A photograph of a coastal landscape. In the foreground, white, frothy waves are crashing onto a dark, rocky shore. To the right, a paved road runs parallel to the coast, with a concrete curb and some dry grass. In the background, there are several houses, some with gabled roofs, and bare trees under a clear blue sky.

# Standard for skrånings beskyttelse og strandfodring

---

Skitseprojekt

---

**STEVNS KOMMUNE**

---

**21. DECEMBER 2020**

# Indhold

<b>1</b>	<b>Indledning</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Strækningen i dag</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Design af skråningsbeskyttelse</b>	<b>6</b>
3.1	Skråningsbeskyttelse	6
3.1.1	Opbygning af skråningsbeskyttelsen	8
3.1.2	Krav til materialer	9
3.1.3	Afgravning	10
3.1.4	De nye anlægs betydning for nabostrækningerne	10
3.2	Strandfodring	10
3.2.1	Krav til strandfodring	11
<b>4</b>	<b>Anlægsoverslag</b>	<b>12</b>
4.1	Anlægsoverslag for skråningsbeskyttelse	12
4.2	Anlægsoverslag for strandfodring	13
<b>5</b>	<b>Skitseprojektering</b>	<b>14</b>
5.1	Sikringsniveau	15
5.2	Dimensionering	16
5.3	Samtidighedsanalyse af ekstrem vandstand og bølger	17
5.4	LITPROF modellering af kystprofilet	21
5.5	Designbølge og vandstand på lavt vand	23
5.6	Kronekote	25
5.7	Stenstørrelse	26
5.8	Funderingsniveau	27
5.9	Strandfodring	27
5.9.1	Vedligeholdelsesfodring	28
5.9.2	Strandfodring mod kronisk erosion	28
5.9.3	Strandfodring mod havspejlsstigning	28
5.9.4	Strandfodring mod randeffekter	28
<b>6</b>	<b>Referencer</b>	<b>30</b>
	<b>Appendix: Skråningsbeskyttelse i snit</b>	<b>31</b>



Projekt nr.: 10402755  
 Dokument nr.: 1230835023  
 Version 2  
 Revision

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

## 1 Indledning

Stevns Kommune har bedt NIRAS udarbejde en standard for skråningsbeskyttelse, for hele kyststrækningen Strøby Egede – Strøby Ladeplads. Standarden er beregnet i kombination med strandfodring. Der er beregnet og prissat to kystbeskyttelsestyper, henholdsvis hård og blød kystbeskyttelse, der enten hver for sig og helst i kombination kan løfte sikringsniveauet på kyststrækningen langs Strøby Egede og Strøby Ladeplads.

Som eksempel er der taget udgangspunkt i kommunens kyststrækning, Matrikel 13df, Strøby By. Strækningen er i dag enten ubeskyttet eller den nuværende beskyttelse er utilstrækkelig. Kystvejen er derfor i fare for at blive undermineret i forbindelse med en kraftig storm.

Formålet med nærværende rapport er at udarbejde en standard for kystbeskyttelse, der kan anvendes lange hele kyststrækningen mellem Strøby Egede og Strøby Ladeplads.

Figur 1.1: Oversigtsbillede over kyststrækningen ved Kystvejen i Strøby Egede, hvor Kystvejen skal sikres mod erosion.

Strækningen har en længde på 250 m.



Der skal søges om tilladelse hos kystmyndigheden i kommunen ved anlæggelse af ny kystbeskyttelse eller forstærkning af eksisterende beskyttelse, hvis der ændres på stenstørrelser eller højde.

