

MAJ 2023
DET NORDFYNSKE KYSTSIKRINGS-, DIGE- OG PUMPELAG

BØLGEBRYDERE UD FOR SOLDALEN VED STRØGET

PROJEKTERINGSRAPPORT



MAJ 2023
DET NORDFYNSKE KYSTSIKRINGS-, DIGE- OG PUMPELAG

BØLGEBRYDERE UD FOR SOLDALEN VED STRØGET

PROJEKTERINGSRAPPORT

PROJEKTNR.
A099040

DOKUMENTNR.
006

VERSION
2.0

UDGIVELSESDATO
17-05-2023

BESKRIVELSE

UDARBEJDET
RXCN, HSV

KONTROLLERET
OJJ

GODKENDT
HSV

INDHOLD

1	Resumé	7
2	Indledning	8
3	Baggrund	10
4	Hydrografiske, kystmorfologiske og geotekniske forhold	11
4.1	Designhændelse og -levetid	11
4.2	Vind	11
4.3	Vandstand	11
4.4	Batymetri (vanddybder)	15
4.5	Bølger	18
5	Projekteringsforslag	20
5.1	Nedbrydning af eksisterende hølfer	20
5.2	Dæksten	21
5.3	Sprængstensfyld	22
5.4	Plan over bølgebrydere	23
5.5	Vedligeholdelsesfodring	24
6	Anlægsoverslag	28
7	Referencer	29

1 Resumé

Nærværende rapport omhandler udarbejdelsen af myndighedsprojekt for kystbeskyttelse ved Soldalen ved Strøget, og omfatter projektering af fire bølgebrydere samt vedligeholdelsessandfodring. Nærværende rapport benyttes som bilag til ansøgning om erosionsbeskyttelse på vegne af *Det Nordfynske kystsikrings-, dige- og pumpelag*.

Ifm. projektet blev der foretaget en batymetrisk (på vand) og topografisk (på land) opmåling af den nordlige del af projektstrækningen, hvor bølgebryderne påtænkes placeret. De nye bølgebrydere er tiltænkt en levetid på 50 år og er dimensioneret for en 50 års middeltidshændelse.

Grundet ensartethed i de kystnære forhold er alle fire bølgebrydere ens, og er planlagt opført med to lag dæksten på forsiden og et lag på bagsiden. Den totale anlægssum er estimeret til ca. 5.500.000 kr. DKK eks. Moms.

De fire bølgebrydere placeres i forlængelse af hinanden og kystparallelt. Det bemærkes, at det ikke er vurderet hensigtsmæssigt at afbøje/rottere den sydøstligste bølgebryder mod land for en evt. reduktion af læsideerosion, da et sådan tiltage dels ikke vurderes at modvirke erosionen væsentlig og dels vil besværliggøre en ensartet kyststrækning særligt ifm. evt. anlæg af yderligere bølgebrydere på sigt. Det noteres desuden, at der planlægges vedligeholdelsessandfodring på denne strækning for at opretholde stranden.

Det anbefales at nedbryde eksisterende høfder (nr. 109-113) på projektstrækningen, der ud fra gamle tilsynsnotater er vurderet let/middelsvært beskadiget. Hvis muligt, genbruges de eksisterende dæksten.

Der er med udgangspunkt i fire repræsentative strandprofiler langs den 500 m lange projektstrækning, estimeret en mængde på minimum 11.400 m³ til vedligeholdelsessandfodring.

2 Indledning

COWI er i forlængelse af revurderingen af kystbeskyttelsesstrategien for Nordfyn udført i 2017, [Ref. 1], af *Det Nordfynske kystsikrings-, dige- og pumpelag* blevet bedt om at assistere med projektering af samt udarbejdelse af ansøgning til kystbeskyttelse i form af fire bølgebrydere langs en ca. 500 m kyststrækning nord for Liljeparken ud for Soldalen ved Strøget. Projekteringen omfatter desuden vedligeholdelsessandfodring ved de planlagte bølgebrydere samt ca. 200 m sydøst herfor. Dette skal ses som supplement til de fire bølgebrydere. Der er i dag fire gamle høfder, som har haft til formål at holde på sandet ved kyststrækningen. Oversigtskort over projektstrækningen er vist nedenfor, se Figur 2-1.

Som led i projekteringen af bølgebryderne samt anlægsoverslag udarbejdes en vurdering af mængde og profil for sandfodringen samt placering på den nævnte strækning. Denne er en del af den allerede aktive mangeårige vedligeholdelsessandfodring.

Det allerede udarbejdede materiale i forbindelse med strategien fra 1998, [Ref. 2], den revurderede strategi fra 2017, [Ref. 1], samt øvrige opgaver på kyststrækningen bruges som vidt muligt som dimensioneringsgrundlag for de nye bølgebrydere og deres udformning, kronekote og stenstørrelse.

Nærværende rapport præsenterer forudsætningerne for disse skitseforslag samt typiske tværsnit mv.



Figur 2-1 *Overblik over projektstrækningen (angivet med rød markering) ud for Soldalen ved Strøget.*

3 Baggrund

COWI udførte i september 2022 en forhåndsvurdering af erosionsbeskyttelse ved etablering af bølgebrydere ved stranden fra Ferievej og ned til Solskinsvej ud for Jørgensø, [Ref. 3]. Heraf fremgår det, at der langs en ca. 300 m kyststrækning i projektområdet blev sandfodret i 2016. I år 2021 er en stor del af sandet væk og kystlinjen er trukket ca. 15 m tilbage i forhold til år 2018. Grundet en forestående sandfodring er det et ønske at beskytte og minimere erosionen af stranden efter sandfodringen.

Det fremgår af [Ref. 3] at nærliggende nyopførte bølgebrydere har haft den ønskede effekt, hvorfor *Det Nordfynske kystsikrings-, dige- og pumpelag* selv har foreslået at etablere bølgebrydere ud for kysten; som det tidligere er gjort med fire bølgebrydere i området langs den Nordfynske kyst udfor Nordstrandsvej i Tørresø. I forlængelse heraf bemærkes det, at en etablering af bølgebrydere vil forøge læside-erosionen sydøst for den aktuelle kyststrækning hvor der er anlagt høfder. Samtidig vil mængden af sand, som før blev eroderet ved den aktuelle kyststrækning, blive mindre og dermed vil mængden af sand som bliver transporteret til kystlinjen mod sydøst også mindskes. Det kan således ikke udelukkes, at anlæg af bølgebryderne på sigt vil medføre, at det senere bliver nødvendigt at fortsætte rækken af bølgebrydere ned mod Hasmark 1-1,5 km mod sydøst.

4 Hydrografiske, kystmorfologiske og geotekniske forhold

I det følgende er de for nærværende forslag relevante hydrografiske, kystmorfologiske og geotekniske forhold ved Nordfyn kort beskrevet. Basis for disse er [Ref. 1] og [Ref. 4].

4.1 Designhændelse og -levetid

For at kunne angive dimensionsgivende hydrografiske parametre skal kystbeskyttelsens levetid og stormsituation der skal kunne modstås (middeltidshændelse/returperiode) fastlægges.

