udarbejdet efter den endelige kronekote er fastsat)



Af Figur 4.10 ses, at det er de tre scenarier med størst vandstand på hhv. +1,2 ; +1,3 ; +1,6 m DVR90, der giver de største bølger på skråningsbeskyttelsen. Også kombinationen med en vandstand på +0,8 m DVR90 og en signifikant bølgehøjde på 1,8 m giver en betydelig bølgehøjde på konstruktionen på hhv. 45 og 55 cm for hhv. det nordlige og sydlige profil.

Generelt er bølgerne større ved konstruktionen i det sydlige profil som følge af den lavere og smallere foranliggende strand her.

Ved begge profiler er det scenariet med en vandstand på +1,3 m DVR90 og en H_s -bølgehøjde på 0,5 m, der giver den største bølge ved foden af skråningsbeskyttelsen. De signifikante bølgehøjder er hhv. 62 og 66 cm for det nordlige og det sydlige profil.

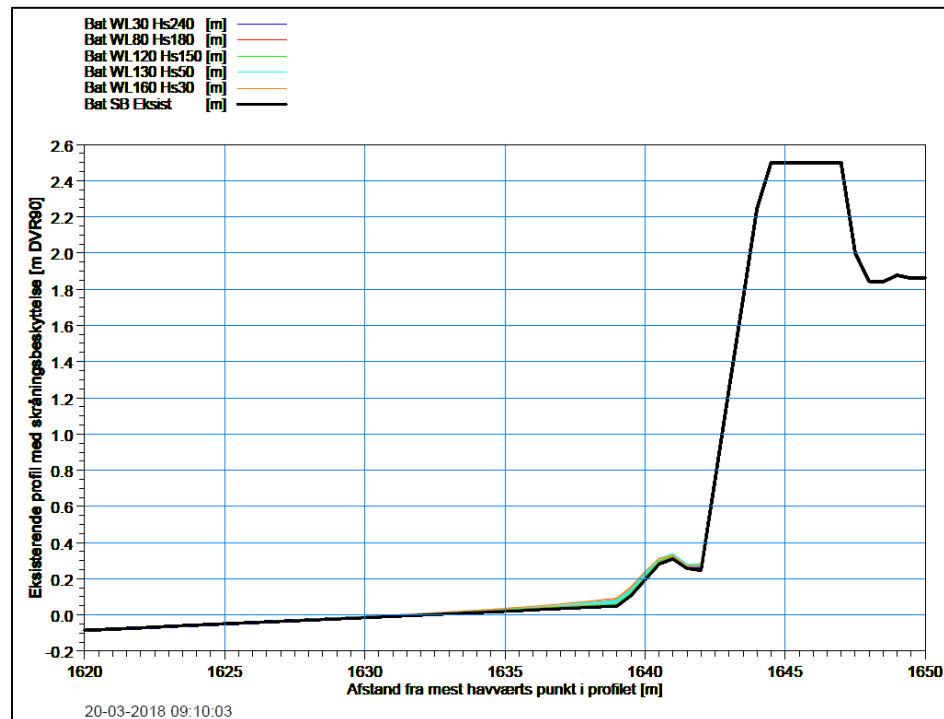
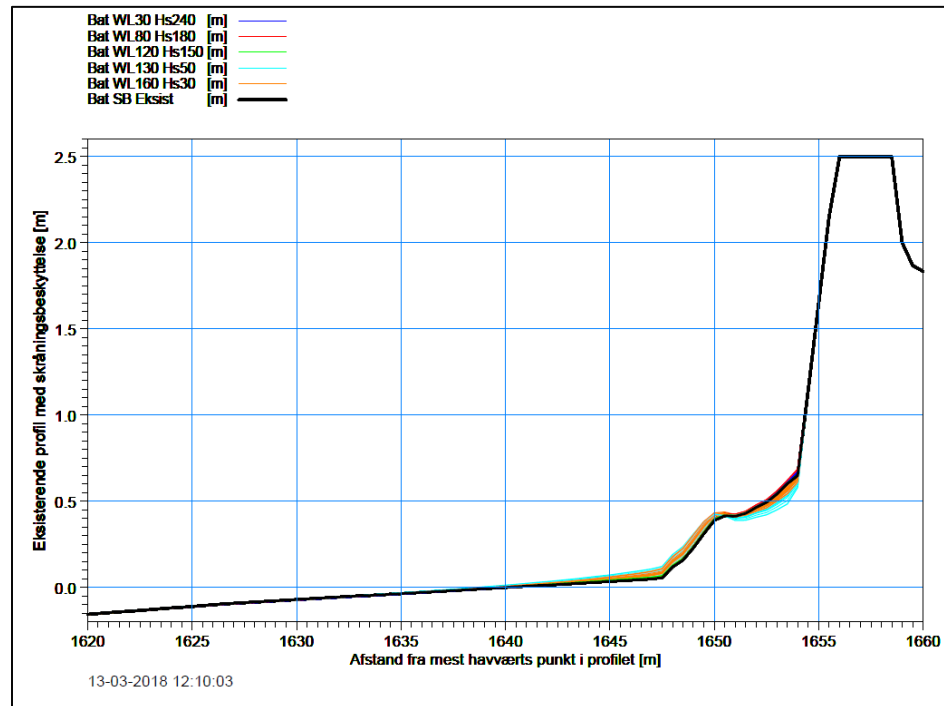
Sidstnævnte kombination skaber den største vertikale erosion i det foranliggende terræn. Denne erosion er dog kun omtrent på 10 cm i det nordlige profil og maksimalt 5 cm i det sydlige profil.

Figur 4.11: Akut erosion ud for den projekterede skråningsbeskyttelse for de fire analyserede kombinationer af vandstand, WL og bølgehøjde, H_s svarende til 100-års hændelser. Figuren viser den inderste del af kystprofilen.

Øverst: det nordlige profil. Konstruktionsfoden ligger i afstand af ca. 1.654 m fra det mest havværts punkt i profilet

Nederst: Det sydlige profil. Konstruktionsfoden ligger i afstand af ca. 1.642 m fra det mest havværts punkt i profilet

(Figuren er udarbejdet efter den endelige kronekote er fastsat).