En veloplyst ansøgning om tilladelse til kystbeskyttelse skal som minimum indeholde:

1. Fastlæggelse af designvandstand og designbølgeforslag, som skråningsbeskyttelse designes for, se (NIRAS, Forarbejder til Kysthelhedsplan for Strøby Egede – Strøby Ladeplads, 2020).
2. Design og udformning af skråningsbeskyttelse (beskrevet i nærværende rapport)
3. Anlægsoverslag (beskrevet i nærværende rapport)
4. Plan og tværsnitstegninger af beskyttelsen (beskrevet i nærværende rapport)

5. Belysning af miljømæssige konsekvenser, som samles i en VVM-anmeldelse.

Den kystteknisk mest optimale løsning er at beskytte kysten mod stormflod og bølger ved at kombinere skråningsbeskyttelse af sten med strandfodring med sand og ral. Skråningsbeskyttelsen kan desuden kombineres med en højvandsmur eller dige bagved de steder, hvor baglandet er for lavt.

Strandfodringen bør foretages over en lang sammenhængende strækning, hvor alle grundejerne deltager, hvilket bedst opnås gennem en såkaldt Kapitel 1 A sag efter Kystbeskyttelsesloven (herefter KBL).

Beregninger viser, at strandfodring vil koste i størrelsesorden 100-200 kr./år/m ekskl. moms.

Strandfodring øger desuden den rekreative værdi af kysten til glæde for grundejere og badegæster.

Alle angivne terrænkoter er baseret på den danske højdemodel fra 2014/2015, (Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering, 2018).

## 2 Strækningen i dag

Strækningen er tidligere blevet inspiceret af NIRAS. Tilbage i 2016 udpegede NIRAS strækningen som truet af erosion, (NIRAS, Notat: Stevns Kommune, Erosion af Kyststrækninger., 2016). NIRAS udarbejdede i den forbindelse et skitseforslag til en skråningsbeskyttelse. I 2018 udarbejdede NIRAS en Inspektionsrapport, (NIRAS, Stevns Helhedskystplan. Inspektionsrapport, 2018), hvor NIRAS inspicerede Stevns Kommunes oversvømmelsestruede kyststrækninger. Her anbefalede NIRAS også at beskytte strækningen med en skråningsbeskyttelse.

Strækningen har i dag en skråningsbeskyttelse, der består af SF sten, se Figur 2.1, øverst. Beskyttelsen er dog mange steder i dårlig stand. Sediment er eroderet væk under stenene, hvilket har resulteret i, at beskyttelsen er sunket lokalt, se Figur 2.1.

Hældningen på nuværende skråningsbeskyttelse er omkring 1:2.

Figur 2.1: Kysten ved matrikel 13df.

Øverst: Skråningsbeskyttelse bestående af SF-sten (foto taget d. 18-10-2017).

Nederst: Jorden under fliserne er flere steder eroderet væk, (foto taget d. 18-10-2017).



### 3 Design af skråningsbeskyttelse

#### 3.1 Skråningsbeskyttelse

Skråningsbeskyttelsen har til formål at beskytte kyststrækningen foran Kystvejen mod erosion. I designet er bølgeoverskyllt undersøgt for forskellige designhændelser.

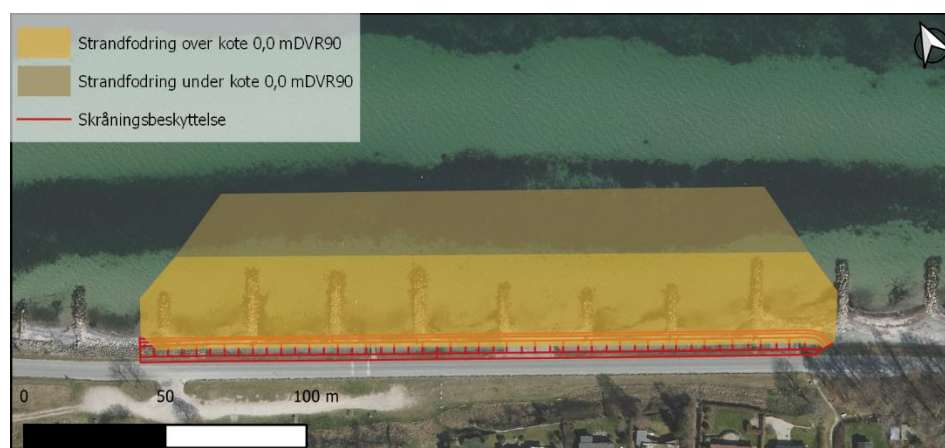
Det anbefales, at skråningsbeskyttelsen som minimum projekteres for en 50 års stormhændelse og med en levetid på 50 år (til år 2070). Skråningsbeskyttelsen med det valgte designgrundlag vil kunne sikre Kystvejen mod underminering 50 år ud i fremtiden.