For et anlæg af denne type anvendes en levetid på 50 år (dvs. frem til år 2075). Det anbefales, at der dimensioneres for en 50 års middeltidshændelse, der med en sandsynlighed på 64 % sker mindst én gang i løbet af 50 år.

4.2 Vind

Vindforholdene ved den Nordfynske kyst bruges alene som input til fastlæggelse af de dimensionsgivende bølgeforhold, der allerede er bestemt i [Ref. 4] og refereres derfor ikke yderligere i nærværende rapport.

4.3 Vandstand

4.3.1 Normal vandstand

Det astronomiske tidevand ved Nordfyn er meget begrænset, og vandstanden her er således primært bestemt af meteorologiske forhold, så som vind- og lufttryksforhold.

4.3.2 Ekstrem vandstand

Kystdirektoratet har i 2012 analyseret de maksimale vandstande i en række danske havne på baggrund af historiske vandstandsmålinger. I Bogense Havn og Odense Fjord, Gabet (der er de DMI vandstandsstationer, der ligger nærmest den relevante strækning af Nordfyn henholdsvis vest og øst herfor) er de ekstreme vandstande i [Ref. 5] bestemt til værdierne vist i Figur 4-1 og Figur 4-2.

Ifølge den Danske Havnelods er forskellen mellem middelhøjvande og middellavvande 0,5 m ved Bogense Havn. Ved roligt vejr skifter højvande og lavvande regelmæssigt. Storm fra NNE kan give indtil 1,6 m højvande og storm fra SSW indtil 1,6 m lavvande, [Ref. 6].

44

St. nr.

Bogense Havn

44

St. nr.

Datagrundlag

Stationsnr. (DMI 28003/28004; KDI 20101/20102).

Dataperiode 12 år.

Måledata 30.11.2000 - 31.12.2012.

Digitale data leveret af KDI.

Bemærkninger

Ny statistik. Grundet dataseriens længde vurderes statistikken som mindre god.

Statistiske middeltidsvandstande

	VS (cm)	Spredning (cm)
100 år	174	20
50 år	165	17
20 år	153	13

Ved at rangordne de målte ekstremer kan 1 års vandstanden bestemmes til: $VS_1 = 107$ cm.

Statistisk analyse

Som ankomstfordeling er benyttet en Poissonproces med intensitet (hændelser per år) λ , og som højdefordeling er benyttet en trunkeret Weibull fordeling med afskæringsniveau γ (cm) og parametrene α og β .

$\lambda = 1,667$
 $\gamma = 93$
 $\alpha = 1,248$
 $\beta = 114,863$

Korrektion af vandstandsdata

Ekstremvandstandene er gjort "trendfri" med basis i 1990, så vandstanden angives i forhold til det pågældende års middelvandstand.

I perioden 1891-1990 har stigningen i middel havspejlsniveau været på 8 cm. Dette er forskellen mellem DNN og DVR90.

Figur 4-1 Højvandsstatistik for Bogense Havn, Kystdirektoratet, [Ref. 5].

45

St. nr.

Odense Fjord, Gabet

45

St. nr.

Datagrundlag

Stationsnr. (DMI 28068; NST Gabet).

Dataperiode 22,8 år.

Måledata 10.07.1978 - 20.12.2012.

Digitale og analoge data leveret af Odense Havn, NST, DMI og Fyns Amt.

Manglende data: 26.02.1991 - 04.09.2002 grundet dårlig datakvalitet. Mindre målerudfald i øvrigt.

Bemærkninger

Grundet dataseriens kvalitet vurderes statistikken som mindre god.

Statistiske middeltidsvandstande

	VS (cm)	Spredning (cm)
100 år	180	18
50 år	170	15
20 år	157	11

Ved at rangordne de målte ekstremer kan 1 års vandstanden bestemmes til: $VS_1 = 99$ cm.

Statistisk analyse

Som ankomstfordeling er benyttet en Poissonproces med intensitet (hændelser per år) λ , og som højdefordeling er benyttet en trunkeret Weibull fordeling med afskæringsniveau γ (cm) og parametrene α og β .

$\lambda = 1,009$
 $\gamma = 97$
 $\alpha = 1,3$
 $\beta = 122,681$

Korrektion af vandstandsdata

Ekstremvandstandene er gjort "trendfri" med basis i 1990, så vandstanden angives i forhold til det pågældende års middelvandstand.

I perioden 1891-1990 har stigningen i middel havspejlsniveau været på 8 cm. Dette er forskellen mellem DNN og DVR90.

Figur 4-2 Højvandsstatistik for Odense Fjord, Gabet, Kystdirektoratet, [Ref. 5].

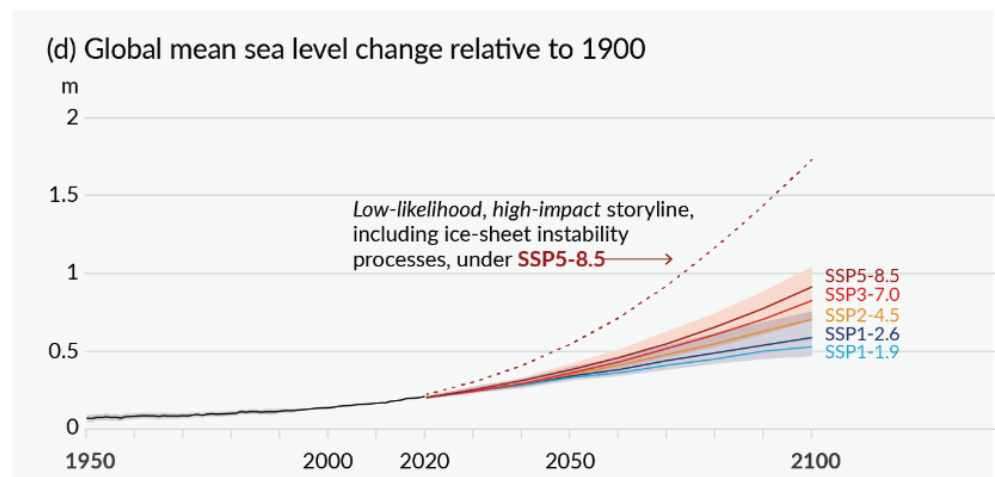
Stormen d. 1. november 2006 ved Nordfyn gav anledning til højeste registrerede højvande i Bogense Havn og Odense Fjord, Gabet. Der blev målt henholdsvis +172 cm DVR90 og +174 cm DVR90, hvilket næsten svarer til en 100-års hændelse i dag.

En 50 års hændelse ved projektområdet vurderes at ligge mellem 50 års hændelsen i Bogense Havn og i Odense Fjord, Gabet. Dvs. hvis der vælges en middelværdi mellem de to lokaliteter, fås en 50 års hændelse for nærværende projekt til +168 cm DVR90. Det bemærkes at der er analyser tilgængelig fra Kystdirektoratet fra 2017, men da en midlet 50 års middelvandstand for de to stationer vil medføre en lavere ekstrem værdi, er det valgt at anvende data fra 2012.