4.3.3.1 Kombination af strandfodring og skråningsbeskyttelse

Strandens nuværende højde mellem Strandvej 24-31 nødvendiggør, at undersiden af skråningsbeskyttelsens fod graves ned til under +0,0 m DVR90. Skråningsbeskyttelsen har derfor et stort fodaftryk på stranden.

Ved at hæve stranden foran skråningsbeskyttelsen med strandfodring, kan fodkoten for skråningsbeskyttelsen ligeledes hæves en smule. Størrelsen og fodaftrykket af konstruktionen reduceres derved.

I det følgende beregnes de resulterende dimensioner af skråningsbeskyttelsen, såfremt stranden fodres op til kote +1,3 m DVR90, som på den nordlige strækning mellem Enø Kystvej 10 til Strandvej 24. Analysen er foretaget for strandfodring udlagt med en hældning 1:15 over kote +0,0 m DVR90. Derunder er opstillet et ligevægtsprofil tilnærmet profilet optillet ud fra søkortet.

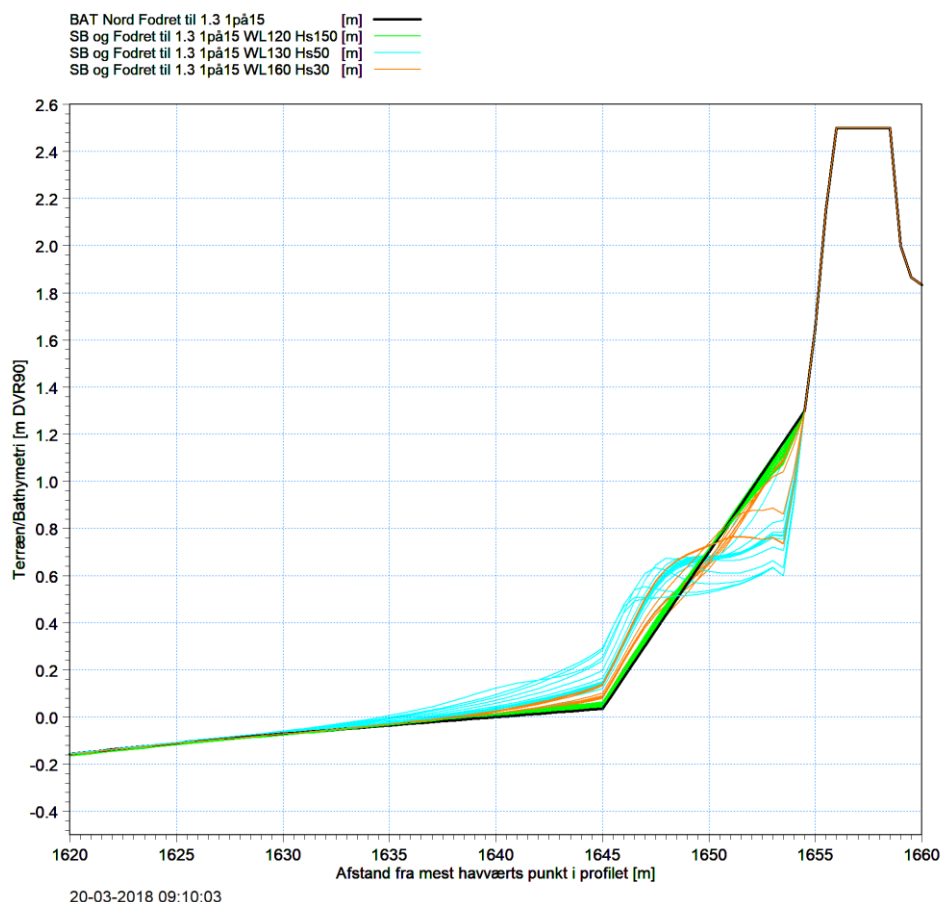
LITPROF modelleringen er foretaget for de tre scenarier med de højeste vandstande på de to lokaliteter. Modelleringen er anvendt til at vurdere, hvilken minimumskote undersiden af skråningsbeskyttelsen kan ligge i uden at blive undermineret ved akut erosion.

Af Figur 4.12 ses det, at der i det nordlige profil ved overgangen mellem sand og skråningsbeskyttelse kan forekomme vertikal erosion på mellem 60-70 cm og længere ude på ca. 40 cm ned til kote +0,5 m DVR90.

Figur 4.12: Akut erosion ud for den projekterede skråningsbeskyttelse ved det nordlige profil for tre analyserede kombinationer af vandstand, WL og bølgehøjde, Hs svarende til 100-års hændelser. Profilet er fodret op til kote +1,3 m DVR90 med en hældning på 1:15.

Figuren viser den inderste del af kystprofilet.

(Figuren er udarbejdet efter den endelige kronekote er fastsat).