En mindre designhændelse vil kun ændre højden og stenstørrelsen og dermed stenvolumen minimalt. Det forventes derfor ikke, at anlægsprisen vil reduceres betydeligt ved valg af en mindre designhændelse.

Det er i designet sikret, at skråningsbeskyttelser også vil kunne modstå en 50 års storm i det tilfælde, at det eksisterende kystprofil ikke vedligeholdes med strandfodring for at forhindre, at vanddybden foran konstruktionen øges med tiden. Dog vil bølgeoverskyllet afhænge af det foranliggende terræn og topkoten af stranden.

En plantegning af området med erosionsbeskyttelsen ses i Figur 3.1.

Figur 3.1: Plantegning af skråningsbeskyttelsen og strandfodring - både over og under normalt havniveau.

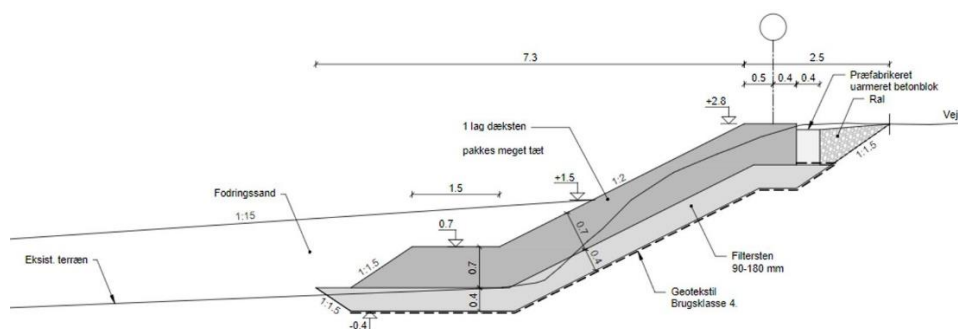


Langs strækningen findes der allerede kystbeskyttelse. Ved etablering af den nye beskyttelse, fjernes den eksisterende beskyttelse indledningsvist. Eksisterende SF-sten kan evt. blandes med nye filtersten og genanvendes i den nye skråningsbeskyttelse. Det anbefales ikke at etablere skråningsbeskyttelsen uden på nuværende SF-stenlag. Beskyttelsen vil i det tilfælde strække sig ud havværts vandlinjen, og den lille strand, der er foran beskyttelsen, vil derfor gå tabt. Derudover er erosionsbeskyttelsen med SF sten flere steder undermineret. Der er derfor risiko for sætninger af skråningsbeskyttelsen, da fundamentet ikke er stabilt.

Den nye skråningsbeskyttelse anlægges, så bagkanten følger bagkanten af eksisterende skråningsbeskyttelse. Bredden af skråningsbeskyttelsens krone inkl. betonklods er 1,3 m svarende til bredden af 2 dæksten. Hvor der er plads, eller hvor bølgeoverskyllet ønskes reduceret, kan kronekoten med fordel gøres bredere (3-4 dæksten).