4.3.3 Havspejlsstigning

Ved fastlæggelse af dimensionsgivende vandstand, skal der tages højde for den forventede havspejlsstigning som følge af global opvarmning inden for projektets levetid. Stigningen i middelvandstanden medfører at designvandstanden igennem konstruktionens levetid stiger, og skal derfor medtages og tillægges stormflodsvandstanden i slutningen af design levetiden, altså år 2075 i nærværende projekt.

Figur 4-3 viser fremskrivning af den globale havspejlsstigning baseret på IPCCs rapport fra 2021, [Ref. 7]. De forskellige scenarier refererer til forskellige forudsætninger vedrørende fremtidig udledning af CO₂ og temperaturstigning. Figur 4-3 viser der er nogen usikkerhed på størrelsen af den globale havspejlsstigning i fremtiden. Havspejlet forventes at stige yderligere efter år 2100.



Figur 4-3 Global havvandspejlsstigning i meter i forhold til år 1900 ved forskellige scenarier, [Ref. 7]. Havvandspejlsstigning i år 1990 er ca. lig med det nationale referenceniveau DVR90.

Havvandspejlsstigning vil dog ikke være jævn over hele kloden pga. landhævning og lokale sætninger. Kystdirektoratets vejledning om kystbeskyttelse fra oktober 2018, [Ref. 8], indeholder DMIs bedste bud på vandstandsstigning (havspejlsstigning) de næste 100 år, men da der ikke er lavet en opdateret vurdering baseret på den seneste fremskrivning fra IPCC er der ikke henvist yderligere til denne.

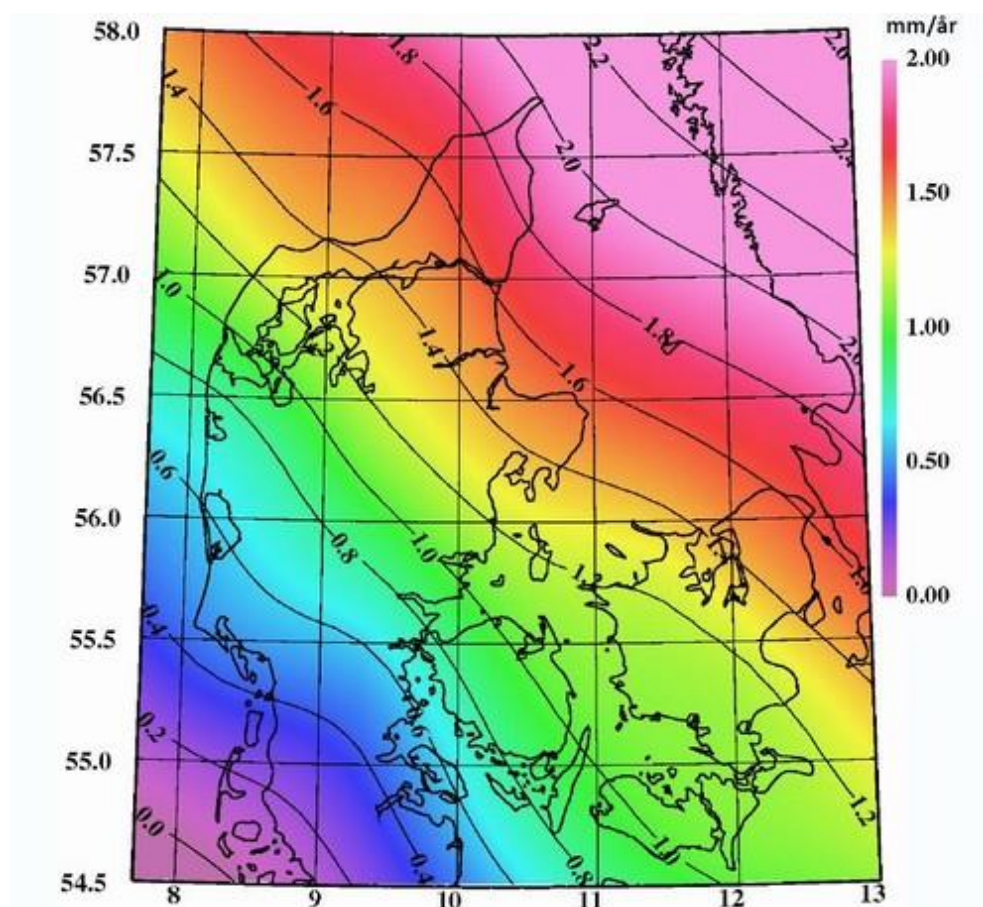
DMI har i samarbejde med Miljøstyrelsen lavet en vejledning i anvendelse af udledningsscenarier, [Ref. 9], hvori der kun arbejdes med scenarierne SSP5-8.5/SSP2-4.5 (tidligere kaldt RCP). Frem mod år 2050 anbefales det at anvende SSP2-4.5, dog kan det fortsat benyttes for tidshorisonter udover 2050 hvis kravet til robusthed er begrænset. Det er vurderet at det er tilfældet for nærværende projekt, da disse typer af kystbeskyttelsesanstalt forholdsvis let kan forstærkes i fremtiden.

Om 50 år forventes middelvandstanden at være steget med op til **+45 cm** for middelscenariet (SSP2-4.5) i forhold til middelvandstanden i 1990 (DVR90).

4.3.4 Isostatisk landhævning

Ud over den eustatiske havspejlsstigning har isostatisk landbevægelser også betydning for fremtidens vandstand ved Nordfyn. Figur 4-4 viser et kort med den seneste opgørelse af de landændringer i Danmark. Generelt sker der en relativ landhævning i Danmark, med størst rate af landhævning i de nordøstlige dele og mindst i Sønderjylland. Landhævningsraten vurderes ud fra figuren at være i størrelsesordenen 1,0 mm/år ved projektområdet.

Dette betyder, at der for perioden fra år 2025 frem til år 2075 skal medtages en total landhævning på +5 cm i år 2075 i forhold til DVR90.



Figur 4-4 Absolutte landhævninger for Danmark angivet i mm/år. Nøjagtighed 0,2 mm/år, [Ref. 10].

4.3.5 Dimensionsgivende vandstand

På baggrund af de statistiske ekstremvandstande, den generelle havspejlsstigning samt landhævning beregnes den dimensionsgivende vandstand på dybt vand for en 50 års stormhændelse, som indtræffer i slutningen af design levetiden, altså om 50 år, se Tabel 4-1.

Tabel 4-1 Dimensionsgivende vandstand på dybt vand ved Nordfyns kyst i år 2070, angivet i cm i forhold middelvandstand. 50 års hændelsen er beregnet som middel af KDIs statistik for Bogense Havn og Odense Fjord, Gabet.