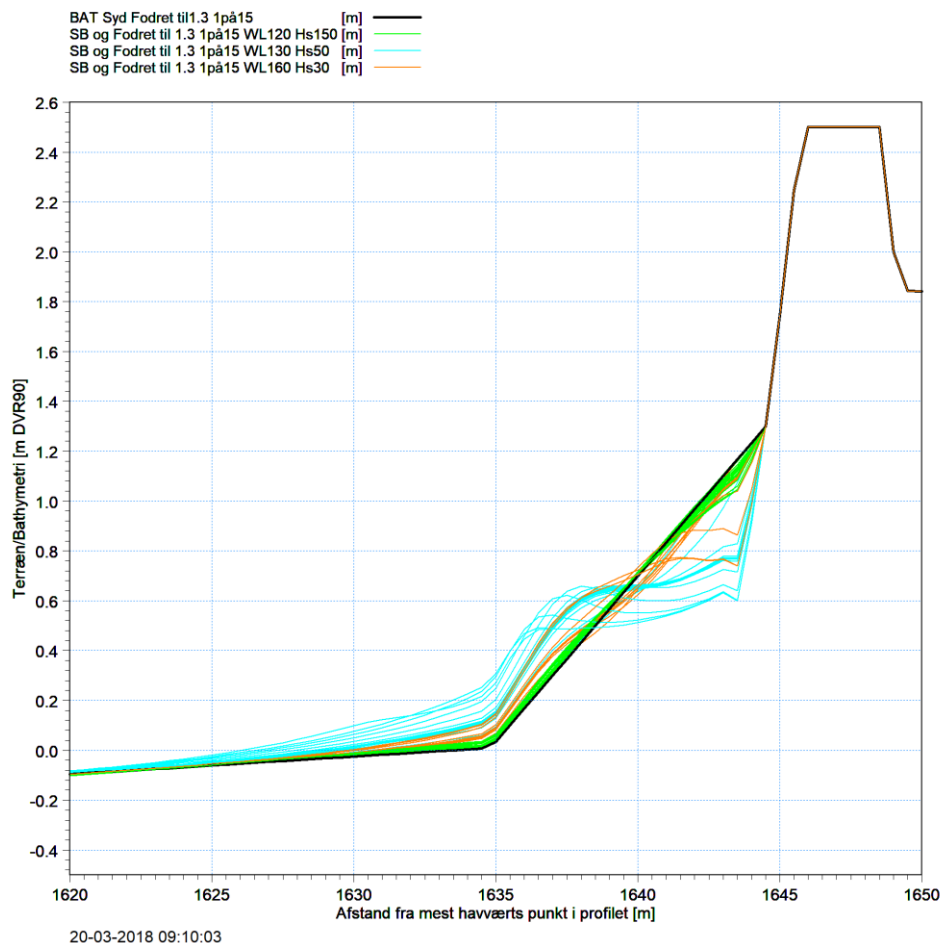


Det samme gør sig gældende i det sydlige profil, hvilket ses af Figur 4.13.

Figur 4.13: Akut erosion ud for den projekterede skråningsbeskyttelse ved det sydlige profil for tre analyserede kombinationer af vandstand, WL og bølgehøjde, Hs svarende til 100-års hændelser. Profilet er fodret op til kote +1,3 m DVR90 med en hældning på 1:15.

Figuren viser den inderste del af kystprofilet.

(Figuren er udarbejdet efter den endelige kronekote er fastsat).



Strækningen mellem Strandvej 24-31 ligger på et fremskudt punkt, hvor kystens orientering drejer, hvilket gør strækningen særligt udsat for erosion af det udlagte fodringsmateriale. For at sikre, at konstruktionen ikke undermineres, placeres skråningsbeskyttelsens underside i kote +0,0 m DVR90.

Forhøjelsen af stranden til kote +1,3 m DVR90 har en lille reducerende effekt på den bølgehøjde, der når skråningsbeskyttelsen. Forskellen er dog så lille, at kronekoten af skråningsbeskyttelsen beregnes for tilfældet uden forhøjelsen af stranden.

5 Resulterende kronekoter

Kronekoten bestemmes for de enkelte strækninger som summen af den dimensionsgivende vandstand (V) inkl. klimatillæg (K), hvortil tilføres bølgebidraget (B), se Afsnit 1. Bølgebidraget bestemmes pr. delstrækning og per dimensionsgivende scenarie (forskel fra fjord- og havside).

Digernes kronekoter er beregnet for græsbeklædte diger med en forsidehældning på 1:3 med angivne digefodskoter og et gennemsnitligt tilladeligt overskyl og maksimalt tilladeligt overskyl per bølge på under hhv. 2 L/s/m og 1.000 L/m.

De angivne kronekoter svarer til den kote som kronen som minimum skal have i år 2070. Den nødvendige kronekote ved anlægstidspunktet i år 2020 bør være 5 cm

lavere, således at landhævnningen gennem konstruktionens levetid hæver kronen til den anbefalede kote i år 2070.

5.1 Fjordsiden

Resulterende anbefalede minimums kronekoter for bølgeeksponerede delstrækninger af fjordsiden er opsummeret i Tabel 5.1. Tabellen viser, at minimums kronekoterne langs fjordsiden varierer mellem +2,3 og +2,5 m DVR90.

Tabel 5.1: Resulterende kronekoter ved dimensionsgivende tidspunkt i år 2070 samt det nødvendige bølgetillæg. De foranliggende terrænkoter er også angivet. Bemærk anderledes forsideshældninger for Fjordhusene og Reedtzholmvej Nord.

Lokalitet, foranliggende terrænkote [m DVR90]	Foranliggende terrænkote [m DVR90]	Bølgetillæg [m]	Dim.givende kronekote i år 2070 [m DVR90]
Lystbådehavn	+1,5	0,3	+2,3
Stejleplads	+2,0	0,3	+2,3
Feriecenter	+1,7	0,5	+2,5
Fjordhusene (anlæg 1:4)	+1,2	0,5	+2,5
Kystvej 119-123 (anlæg 1:3)	+0,5	0,5	+2,5
Kystvej 119-123 (anlæg 1:4)	0,5	0,3	+2,3
Reedtzholmvej (anlæg 1:4)	+1,0	0,5	+2,5

Ved Reedtzholmvej, hvor det foranliggende terræn er lavt (+1,0 m DVR90), og der forventes stor bølgepåvirkning, er det nødvendigt med en lidt fladere digeforside med anlæg 1:4 for at holde kronekoten på maksimalt +2,5 m DVR90.

Ved Fjordhusene er linjeføringen trukket længere frem og ligger også med en lavere terrænkote end på den resterende del af denne strækning, hvorfor anlægget bør være minimum 1:4 for at holde kronekoten på maksimalt +2,5 m DVR90.

5.2 Havsiden

I tilfælde af ekstrem vandstand uden bølgepåvirkning anbefales en kronekote på minimum +2,1 m DVR90 (dimensionsgivende vandstand på +2,0 m DVR90, Afsnit 3.3).

De anbefalede minimums kronekoter for de fem kombinationer af vandstand og bølgehøjde for en 100-års hændelse på et ikke-eroderbart dige er vist i Tabel 5.2. Heraf ses det, at den nødvendige kronekote ved en kombination med let forhøjet vandstand og samtidig bølgepåvirkning kræver en højere kronekote end de +2,1 m DVR90.