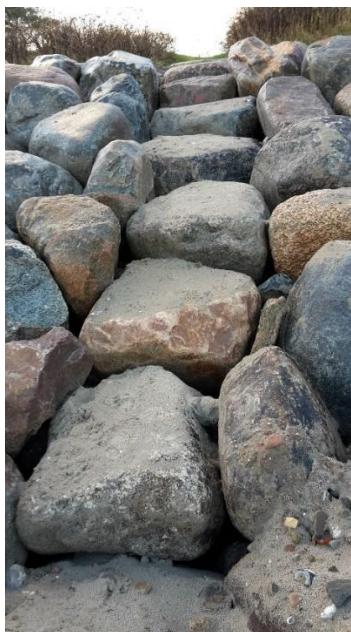
Den nuværende hældning på 1:2 fastholdes. Dækstenene har en middelvægt på  $W_{em}=0,6$  ton. En tværsnitstegning af beskyttelsen ses i Figur 3.2 og i appendiks.

Figur 3.2: Tværnitstegning af skråningsbeskyttelsen langs strækningen.



For at lette adgang til stranden kan dækstenslag på skråningsbeskyttelsen indlægges som trappe af mindst en dækstens bredde. Et eksempel på sådan en trappe ses i Figur 3.3. Alternativt, kan der anlægges betontrapper med tilsvarende udstrækning.

Figur 3.3: Eksempel på sten-trappe opbygget af dæksten.



### 3.1.1 Opbygning af skråningsbeskyttelsen

Skråningsbeskyttelsen opbygges med et enkelt lag dæksten for at reducere anlægsomkostningerne. **Når dækstenene placeres i ét lag, skal de pakkes meget tæt.** Under dækstenene placeres et filterlag med en tykkelse på minimum 0,4 m, som består af sten mellem 5-40 kg. Under filterstenene lægges som underlag en kraftig geotekstil ind mod den afrettede skråning. Geotekstilet forhindrer udvaskning af sand fra skråningen og forhindrer underminering af skråningsbeskyttelsen og dermed Kystvejen, samtidig med at overfladevand mv. kan strømme gennem geotekstilet.



Skråningsbeskyttelsens topkote er i +2,8 m DVR90. Ved landværts side af dækstenene kan der anlægges en betonblok. Betonblokken reducerer udvaskning af sand gennem dækstenene i forbindelse med bølgeoverskyl og forbedrer dermed stabiliteten af området bag konstruktionen. Samtidig kan der ikke ledes vand gennem skråningsbeskyttelsen, hvilket er vigtigt, hvis der skal beskyttes mod oversvømmelse på baglandet. I tilfælde af, at konstruktionen skal benyttes som beskyttelse mod oversvømmelse skal bagsiden af konstruktionen tættes evt. ved en større betonblok eller i kombination med et jorddige bagved.

En kronkote i +2,8 m DVR90 vil i dag sikre, at overskylltet under en storm holdes under 10 l/s. Dette er dog ikke tilfældet i fremtiden, med stigende havspejl. Hvis et overskyl på under 10 l/s ønskes også i fremtiden, vil det være nødvendigt med strandfodring foran skråningsbeskyttelsen, jf. Afsnit 5.6.

Skråningsbeskyttelsen afsluttes i bunden af en fod for at beskytte mod underminering. Foden består af 3 dæksten i et lag af samme størrelse som dækstene på skrånningen eller to lag mindre dæksten, som placeres oven på et lag filtersten.

Tåens bundkote er valgt, så tåen ikke undermineres under en designstorm, hvis der strandfodres foran skråningsbeskyttelsen. Under en designstorm i dag, hvor der ikke er strandfodret, vil skråningsbeskyttelsen heller ikke blive undermineret.

Størrelsen på skråningsbeskyttelsens dæksten er dog valgt for det tilfælde, at der om 50 år ikke er blevet strandfodret i den mellemliggende periode – alene ud fra et forsigtighedsprincip med en konservativ tilgang til kystvedligeholdelse. Dog vil det være nødvendigt at anlægge tåen til minimum kote -1,0 m DVR90, hvis det vælges ikke at strandfodre foran skråningsbeskyttelsen og konstruktionen skal holde til år 2070.