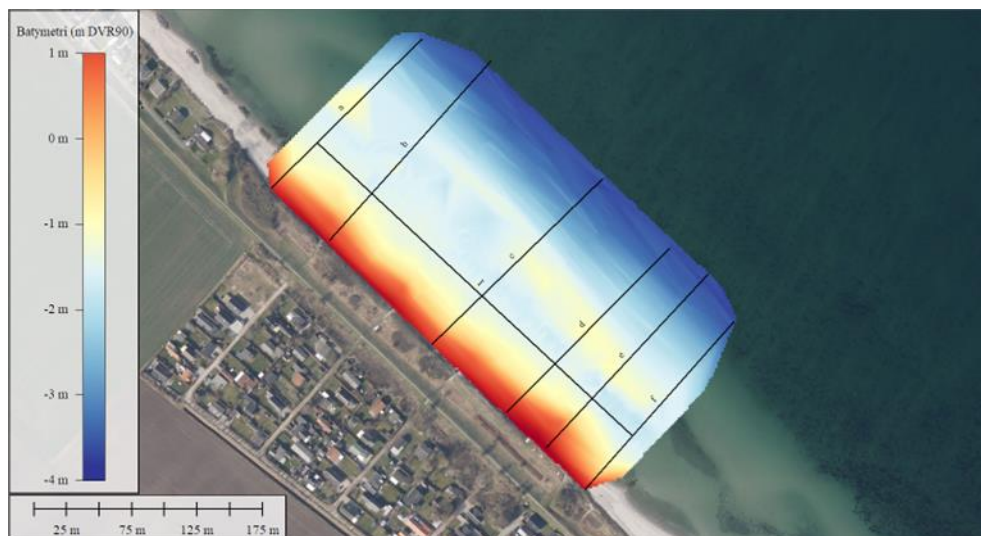
Dimensionsgivende vandstand på dybt vand	50 års vandstand om 50 år
Ekstrem vandstand (m DVR90)	+1,68
Global havspejlsstigning (m)	+0,45
Landhævning (m)	-0,05
Dimensionsgivende vandstand (m DVR90)	+2,08

På lavere vand og i tilfælde af bølgepåvirkning skal der medtages "bølgestuvning" hvilket medfører at den dimensionsgivende vandstand vil være højere på lavt vand end på dybere vand. Bølgestuvningen er den positive ændring i vandstand grundet bølgetransformation fra dybt til lavt vand. Det vurderes at et tillæg på 10 % af bølgehøjden lige foran kysten, eller ca. 0,25 m i forhold til den i Tabel 4-1 angivne vandstand, er realistisk.

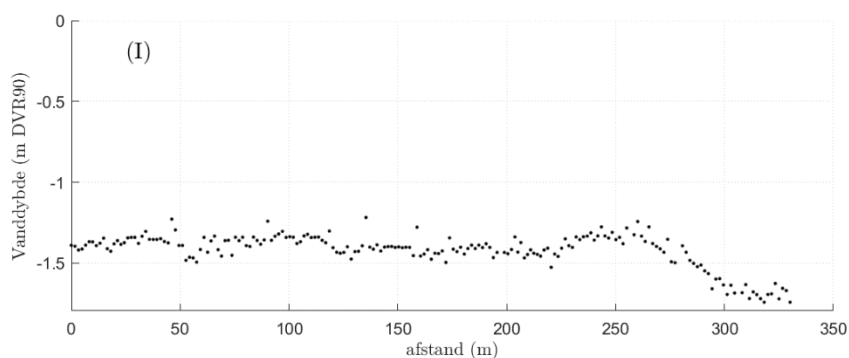
4.4 Batymetri (vanddybder)

Batymetrien der er benyttet i projektet af hensyn til bestemmelse af dimensionsgivende bølge, er hovedsageligt baseret på opmålinger (transekter) udført i marts 2023 af LE34. Filer er modtaget i kortprojektion UTM32 ETRS89 med dybder målt ift. DVR90. Batymetrien er vist i Figur 4-5 og er gjort sammenhængende vha. interpolation af data.

Havbundsvariationen langs den kystparallelle transekt ca. 35 m fra eksisterende kystlinje er afbildet i Figur 4-6. Der ses en forholdsvis konstant vanddybde med et niveau på ca. -1,5 m DVR90. I den sydlige ende af projektstrækningen er vanddybden en anelse større med en terrænkote på ca. -1,7 m DVR90.