Der er ikke angivet værdier for kombinationen med en vandstand på +0,3 m DVR90 og en bølgehøjde på 2,4 m, da vandstand og bølger ikke når op til digefoden.

Tabel 5.2: Resulterende vandstande, bølgetillæg og nødvendige kronekoter for havdiget ved forskellige 100 års hændelseskombinationer af vandstand og bølgehøjde ved dimensionsgivende tidspunkt i år 2070.

Vandstand [m DVR90]	Bølgehøjde på dybt vand, H _s [m]	Resulterende klitfodskote [m DVR90]	H _s -bølgehøjde ved klitfod [m]	Nødvendig min.-kronekote i år 2070 [m DVR90]
+0,72	2,4	+1,25	-	-

+1,22	1,8	+1,1	0,1	+1,39
+1,62	1,5	+1,08	0,37	+2,38
+1,72	0,5	+1,03	0,39	+2,49
+2,02	0,3	+1,15	0,27	+2,48

Det ses, at kombinationerne med en forhøjet vandstand på +1,3 m DVR90 og 0,5 m signifikant bølgehøjde samt en vandstand på +1,6 m DVR90 og 0,3 m signifikant bølgehøjde begge kræver en kronekote på ca. +2,5 m DVR90.

+2,5 m DVR90 er den højeste nødvendige kronekote og er således den kronekote havdiget projekteres med forudsat, at den foranliggende strandkote er minimum +1,3 m DVR90 før hændelsen indtræffer.

5.2.1 Strandvej 24-31

I tilfælde af ekstrem vandstand uden bølgepåvirkning er den nødvendige kronekote på minimum +2,1 m DVR90 (dimensionsgivende vandstand på +2,0 m DVR90, Afsnit 3.3).

De anbefalede minimums kronekoter for de fem kombinationer af vandstand og bølgehøjde for en 100-års hændelse på skråningsbeskyttelse er vist i Tabel 5.3 og Tabel 5.4 for hhv. det nordlige og sydlige profil. Heraf ses det, at den anbefalede minimums kronekote ved et scenarie med let forhøjet vandstand og samtidig bølgepåvirkning kræver en højere kronekote end de +2,1 m DVR90.

Tabel 5.3: Resulterende vandstande, kronekoter ved dimensionsgivende tidspunkt i år 2070 samt det nødvendige bølgetillæg ved det nordlige profil. De foranliggende terrænkoter er også angivet.

Vandstand [m DVR90]	Bølgehøjde på dybt vand [m]	Resulterende klitfodskote [m DVR90]	H _s -bølgehøjde ved klitfod [m]	Nødvendig minimums-kronekote i år 2070 [m DVR90]
+0,72	2,4	+0,64	0,07	+0,70
+1,22	1,8	+0,64	0,43	+1,74
+1,62	1,5	+0,64	0,62	+2,42
+1,72	0,5	+0,58	0,49	+2,28
+2,02	0,3	+0,61	0,28	+2,28

Tabel 5.3 og Tabel 5.4 viser, at der langs den sydlige del er behov for en kronekote på minimum +2,5 m DVR90 (+2,48 m DVR90). Ved den nordlige del er det kun nødvendigt med +2,42 m DVR90.

Tabel 5.4: Resulterende kronekoter ved dimensionsgivende tidspunkt i år 2070 samt det nødvendige bølgetillæg ved Strandvej 30. De foranliggende terrænkoter er også angivet.

Vandstand [m DVR90]	Bølgehøjde på dybt vand [m]	Resulterende klitfodskote [m DVR90]	H _s -bølgehøjde ved klitfod [m]	Nødvendig minimums-kronekote i år 2070 [m DVR90]
+0,72	2,4	+0,25	0,33	1,13
+1,22	1,8	+0,25	0,53	1,88
+1,62	1,5	+0,25	0,66	2,48
+1,72	0,5	+0,25	0,50	2,30
+2,02	0,3	+0,25	0,27	2,26

Det anbefales, at kronekoten langs Strandvej 24-31 ikke varierer, og at al skråningsbeskyttelse renoveres til en korrekt opbygning med en kronekote på +2,5 m DVR90.

6 Erosion og strandfodring på havsiden

For at beskytte havdiget mod bølger, er det nødvendigt at opretholde et tilstrækkeligt højt strandprofil foran konstruktionen.