Skråningsbeskyttelsen afsluttes mod nord mod nabostrækningens nuværende erosionsbeskyttelse. Mod syd afrundes skråningsbeskyttelsen ind mod eksisterende skrænt.

Efter ekstreme storme bør konstruktionerne efterses og eventuelle skader udbedres.

Projekteringen af skråningsbeskyttelsen er beskrevet nærmere i Afsnit 5.

### **3.1.2 Krav til materialer**

Dækstene kan være brudsten fra stenbrud eller natursten fra grusgrav. Dækstene skal være frostsikre og uden revner. Deres massefylde skal være større end 2650 kg/m<sup>3</sup>.

Filtersten og ral kan enten være natursten eller brudsten, men må maksimalt indeholde 5% hvid flint og kalk. Stenmaterialet skal være velgraderet.

Geotekstilet skal være egnet til marine arbejder med en vægt på cirka 400g/m<sup>2</sup>. Geotekstilet skal være nålebunden og må ikke efterfølgende være varmebehandlet. Der skal være 1 m overlap mellem hver enkelt bane. Geotekstilet må ikke være synlig i det færdige stenarbejde.

Betonblokkene er u-armerede med afrundede kanter. Betonen skal være egnet til marine arbejder.

### 3.1.3 Afgravning

I forbindelse med anlæggelse af skråningsbeskyttelsen vil der blive afgravet jord. Den del af afgravningen, der sker på nuværende strand, vil blive tilbagelagt efter færdiggørelse af skråningsbeskyttelsen. Den del af afgravningen der består af jord (bag nuværende SF-sten) vil blive brugt som fyld de steder, hvor der er behov for opfyldning bag skråningsbeskyttelsen fx, hvor der er i erosionsskrænter. Den resterende mængde skal bortskaffes, hvis materialet ikke er egnet til strandfodring.

Eksisterende SF-sten kan blandes i filterstenene og genindbygges i den nye skråningsbeskyttelse.

### 3.1.4 De nye anlægs betydning for nabostrækningerne

Skråningsbeskyttelser medfører i sig selv ikke nævneværdig læsideerosion. Deres funktion er, at de skal hindre materiale i at falde ud af skrænten under en storm og derved beskytte det bagvedliggende område mod akut erosion.

På begge strækningen dækkes skråningsbeskyttelsen ved foden af beskyttelsen med eksisterende sand og ral fra stranden. Da skråningsbeskyttelsen ligger landværts den aktive langstransport-zone forventes den nuværende transport af sand langs kysten at fortsætte uændret.

Under en storm kan der på strækningen i dag ikke ske erosion af skrænten pga. den nuværende kystbeskyttelse. Anlæg af en ny skråningsbeskyttelse vil ikke ændre på dette.

## 3.2 Strandfodring

Strandfodring modvirker både akut og kronisk erosion af stranden og kystprofilet samt forhindrer læ-sideerosion nedstrøms for hård kystbeskyttelse. Strandfodring øger højden af stranden og medvirker til at reducere bølgeenergien og -overskyllet under en storm. Samtidig kan strandfodring hjælpe med at tilpasse kystprofilet og stranden til det stigende havspejl.

Kystteknisk anbefales det at strandfodre langs en strækning på minimum 300 m. Ideelt burde man strandfodre på en meget længere strækning, end den der undersøges for i denne rapport. Den optimale løsning er at strandfodre med sand og ral langs hele den bebyggede del af kysten ved Strøby Egede – Strøby Ladeplads. Når den lille strækning kun er 250 m, vil der ske betydelig erosion pga. randeffekter, som vil medføre, at omkring halvdelen af sedimentet vil være borteroderet efter 5 år. Når der fodres over længere strækninger er tabet betydeligt mindre. Da nærværende notat skal ses som en standard, er disse randeffekter ikke inkluderet i anlægsoverslaget.

Strandfodringsmaterialet vil med tiden transporteres i nettotransport-retningen. Stranden skal derfor løbende vedligeholdes med tilførsel af nyt sand og ral.