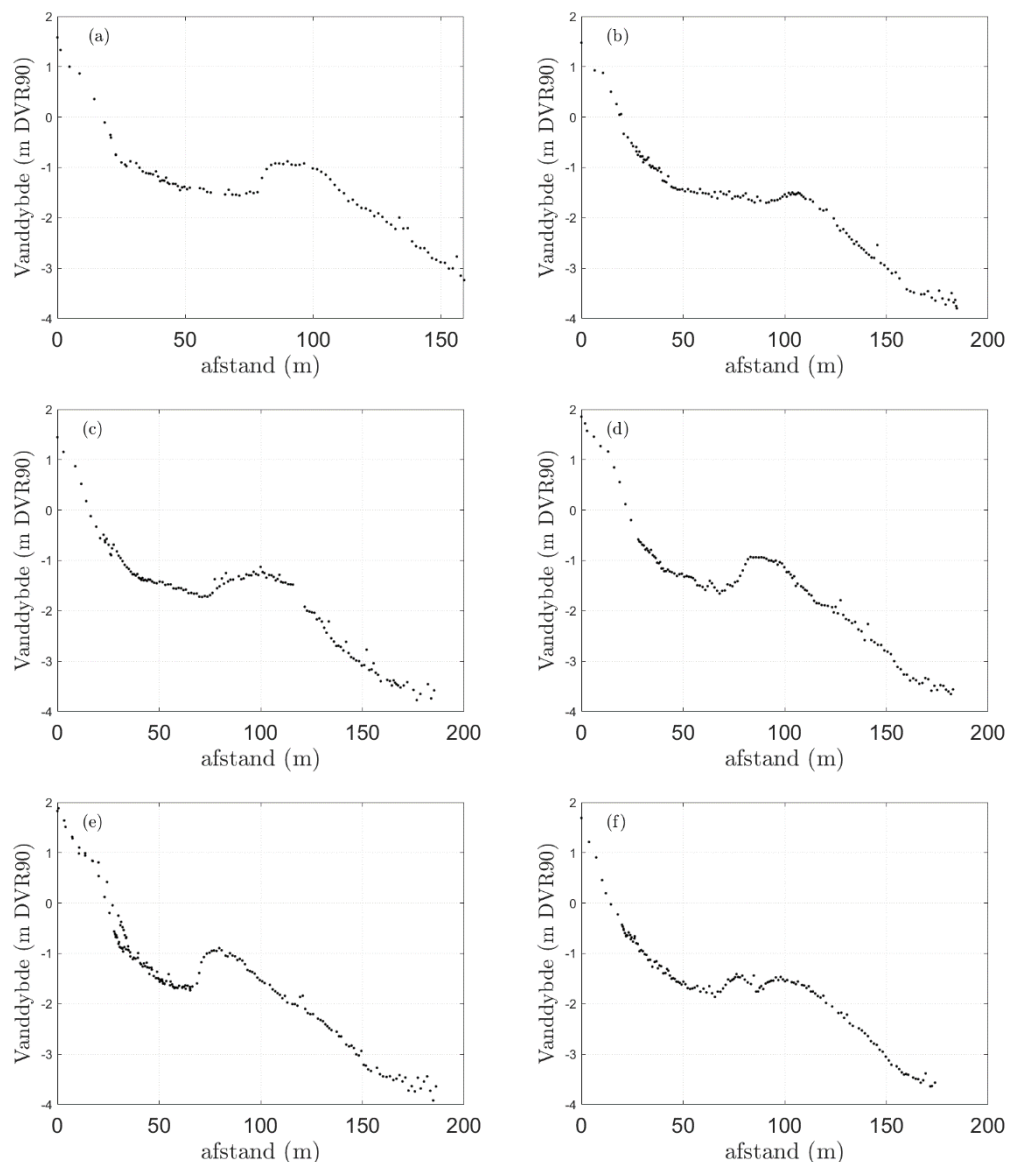


Figur 4-5 Batymetri af den nordlige del af projektstrækningen. Dybder angivet i m DVR90. Sorte linjer indikerer hvor der er udtrukket profiler som vist i Figur 4-6 og Figur 4-7.



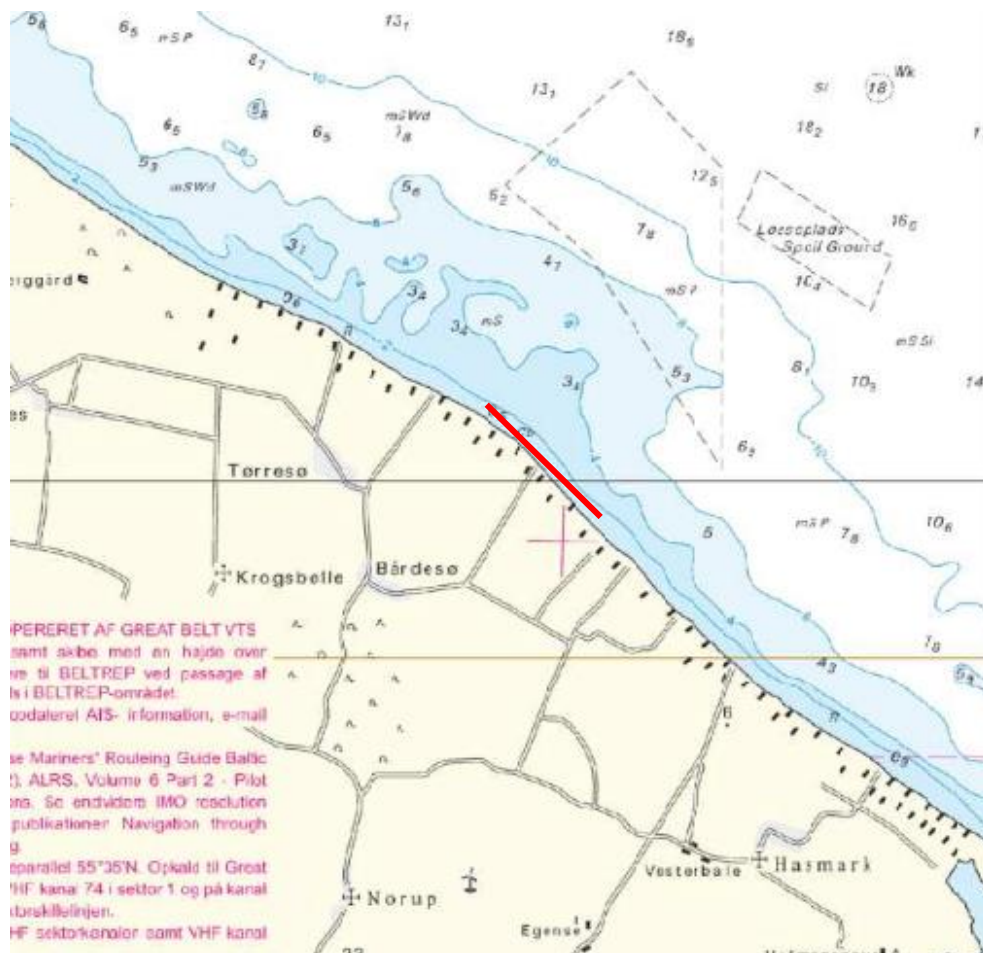
Figur 4-6 Havbundsvariation langs opmålte transekt ca. 35 m ud fra eksisterende kystlinje. Afstand på 0 m svarer til det nordligste målte punkt dvs. figuren skal læses fra venstre mod højre i sammenhæng med Figur 4-5.

Kystprofiler langs projektstrækningen er vist i Figur 4-7. Målingerne indikerer en forholdsvis ensartet kyststrækning, med en revle liggende ca. 100 m fra det mest landlige målepunkt. Her fremgår det også, at der mellem revlen og kystlinjen er en vanddybde på ca. 1,5 m med en meget lille bundhældning. På søsiden af revlen, er bundhældningen mere stejl. Middelbundhældningen målt på tværs af kystprofilerne svarer til en bundhældning på 1:80.



Figur 4-7 Opmålte kystprofiler langs projektstrækningen. Figuren skal læses fra venstre mod højre. Referencepunktet $x = 0$ er det første punkt målt på land i hver transekt.

Ydermere er bundhældningen for projektstrækningen (ca. rød markering i Figur 4-8) vurderet ud fra relevant søkort. Bundhældningen indgår i bestemmelsen af indkommende bølge fra dybt til lavt vand. Det fremgår at bundhældningen i området er meget svag, med nærmest parallelle konturlinjer mod nordøst. F.eks. er der en vandret afstand på knap 900 m ud til 6 m konturlinjen. Da dette medfører en meget svag bundhældning, er det valgt at anvende et mere stejlt profil, fundet ud fra kystprofilerne svarende til en bundhældning på 1:80. Dette er valg for at være en anelse konservativ og sikre at mindre naturlige ændringer i denne bundhældning kan håndteres i projekteringen.



Figur 4-8 Udsnit af søkort "DK114 Farvandet nord for Fyn" der viser projektstrækningen (rød markering). Kort fra © Geodatastyrelsen - 320-0003.

4.5 Bølger

Bølgeforholdene langs Nordfyns kyst er tidligere beskrevet i detaljer i [Ref. 4], og er derfor alene kort refereret i det følgende.

Den dimensionsgivende 50 års bølgehændelse på dybt vand ud for Nordfyns kyst er fra [Ref. 4] vurderet til at være: signifikant bølgehøjde $H_s = 2,9$ m og peak bølgeperiode $T_p = 5,6$ s fra nordøst.

Den dimensionerende vandstand for en 50 års hændelse om 50 år er vurderet til +2,3 mDVR90, se afsnit 4.3.5. Til bestemmelse af designforhold, benyttes forhold svarende til en 1/2-bølgelængde foran bølgebryderne. Med udgangspunkt i en 50-års vandstandshændelse ved bølgebryderen, vil bølgelængden være omtrent 30 m. Ud fra de opmålte kystprofiler, se afsnit 4.4, er havbunden vurderet til at være i ca. -2,2 m DVR90, hvilket medfører en samlet vanddybde inkl. dimensionsgivende vandstand på ca. 4,5 m for en 50 års stormflodshændelse i år 2075, se Tabel 4-2.