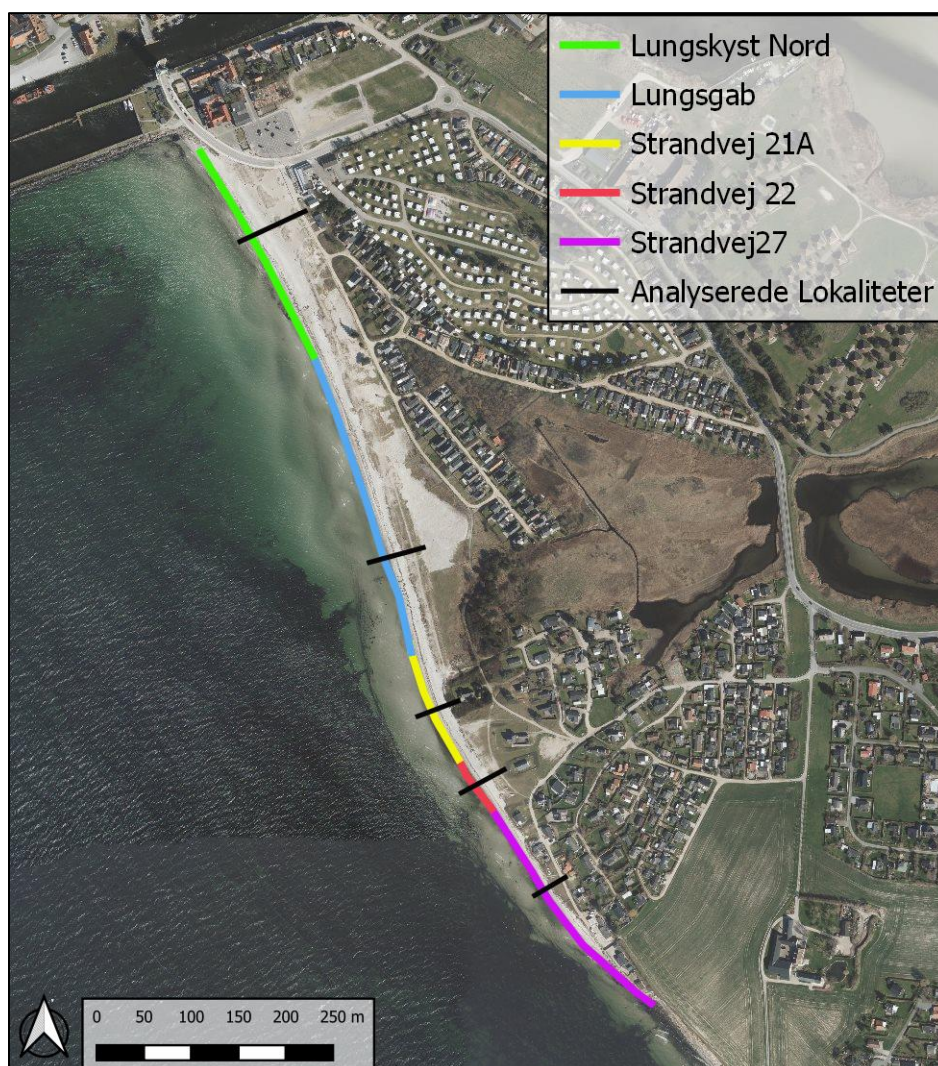
Hvis fodkoten bliver mindre øges bølgehøjden, hvilket kan beskadige digets forside og i sidste ende resultere i digebrud.

Indtil vegetationen på diget er udviklet med et solidt rodnet (3-4 år) bør bølgepåvirkning af diget undgås.

For at sikre at ovenstående forhold opretholdes, er det nødvendigt med en initial strandfodring foran diget samt løbende vedligeholdelsesfodring. Strandfodringsmængden indeholder primært tre bidrag:

- I takt med **havspejlsstigningerne** vil strandbredden blive mindre, eftersom bagstranden fastholdes ved diget. Hermed bliver bølgepåvirkningen på beskyttelsen også større, med mindre det foranliggende strandprofil løbende hæves tilsvarende havspejlsstigningen.
- Den **kroniske erosion** på nogle delstrækninger i området medfører, at stranden rykker tilbage. Dette øger også bølgepåvirkningen på diget. Der skal derfor strandfodres for at kompensere det sediment, der løbende tabes ud af området. Herved kan stranden stabiliseres.
- I forbindelse med hændelser med forhøjet vandstand og bølgepåvirkning vil der forekomme **akut erosion** af stranden foran diget. For at sikre at fodkoten ikke bliver mindre end forudsat i beregningerne, er det nødvendigt at strandfodre for at modvirke akut erosion.

Figur 6.1: Repræsentative lokaliteter anvendt til erosions- og vandlinjeanalyse.



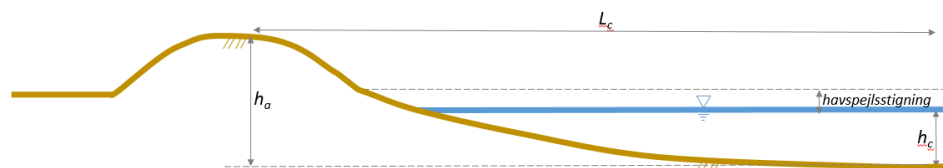
Hvert enkelt af disse bidrag beskrives grundigere og estimeres i de nedenstående afsnit. Strandfodringsmængderne til kompensation for havspejlsstigning og kronisk erosion varierer langs kysten. Disse to bidrag beregnes derfor ud fra 5 delstrækninger repræsenteret ved de 5 stationeringslinjer, Figur 6.1.

6.1 Havspejlsstigning

For at kompensere for at havspejlsstigning flytter vandlinjen længere tilbage, bør den aktive del af kystprofilen hæves tilsvarende, således at strandbredden fastholdes. Som beskrevet i Afsnit 3.1 vil der mellem år 2020-2070 ske en havspejlsstigning på 0,38 m.

Størrelsesordenen på fodringsmængden afhænger af kystens aktive højde, h_a , som definerer den del af kystprofilen, hvor der forekommer ændringer i kystprofilen over kortere tidsskalaer, Figur 6.2.

Figur 6.2: Definition på aktiv dybde (h_e), aktive højde (h_c) og aktive længde (L_c).



Området der strækker sig fra strandens bagerste afgrænsning eller klittoppen og ud til en den aktive dybde, h_c , betegnes den aktive længde, L_c . Denne bestemmes ud fra den signifikante bølgehøjde, der overskrides 12 timer pr år, H_{s12} .

Ved at køre en bølgemodel for Smålandsfarvandet ud for Enø og Lungshave i perioden 2001-2015 er H_{s12} beregnet til 1,5 m. Dette medfører en aktiv dybde på $h_c \sim 2,8$ m.

Digefodskoten, og dermed den samlede aktive højde, varierer langs kysten. Den faktiske højde af klitten kendes dog ikke hvor der i forvejen er etableret et dige. Derfor antages det for denne strækning, at klittoppen ligger i samme kote som ved Strandvej 22, hvor profilet endnu er naturligt.

Den samlede aktive højde og længde varierer langs kysten. Højderne samt længderne for det aktive profil langs projektstrækningen er angivet i Tabel 6.1 med udgangspunkt i stationeringslinjerne, se Figur 6.2. I tabellen er også angivet, hvilken længde langs kysten, de enkelte lokaliteter repræsenterer. I alt er denne længde 1.042 m.

Tabel 6.1 Aktive højder og længder for repræsentative lokaliteter anvendt i analysen af de nødvendig strandfodring mod havspejlsstigninger.