Skråningsbeskyttelsen kan suppleres med strandfodring, hvis der ønskes en stærkere samlet kystbeskyttelse, en bredere strand foran beskyttelsen og samtidig vil bølgeoverskyllet på vejen reduceres. Som havspejlet stiger, vil det også være nødvendigt med strandfodring, hvis nuværende strand ønskes bevaret.

I anlægsoverslaget gives estimater på udgifterne til strandfodring med en højde på bagstranden på henholdsvis +1,5 og +2,0 m over dagligt vande.

Bølgeoverskyllet reduceres når højden af strandfodringen øges foran skråningsbeskyttelsen. Desuden vil en større andel af ral øge virkningen af strandfodringen til en given højde. Dette skyldes, at den akutte erosion af ral er begrænset.

### 3.2.1 Krav til strandfodring

Strandfodringen udlægges så den nye strandlinje ligger foran nuværende høfder, der dermed begravnes i sand, se Figur 3.1.

Ved strandfodring er det hensigtsmæssigt at anvende sediment med samme eller helst lidt grovere kornstørrelse end den der i forvejen findes på stranden, da fodringsprofilen dermed får samme hældning som det nuværende strandprofil eller lidt stejlere. Tabet af materiale til dybt vand reduceres dermed, og fodringen forventes at blive liggende i længere tid.

Middelkornstørrelsen,  $d_{50}$ , af den del af fodringsmaterialet, som består af sand:

- $0,35 \text{ mm} < d_{50} < 0,6 \text{ mm}$

Herudover er der krav til sorteringen af sandfraktionen af fodringsmaterialet. Det anbefales, at sandet skal være sorteret til velsorteret:

- $1,5 < u < 3,0$ , hvor  $u = d_{60} / d_{10}$
- Indholdet af korn med  $d < 0,06 \text{ mm}$  skal være mindre end ca. 2 %.

Det anbefales herudover, at der skal være et betydeligt indhold af ral i fodringsmaterialet, fordi det styrker det nye kystprofil, og fordi dette også forekommer på projektstrækningen nu. Det anbefales, at indholdet af ral skal være:

- Indhold af ral ( $20 \text{ mm} < d < 150 \text{ mm}$ ) skal være større end 10 % og mindre end 20 % af den samlede fodringsmængde.

Sand og ral skal være af marin oprindelse således, at fodringsmaterialet passer ind i det eksisterende miljø. Ral kan også komme fra grusgrav.

Der må ikke være organisk materiale eller anden forurening i fodringsmaterialet.

## 4 Anlægsoverslag

Anlægsoverslag for skråningsbeskyttelsen ses i Tabel 4.1. Budgettet er delt op i et entreprenørbudget og et samlet anlægsbudget.

### 4.1 Anlægsoverslag for skråningsbeskyttelse

Anlægsbudgettet for skråningsbeskyttelse med 50 års levetid løber op i 2.700.000 kr. ekskl. moms svarende til 220 kr./lbm/år. ekskl. moms. Der er ikke medregnet bortskaffelse af jord i anlægsbudgetterne, da det er usikkert om jorden skal bortskaffes og der er ikke indregnet vedligeholdelsesomkostninger eller forstærkninger.

I budgettet er det antaget, at anstilling svarer til 10 % af materialeomkostningerne. Derudover er der inkluderet 10 % usikkerhed i entreprenørbudgettet og 10 % til uforudsete udgifter i det samlede anlægsbudget. Omkostninger til projektudbud/byggeledelse/tilsyn er anslået til 200.000 kr. Strandfodringsmængder er baseret på beregningerne i Kapitel 5 og er opdelt selvstændigt i det næste.

Tabel 4.1: Anlægsbudget for skråningsbeskyttelse. Strækningen er 250 m. Priser er opgivet ekskl. moms.