På lavere vand vil bølgerne blive påvirket af havbunden og således reduceret pga. øget energitab eller/og brydning. Således vil bølgehøjden være lavere foran

bølgebryderne end på dybt vand. $\frac{1}{2}$ -bølgelængde foran bølgebryderne vil bølgehøjden være ca. $H_s = 2,7$ m, men grundet læ-effekten fra revlen der forårsager forøget bølgebrydning, se Figur 4-7, vurderes det at bølgehøjden vil være omkring 50 % af vanddybden efter de har brudt, og når de passerer henover revlen, Dette resulterer i $H_s = 2,3$ m.

Den dimensionsgivende bølge foran bølgebryderne, med udgangspunkt i en bølgehøjde på 2,9 m, fremgår af Tabel 4-2. For bølgetransformation, er der taget udgangspunkt i en bundhældning på 1:80, som vurderet ud fra Figur 4-7.

Tabel 4-2 Dimensionsgivende bølger for planlagte bølgebrydere ved Nordfyns kyst.

Bølgebryder	Dybt vand	Forhold $\frac{1}{2}$ bølgelængde foran bølgebryder			
	Vandstand (m DVR90)	Vanddybde (m)	H_s (m)	T_p (s)	Kronekote (m DVR90)
Bølgebryder 1-4	+2,3	4,5	2,3	5,6	+1,5

5 Projekteringsforslag

5.1 Nedbrydning af eksisterende høfder

Eftersom de 5 ud af de 6 eksisterende høfderne vil være i vejen for anlæg af de nye bølgebrydere, anbefales det som led i projekteringen at nedbryde disse 5 eksisterende høfder. Den næstsidste kortere høfde (mellem høfde nr. 112 og 113), vil dog ikke blive nedbrudt da den er anlagt som ledeværk i forbindelse med et eksisterende udløb på dette sted, dvs. denne høfde lades være intakt ved anlæg af den sydøstligste bølgebryder. Disse er markeret på Figur 5-1, som er etableret ud til ca. 45-50 m fra det gamle dige. Ud fra luftfotos ser det ud som om, at de nuværende høfder består af en undersøisk trækonstruktion. Der-til er der udlagt sten på siderne og over vand tættest ved land, men med de yderste dele i dag værende uden sten. Der er ca. 75 m mellem de tre nordlige 25 m lange høfder.

Det fremgår af gamle tilsynsnotater fra tilstandsvurderingen i 1998, at de relevante høfder er let/middelsvært beskadiget. Det er uklart om stenenes størrelse, men det påtænkes at 0,3-1 t sten kan indbygges i de nye bølgebrydere. Såfremt betenhøfderne ikke går ud over vandlinjen, anbefales det at de bevares.



Figur 5-1 Eksisterende høfder (markeret med rød). De tre nordligste høfder (nr. 109 – 111) vurderes fra fotos til at bestå delvis af beton.

5.2 Dæksten

Ud fra den dimensionsgivende vandstand samt bølgehøjde fra Tabel 4-2, kan den stabile stenstørrelse beregnes. Bølgebrydernes dæklag dimensioneres iht. Van der Meers formel, [Ref. 11].

Dækstene dimensioneres for 0-5 % skade svarende til et skadesniveau på $S_d = 2$ for skråningshældninger på $a = 1,5-3$ iht. tabel 5.23 i [Ref. 11]. Permeabilitetsfaktoren som indgår i Van der Meers formel for bestemmelse af dæklag bestemmes på baggrund af ingeniørmæssige erfaringer og er i dette tilfælde valgt til 0,2 på baggrund af, at der dimensioneres med 2-lag dæksten på forsiden. Bølgebryderne dimensioneres med en hældning på 1:2 på forsiden og opbygges med ét enkelt lag dæksten hen over kronen og på bagsiden med en hældning på 1:1,5. Dæksten i ét lag skal pakkes tæt for at sikre stabilitet og styrke mod bølgeoverskyl.

Vandstanden på +2,30 m DVR90 og den signifikante bølgehøjde på 2,4 m medfører følgende beregnet middelvægt for dækstenene:

> 1529 kg

Med udgangspunkt i ovenstående middelvægt vælges en EU-standard 1-3 t stenklasse med en middelvægt på ca. 1,9 t, se Tabel 5-1.

De fundne dæksten omregnes til nominelle diameter (sidelængden på tilsvarende kube) vha. $M_{50} = \rho_s d_{n,50}^3$, hvor ρ_s er stenens densitet svarende til 2650 kg/m³. Omregning til sigtestørrelse sker vha. $D = D_n/0,84$. Middelstenvægten på knap 1,9 t, svarer således til en stenstørrelse, $D = 1,1$ m.

Tabel 5-1 Graderingskrav for dæksten bestemt for aktuelle vandstand og bølgehøjde

Stengradering	ELL <5% (kg)	NLL <10% (kg)	M _{50,min} <50% (kg)	M _{50,max} >50% (kg)	NUL >70% (kg)	EUL >97% (kg)
1-3 t	700	1000	1870	2310	3000	4500

Dækstene påregnes at være sunde brudsten fra stenbrud i Sverige eller Norge, og skal være uden revner.

5.3 Sprængstensfyld

Kernen opbygges af usorteret sprængstensfyld eller storral, som udlægges på geotekstil nedgravet ca. 0.5 m under eksisterende havbund til kote -2 m DVR90. Der udgraves ud til en vandret afstand på 1,5 m på bagsiden (landsiden) og 2,5 m på forsiden, målt ud fra forreste dæksten. Der lægges 5 m geotekstil på bagsiden og 10 m på forsiden. Derved kan geotekstilen udlægges på langs af mølens retning.

Laget af sprængstensfyld føres ud foran og bagved dækstene. Laget virker som erosionssikring og bundsikring, samt bidrager til at dækstene ligger stabilt. Toppen af sprængstensfylden ligger i en terrænkote på omkring +0,6 m DVR90.

For at undgå udvaskning af filtermaterialet ud igennem dækstene skal det opfylde en modificeret udgave af Terzaghis filterkriterier:

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

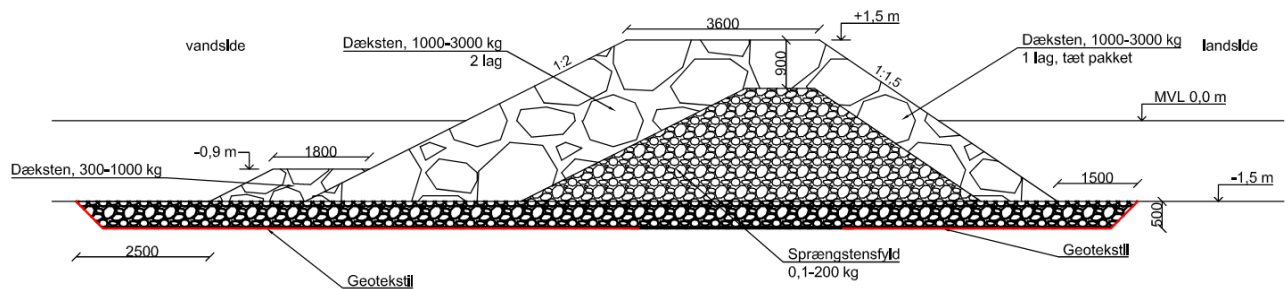
$$> \frac{D_{50,a}}{D_{50,f}} \leq 7$$

$$> \frac{D_{15,a}}{D_{15,f}} \leq 15$$

I ovenstående er D = diameter, f = kernefyld og a = dæksten. En gradering som opfylder kriterierne er: $D_{15} \geq 6$ cm, $D_{50} \geq 15$ cm, $D_{85} \geq 25$ cm. Usorteret sprængstensfyld eller storral fra grusgrav kan benyttes.