	Lungskyst Nord	Lungsgab	Strandvej 21A	Strandvej 22	Strandvej 27
Aktive højde [m]	4,8	4,8	4,9	4,7	4,7
Aktive længde [m]	558	523	525	526	518
Længde langs kysten [m]	246	331	133	63	269

Den årlige strandfodningsmængde findes som den aktive længde, (fra digefoden til den aktive dybde), ganget med den årlige havspejlsstigning. Længden af den aktive højde er baseret på søkort ved Strandvej 21A.

Tabel 6.2: Resulterende årlige strandfodningsmængder forårsaget af havspejlsstigninger fordelt på delstrækninger.

	Lungskyst Nord	Lungsgab	Strandvej 21A	Strandvej 22	Strandvej 27
Sandmængde per lokalitet [m³/år/m]	3,7	3,5	3,5	3,5	3,4
Sandmængde per delstrækning [m³/år]	910	1150	470	220	930

Langs kysten varierer den gennemsnitlige årlige strandfodningsmængde mellem 3,4 -3,7 m³/m/år i perioden 2020-2050, Tabel 6.2. Som det ses af tabellen er det nødvendigt årligt at fodre med 3.680 m³ for at kompensere for havspejlsstigningen

6.2 Kronisk erosion

Hvis langstransporten (den langsgående sedimenttransport) stiger henover en strækning, betyder det, at der fjernes mere sand fra området end der tilføres, hvilket resulterer i kronisk erosion. Omvendt vil en faldende langstransport resultere i aflejring af sand og kystfremrykning. Størrelsen på langstransporten afhænger af det generelle bølgeklima (bølgetype, størrelse, indfaldsvinkel) samt tilgængelighed af sand.

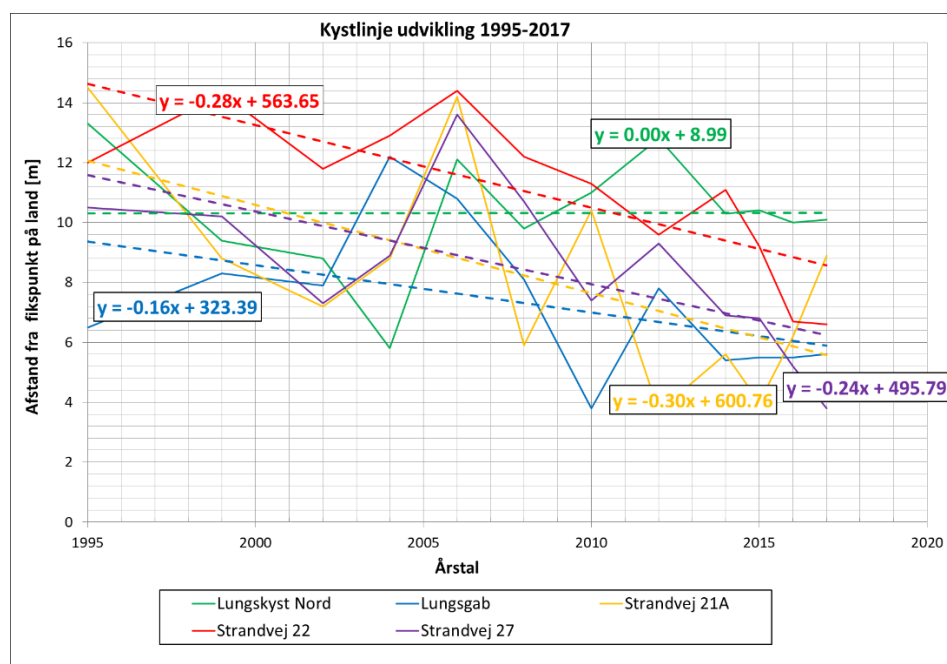
Den potentielle langstransport er et udtryk for, hvor meget sand bølgerne kan transportere, såfremt der er ubegrænsede mængder sand til rådighed. Den aktuelle transport afhænger af, om der er kystkonstruktioner i den aktive del af profilet og tilstedeværelsen af sten og ler, der kan reducere transporten.

I det følgende foretages en analyse af den historiske kystudvikling. Analysen giver den årlige mængde sediment, som eroderes og aflejres fra de enkelte delområder.

Ud fra denne analyse, er den årlige mængde sediment som eroderes og aflejres fra de enkelte delområder estimeret som den årlige ændring i vandlinjen ganget med den aktive profilhøjde.

Ændringer i vandlinjens position i forhold til et fikspunkt på land er vist i Figur 6.3 for de fem repræsentative lokaliteter langs projektstrækningen. Både den observerede position samt en lineær trendlinje er vist på figuren.

Figur 6.3: Ændring i vandlinjens position i forhold til fikspunkt på land. Stiplet linje angiver trendlinjen.



Generelt ses, at kysten eroderer tilbage, med undtagelse af den nordligste del (Nordlige havnedige), som ligger beskyttet ved havnen ved Lungskyst Nord. Ud for Lungsgab observeres den næstmindste erosionsrate på 0,16 m/år. På pynten ved Strandvej 21A er erosionen størst med en rate på 0,3 m/år. Sydøst for pynten, hvor kystlinjen har en anden orientering er erosion større end nordvest for pynten (0,24-0,28 m/år).

Tabel 6.3:
Strandfodringsmængder til
kompensation for kronisk
erosion.

	Lungskyst Nord	Lungsgab	Strandvej 21A	Strandvej 22	Strandvej 27
Sandmængde [m ³ /år/m]	0,0	0,8	1,5	1,3	1,1
Sandmængde [m ³ /år]	0	260	200	90	310

Langs kysten varierer denne gennemsnitlige mængde mellem 0–1,5 m³/m/år i perioden 2020-2050 som angivet i Tabel 6.3. Dette svarer til en årlig fodringsmængde på 300 m³ og dermed en mængde hvert 5. år på 860 m³.

6.3 Akut erosion

Under situationer med forhøjet vandstand og bølger kan erosion af bagstrand og klitter forekomme. Sandet transporteres i stormflodssituationer udad i profilet og betegnes akut erosion.

Hvis sandet under normalsituationer transporteres tilbage til kysten kan klitter med tiden genopbygges ved at vinden transporterer sandet fra stranden til klitterne. Klinter kan ikke genopbygges.