	Enhedspris	Mængde	Pris (kr.)
Dæksten	720 kr./m <sup>3</sup>	5,4 m <sup>3</sup> /m	1.010.000
Filtersten	550 kr./m <sup>3</sup>	3,5 m <sup>3</sup> /m	480.000
Ral	200 kr./m <sup>3</sup>	0,2 m <sup>3</sup> /m	20.000
Uarmeret beton	4000 kr./m <sup>3</sup>	0,25 m <sup>3</sup> /m	250.000
Geotekstil	50 kr./m <sup>2</sup>	9,4 m <sup>2</sup> /m	120.000
SF fjernelse	90 kr./m <sup>3</sup>	0,1 m <sup>3</sup> /m	4.000
Udgravning	50 kr./m <sup>3</sup>	7,9 m <sup>3</sup> /m	100.000
Delsum			1.980.000
Anstilling (10 %)			200.000
Delsum2			2.180.000
Usikkerhed (10 %)			220.000
<b>Entreprenørbudget</b>			2.340.000
Projektudbud/Byggeledelse/tilsyn			200.000
Budget			2.470.000
Uforudsete udgifter (10 %)			250.000
<b>Anlægsbudget</b>			2.700.000

## 4.2 Anlægsoverslag for strandfodring

Udgifter til sand til initialstrandfodring anslås til 1.400.000 kr. og 1.650.000 kr. eksklusiv moms ved henholdsvis strandfodring til kote +1,5 og +2,0 m DVR90, se Tabel 4.2 og Tabel 4.3.

I overslaget antages, at sandet køres til stranden med lastbiler. Til store strandfodringsprojekter fragtes sandet ofte med skib og flydeledning til stranden, hvor gravemaskiner fordeler sandet endeligt. Herved falder enhedsprisen for udlagt strandfodrings sediment betragteligt.

For at bibeholde stranden, er det nødvendig med vedligeholdelsesfodring. Omkostninger til vedligeholdelsesfodring er angivet i Tabel 4.4 og estimeret til 200.000 kr./5. år eksklusiv moms. Bemærk, at der her ikke er taget hensyn til randeffekter. På en kort strækning forventes det, at omkring halvdelen af sandet borteroderes pga. randeffekter på 5 år. Ved at inkludere dette, vil udgifterne til vedligeholdelsesfodring stige med omkring 500.000-600.000 kr for 5 år.

Strandfodring med den høje beskyttelse i kote +2,0 m DVR90 er estimeret til 1.650.000 kr. ekskl. moms og vedligeholdelsesfodring hvert 5. år er estimeret til 200.000 kr. ekskl. moms. Den samlede udgift over 50 år er estimeret til 3.500.000 kr. ekskl. moms eller 280 kr./lbm/år.

Hvis hele den bebyggede del af kysten fra Strøby Egede til Strøby Ladeplads på 6,3 km skal strandfodres til kote +2,0 m DVR90 ville både initialfodring og vedligeholdelsesfodring blive billigere, da man kunne benytte skib og anstilling ville spredes ud over flere meter. Med samme enhedspriser og mængder ville prisen være omkring 50-150 kr./lbm/år ekskl. moms.

Tabel 4.2: Anlægsoverslag for initialfodring til kote +1,5 m DVR90 med lastbil. Angående fodring mod kronisk erosion og havspejlsstigninger, dækker dette de første 5 år.

Initial strandfodring til kote +1,5 m DVR90			
	Mængde	Enhedspris	Pris (kr. ekskl. moms)
Strandgenopretning	43 m <sup>3</sup> /m	100 kr./ m <sup>3</sup>	1.075.000
Kronisk erosion, 5 år	0,83 m <sup>3</sup> /m/år	100 kr./ m <sup>3</sup>	99.000
Havspejlsstigning, 5 år	0,72 m <sup>3</sup> /m/år	100 kr./ m <sup>3</sup>	90.000
Usikkerhed (10 %)			126.000
<b>Total eksklusiv moms</b>			<b>1.400.000</b>

Tabel 4.3: Anlægsoverslag for initial strandfodring til kote +2,0 m DVR90 med lastbil. Angående fodring mod kronisk erosion og havspejlsstigninger, dækker dette de første 5 år.