Det afgravede sand, svarende til ca. 1550 m³ udlægges bagved bølgebryderne (mod landsiden) og kan derved indgå som en del af den planlagte sandfodring.

Alle fire bølgebrydere er ens, eftersom der ikke er nogle nævneværdig forskel i projekteringsforudsætningerne. Et tværsnit er vist i Figur 5-2.



Figur 5-2 Tværsnit af bølgebryder. Alle mål angivet i mm og niveauer angivet ift. DVR90.

5.4 Plan over bølgebrydere

Bølgebryderne dimensioneres alle med en topkote i +1,5 m DVR90. Bredden af kronen er sat til 3,6 m som med udgangspunkt i 1-3 t dæksten svarer til 4 dæksten og er ligeledes ens for alle fire.

En væsentlig parameter for optimal design af bølgebrydere er den dimensionsløse længde eller bølgebryderindeks $L_b^* = L_b/x$, hvor L_b er længden af bølgebryderen i vandlinje og x er afstanden til den initiale strandlinje. Ifølge [Ref. 12] skal den dimensionsløse længde være over 1 for at opnå en tombolo effekt bagved bølgebryderen og derved stabilisere stranden bedst muligt.

I nærværende projekt er bølgebryderenes placering og længde placeret med formål at opnå en periodisk tombolo, forstået på den måde at tomboloen kan nedbrydes i stormsituationer hvorefter den opbygges naturligt i roligere vejr.

Bølgebryderne er dimensioneret med længde på 35 m i kronehøjde hvilket medfører en længde på ca. 47 m i vandlinjen og med indbyrdes afstand på 60 m. Afstanden x anvendt til beregning af den dimensionsløse længde er estimeret til 30 m og alle bølgebrydere har dermed et bølgebryderindeks større end 1.

Oversigt over de nye bølgebryderes placering på projektstrækningen fremgår af Figur 5-3. Den sydøstlige bølgebryder er, i lighed med de øvrige nye bølgebrydere på strækningen projekteret som en kystparallel bølgebryder. Et alternativ kunne være at bøje/rottere denne mod kysten mod sydøst, for at delvis imødegå den læsideerosion om vil kunne forekomme nedstrøms disse anlæg. Det vurderes dog at en sådan afbøjning/rotation kun vil have marginal eller ingen virkning på at reducere den forventede lille læsideerosion. Desuden vil en eventuel læsideerosion blive imødegået med den planlagte vedligeholdelsesfodring på stedet, se afsnit 5.5, således at stranden forventes opretholdt som i dag. Denne sandfodring vil desuden også resultere i at der vil transporteres sand længere mod sydøst på kysten og kompenserer for evt. erosion på grund af bølgebryderne. Det er derudover også vurderet, at en kystparallel bølgebryder vil bidrage

til at opretholde kystens udseende, samt være en fordel for evt. anlæggelse af flere fremtidige bølgebrydere på strækningen mod sydøst.



Figur 5-3 Plan over projekteringsforslaget af de fire bølgebrydere med indbyrdes afstand på ~60 m.

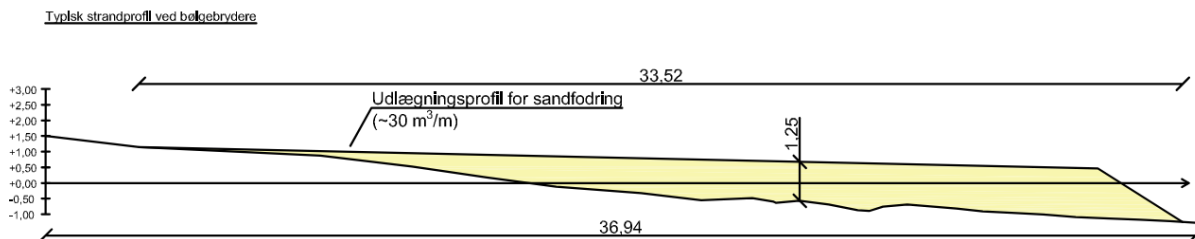
5.5 Vedligeholdelsesfodring

Til sandfodring ved bølgebryderne anvendes profilerne fra de opmålte transekter, se Figur 4-7. Øvrige strandprofiler langs den ~200 m del af projektstrækningen sydøst for bølgebryderne er baseret på topografiske data fra Danmarks terrænmodel fra SCALGO (www.scalgo.com). Det antages at profilerne kan betragtes som typiske strandprofiler for hver deres delstrækning. Oversigt over placering af profilerne langs projektstrækningen er vist i Figur 5-4. De enkelte profiler er vist i Figur 5-5 til Figur 5-8.

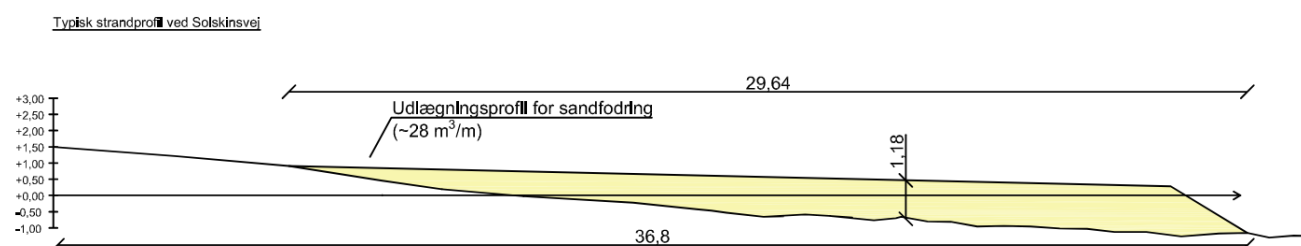
Det skal bemærkes at nedenstående strandprofiler og mængder udelukkende skal betragtes som vejledende.