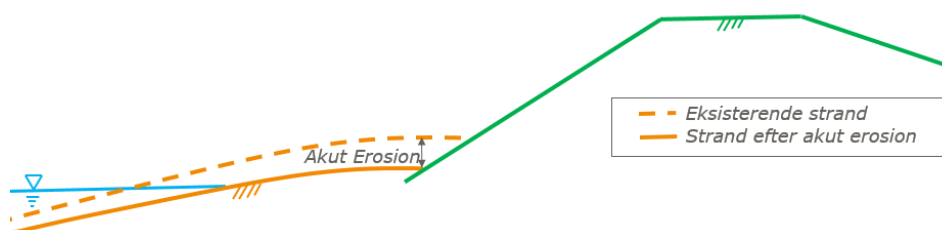
Den dimensionsgivende minimums fodkote foran diget samt dybden af digets underkant defineres ud fra, hvor stor den akutte erosion kan være, for at sikre;

- at digets underkant ikke eroderes
- at bølgerne, der rammer digets forside ikke overskrider de dimensionsgivende bølgehøjder.

Kombinationen med en vandstand på +1,3 m DVR90 og en signifikant bølgehøjde på 0,5 m giver den største vertikale akutte erosion på op til 40-50 cm i nærheden af digefoden, hvis digefodskoten før hændelsen er +1,3 m DVR90, Afsnit 4.3.2.

Underkanten af ler-membranen på forsiden skal således minimum graves 50 cm ned til kote +0,8 m DVR90. Hvis der ikke forventes decideret akut erosion fra bølgepåvirkning graves ler-membranen normalt 30 cm ned under terræn.

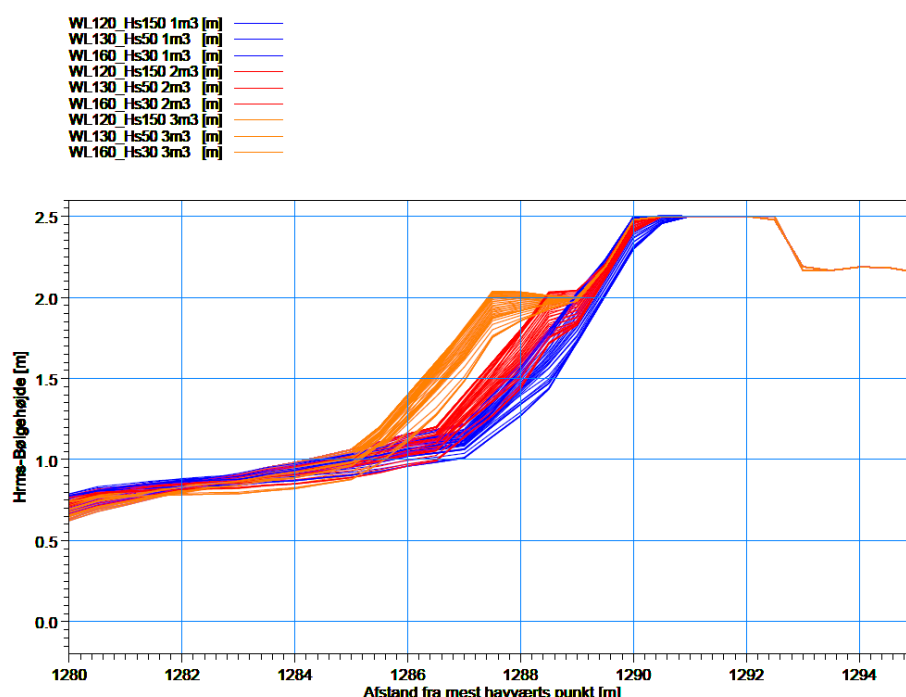
Figur 6.4: Principskitse, der
viser hvordan underkanten er
gravet ned ift. foranliggende
terræn både før og efter
hændelsen.



Initialt anbefales at udlægge en sandbuffer på forsiden af diget, for at sikre diget imod akut erosion før vegetationen har fået ordentligt rodfast. Dette anbefales, selv hvis det foranliggende terræn er over minimumsfodkoten.

Bufferen placeres opad diget til en bestemt topkote med en forsidehældning på 1:5. Bredden og mængden af denne buffer findes ved at modellere en hændelse, hvorunder det sikres, at bølgerne ikke eroderer af selve diget, Figur 6.5.

Figur 6.5: Erosion af foranliggende sandbuffer og dige før veludviklet rodnet for kombinationen med en vandstand på +1,0 m DVR90 og en signifikant bølgehøjde på 0,45 m.



På baggrund af Figur 6.5 anbefales det, at topkoten af sandbufferen ikke er mindre end +2,0 m DVR90 og består af minimum 3 m³/m. Således vil forsiden af diget ikke blive eroderet før rodnettet er tilstrækkeligt udviklet til at modstå en evt. 100-års bølgepåvirkning. En sandbuffer af denne størrelse svarer omtrent til en bredde af bufferkronen på 2 m afhængigt af det foranliggende terræn. For hele projektstrækningen vil mængden af sand til bufferen være 3.126 m³.

6.3.1 Initial forhøjelse af stranden –Strandvej 24-31

Langs skråningsbeskyttelsen mellem Strandvej 24-31 skal stranden initialt minimum forhøjes til kote +1,3 m DVR90, for at reducere skråningsbeskyttelsens størrelse og fodaftryk og samtidig undgå underminering, se Afsnit 4.3.3.1.

Dette vil kræve en udlægning af minimum 15 m³/m langs den 260 m lange strækning. Dette svarer til 3.900 m³.

6.4 Samlede strandfodringsmængder

Beregningerne i dette notat tager udgangspunkt i strandfodring hvert 5. år for at reducere mobiliseringsomkostningerne til entreprenøren. Det anbefales som minimum at vedligeholdelsesfodre som kompensation for havspejlsstigning og kronisk erosion.