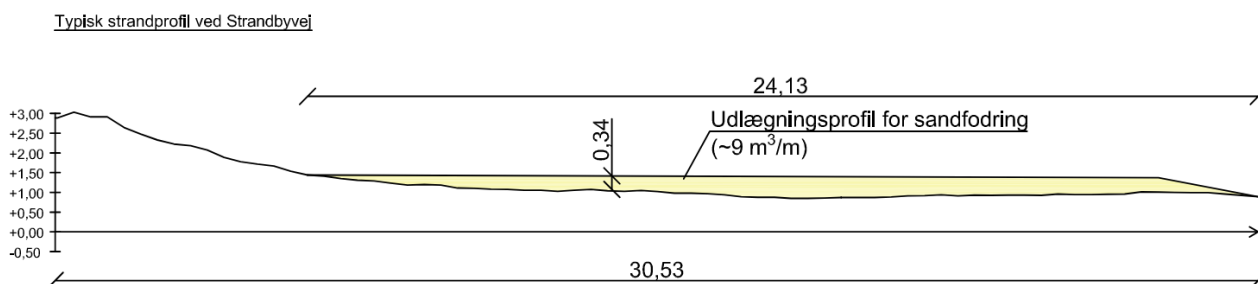
Figur 5-4 Oversigt af typiske strandprofiler (gul markering) på projektstrækningen.



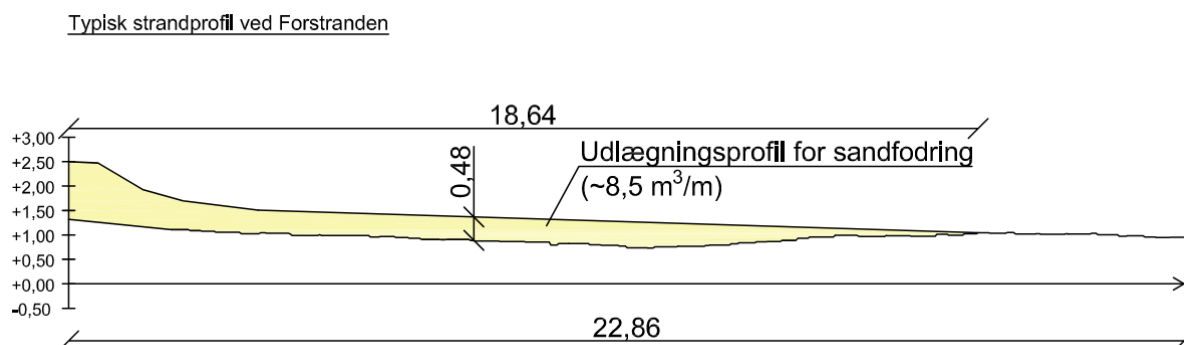
Figur 5-5 Typisk strandprofil ved bølgebrydere. Baseret på opmåling, se underfigur c i Figur 4-7.



Figur 5-6 Typisk strandprofil ved sydlige bølgebrydere. Baseret på opmåling, se underfigur f i Figur 4-7.



Figur 5-7 Typisk strandprofil ved Strandbyvej, baseret på topografisk data fra SCALGO (www.scalgo.com).



Figur 5-8 Typisk strandprofil ved Forstranden, baseret på topografisk data fra SCALGO (www.scalgo.com).

Den totale mængde krævet til sandfodring findes ud fra ovennævnte profiler samt deres respektive strækning. Mængderne fremgår af Tabel 5-2.

Tabel 5-2 Overordnede estimerede sandfodringsmængder.

Typisk strandprofil	Mængde for typisk strandprofil [m ³ /m]	Længde af typisk strandprofil [m]	Total mængde [m ³]
Bølgebrydere (Figur 5-5)	30	225	6.750
Solskinsvej (Figur 5-6)	28	115	3.220
Strandbyvej (Figur 5-7)	9	100	900
Forstranden (Figur 5-8)	8,5	60	510
Sum	-	500	11.400

6 Anlægsoverslag

Følgende enhedspriser angivet i anlægsoverslagende for dispositionsforslaget er baseret på erfaringstal og V&S Prisdata-basen. I Tabel 6-1 fremgår overslag over udgifterne til anlæggelse af projekteringsforslaget beskrevet ovenfor. Anlægsoverslaget inkluderer ud over de forventede priser på materialer også omkostninger i forbindelse med mobilisering ved projektstart, samt overslag over forventet pris for forundersøgelser og projektering mv. Det er dog vigtigt at understrege at anlægsoverslagene er usikre da enhedspriserne i øjeblikket kan variere meget og særligt er de set at stige voldsomt i perioder.

Tabel 6-1 Anlægsoverslag for projekteringsforslaget. Angivne beløb er ekskl. moms. Bemærk at der kan være stor usikkerhed på de estimerede enhedspriser.

Post	Identifikation	Mængde		Enhedspris		Pris [kr.] (ekskl. moms)
1.0	Bølgebrydere 1-4					
1.1	Dæksten (1-3 t)	2.576	m³	1.000	kr./m³	2.576.000
1.2	Dæksten (0,3-1 t) ¹⁾	200	m³	670	kr./m³	201.000
1.3	Sprængstensfyld/storral	3.206	m³	400	kr./m³	1.282.400
1.4	Geotekstil	2.626	m²	50	kr./m²	131.300
1.5	Afgravning	1.546	m³	200	kr./m³	309.200
1.6	Nedbrygning/bortskaffelse	10	m³	200	kr./m³	2.000
1.7	Mobilisering (10 %)	1	sum	430.000	kr.	450.190
Delsum (anlægsudgifter)						4.952.090
Uforudsete udgifter (10 % af anlægsudgifterne)						495.209
Sum						5.447.299

¹⁾ Forudsætter at ca. 100 m³ sten kan genbruges fra eksisterende høfder og lægges i depot inden udlægning i nye bølgebrydere. Enhedspris angivet ovenfor reflekterer brug af både nytildførte og eksisterende sten.

7 Referencer

- Ref. 1 **COWI**
Revurdering af kystbeskyttelsesstrategi fra 1997
Version 2.0, 2017.
- Ref. 2 **COWI**
Kystteknisk undersøgelse - Nordfyn, Grundlag, handlingsplaner og projektforslag
1998.
- Ref. 3 **COWI**
Bølgebrydere nord for Forstranden - Forhånds-vurdering
2022.
- Ref. 4 **COWI**
Kystteknisk undersøgelse - Nordfyn, Dimensionsgivende hydrauliske parametre
1998.
- Ref. 5 **Kystdirektoratet**
Højvandsstatistikker 2012
2012.
- Ref. 6 **Geodatastyrelse (2017)**
Den Danske Havnelods
Online: www.danskehavnelods.dk.
- Ref. 7 **IPCC**
Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change
2021.
- Ref. 8 **Kystdirektoratet**
Vejledning om kystbeskyttelsesmetoder
2018.
- Ref. 9 **DMI**
Vejledning i anvendelse af udledningsscenarier
2018.
- Ref. 10 **Knudsen, P., Abbas Khan, S., Engsager, K. S. and Sorensen, C.**
An uplift model for Denmark - and work ahead
2016.
- Ref. 11 **CIRIA**
The Rock Manual - The use of rock in hydraulic engineering CIRIA C683, 2nd edition, London
2007.
- Ref. 12 **Mangor, K., Drønen, N. K., Kærgaard, K. H. and Kristensen, S. E.**
Shoreline management guidelines
2017.