De resulterende sandfodringsmængder, der er nødvendige for at kompensere for havspejlsstigning og kronisk erosion er vist i Tabel 6.4. Mængderne varierer årligt mellem 3,7 – 4,9 m³/år/m og ved strandfodring hvert 5. år mellem 18,4 – 23,9 m³/5år/m.

Tabel 6.4: Samlede sandmængder til kompensation for kronisk erosion og havspejlsstigning.

	Lungskyst Nord	Lungsgab	Strandvej 21A	Strandvej 22	Strandvej 27
Sandmængde imod kronisk erosion og havspejlsstigning [$\text{m}^3/\text{år}/\text{m}$]	3,7	4,2	4,9	4,8	4,5
Sandmængde imod kronisk erosion og havspejlsstigning for 5 år [$\text{m}^3/5\text{år}/\text{m}$]	18,4	21,1	24,7	23,9	22,7

Så længe minimumsfodkoten opretholdes foran diget, vurderes det ikke at være nødvendigt at fodre som kompensation mod akut erosion. Dog anbefales en buffer på minimum $3 \text{ m}^3/\text{år}/\text{m}$ udlagt initialt for at beskytte diget indtil vegetationen har fået et godt rodfæste.

Strandfodringen til kompensation mod kronisk erosion og havspejlsstigning er mere end $3 \text{ m}^3/5\text{år}/\text{m}$ (Tabel 6.4). Hvis denne strandfodring udføres ved anlæggelse af diget, vil det derfor ikke være nødvendig med yderligere strandfodring som initial beskyttelse.

Tabel 6.5 viser en oversigt over de samlede anbefalede strandfodringsmængder som er nødvendige for at beskytte det nye dige og stabilisere strandbredden.

Tabel 6.5: Samlede strandfodringsmængder for hele projektstrækningen, som anbefales fodret med initialt og som vedligehold.

Bidragstype	Initialt [m^3]	Hvert 5. år - Vedligehold [m^3]
Havvandspejlsstigning	18.400	18.400
Kronisk	4.300	4.300
Akut	-	-
Buffer/Initialt	3900	-
I alt	26.600	22.700

6.4.1 Vedligehold

Det anbefales at vedligeholdelsesfodre ved behov og med betydelige mængder per gang, da mobiliseringsomkostninger ved fodring med sandsuger og rørledninger er store.

Mængderne til forebyggelse af kronisk erosion og kompensation for havspejlsstigning kan beregnes med nogen sikkerhed og med mindre sikkerhed for akut erosion. Vedligeholdelsesfodring ift. kompensation for havspejlsstigninger revurderes jævnligt, alt efter om observationerne og prognoserne for de forventede havspejlsstigninger ændrer sig.

Det anbefales, at monitorere stranden jævnligt for at sikre, at der er en tilstrækkelig højde af stranden foran diget. Er denne forudsætning ikke opfyldt, bør en buffer svarende til den manglende mængde udlægges.

7 Referencer

- [1] DMI, »DMI - Hændelser/stormfloder,« 2008. [Online]. Available: http://ocean.dmi.dk/case_studies/surges/01nov06.php. [Senest hentet eller vist den 2017].
- [2] DMI, »DMI - Vejr, klima og hav,« DMI, 2014. [Online]. Available: <https://www.dmi.dk/nyheder/arkiv/nyheder-2014/10/et-aar-siden-usaedvanlige-normale-allan/>. [Senest hentet eller vist den 2017].
- [3] Rambøll, Realdania, »Udredning om tilpasning til havvandsstigninger,« 2015.
- [4] A. Colding, »Stormen over Nord- og Mellem-Europa - 12te-14de November 1872,« 1881.
- [5] Københavns Kommune; COWI, »Designgrundlag for beskyttelse mod oversvømmelse af København,« 2016.
- [6] COWI, »Klimatilpasningplan - Hydraulisk modellering,« 2011.
- [7] DMI, »Fremtidige klimaforandringer i Danmark - Danmarks klimacenter rapport nr. 6,« 2014.
- [8] Geodatastyrelsen, »Karrebæksminde havn,« November 2017. [Online]. Available: Den Danske Havnelods - .
- [9] Kystdirektoratet, Miljø og fødevareministeriet -, »Højvandsstatistikker 2017,« 2018.
- [10 Kystdirektoratet, »Klimaændringers effekt på kysten,« 2008.
]
- [11 Kystdirektoratet, »Klimaændringers effekt på kysten,« 2008.
]
- [12 EUROTOP, »Manual of wave overtopping of sea defences and related structures,« 2016.
]
- [13 CFSR, »Climate Forecast System (CFS),« NOAA, [Online]. Available: <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/climate-forecast-system-version2-cfsv2>. [Senest hentet eller vist den 01 01 2018].
]
- [14 ENGINEERS, US Army Corps Of, »Shore protection manual. Army Engineer Waterways Experiment Station,« 1984.
]
- [15 CIRIA, CUR, CETMEF, »The Rock Manual, The use of rock in hydraulic engineering (2nd edition9,« 2007.
]
- [16 Kort og Matrikelstyrelsen, »Danske Søkort 2007,« Miljøministeriet, 2007.
]

- [17 Kystdirektoratet, »Kystatlas,« [Online]. Available:
] http://kystatlas.kyst.dk/arcgis/services/ekstern/KDI_KystAtlas/MapServer/WmsServer?. [Senest hentet eller vist den 2018].
- [18 DHI, »MIKE powered by DHI,« DHI, [Online]. Available:
] <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-21/waves>. [Senest hentet eller vist den 01 03 2018].
- [19 Miljøministeriet, »AIS data,« Miljøministeriet, [Online]. Available:
] http://www.dmu.dk/1_Viden/2_Miljoe-tilstand/3_samfund/AIS/. [Senest hentet eller vist den 01 03 2018].
- [20 DMI, »Havprognoser,« DMI, 2017. [Online]. Available:
] https://www.dmi.dk/hav/udsigter/havprognoser/#indre_dk.
- [21 Kystdirektoratet, »Højvandsstatistikker 2017,« 2018.
]
- [22 Kystdirektoratet, Miljø- og fødevareministeriet -, »Højvandsstatistikker 2017
] - Bilag,« 2018.