Initial strandfodring til kote +2,0 m DVR90			
	Mængde	Enhedspris	Pris (kr. ekskl. moms)
Strandgenopretning	52 m <sup>3</sup> / m	50 kr./ m <sup>3</sup>	1.300.000
Kronisk erosion, 5 år	0,67 m <sup>3</sup> /m	50 kr./ m <sup>3</sup>	99.000
Havspejlsstigning, 5 år	0,72 m <sup>3</sup> /m	50 kr./ m <sup>3</sup>	90.000
Usikkerhed (~10 %)			149.000
<b>Total eksklusiv moms</b>			<b>1.650.000</b>

Tabel 4.4: Anlægsoverslag for vedligeholdelsesfodring med lastbil hvert 5. år.

Vedligeholdelsesfodring hver 5. år ved begge koter			
	Mængde	Enhedspris	Pris (kr. ekskl. moms)
Kronisk erosion	0,67 m <sup>3</sup> /år/m	100 kr./ m <sup>3</sup>	99.000
Havspejlsstigning	0,72 m <sup>3</sup> /år/m	100 kr./ m <sup>3</sup>	90.000
Usikkerhed (~10 %)			22.000
<b>Total eksklusiv moms</b>			<b>200.000</b>

Forskellen mellem omkostningen på skråningsbeskyttelse i forhold til strandfodring er ikke stor. Skråningsbeskyttelsen der dog underdimensioneret til den større vanddybde foran om 50 år. Strandfodringen følger med havspejlsstigningen og har samme høje robusthed efter 50 år som den havde på initialfodringstidspunktet, når der løbende vedligeholdelsesfodres.

Der er ikke indregnet ral i ovenstående overslag. Fodringsmaterialets sammensætning kan optimeres i forbindelse med et myndighedsprojekt eller detailprojekt for en konkret strækning.

## 5 Skitseprojektering

I dette næste præsenteres skitseprojekteringen af skråningsbeskyttelse og strandfodring.

Beskyttelsen kan anvendes som skabelon for design af skråningsbeskyttelse langs hele kyststrækningen. Kystbeskyttelsen er beregnet for tre fodrings-scenarier:

- Ingen strandfodring
- Strandfodring til kote +1,5 mDVR90
- Strandfodring til kote +2,0 mDVR90

## 5.1 Sikringsniveau

Sikringsniveau og dimensionering af kystbeskyttelsen fastlægges ud fra en hændelse, der statistisk set forekommer med et valgt interval (middeltidshændelse/re-turperiode) samt en ønsket levetid. Levetiden definerer, hvor langt ud i fremtiden, det ønskes at være beskyttet mod den valgte hændelse. Kombinationen af middeltidshændelse og levetid giver sikringsniveauet.

Skråningsbeskyttelser dimensioneres normalt til at kunne modstå en 50-års middeltidshændelse. Det anbefales desuden at vælge en levetid på 50 år. Dette er også tilfældet for denne skråningsbeskyttelse.

Der vil altid være en vis 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 beregnes for, om kystbeskyttelsens dimensioneringsforudsætninger overskrides evt. med skader til følge, se Tabel 5.1.

Tabel 5.1 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	<b>64</b>	39
100	100	100	100	97	87	63

Tabellen viser, at der er 64 % sandsynlighed for, at en 50 års middeltidshændelse optræder inden for en 50 års levetid, mens sandsynligheden for at en 100 års hændelse optræder inden for en 50 års levetid er 39%.

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

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

I nærværende design anvendes et sikringsniveau med en 50-års middeltidshændelse og en 50 års levetid, da Kystdirektoratet anbefaler, at der som minimum designes for en 50 års storm om 50 år (år 2070).

Højvandsbeskyttelse skal ifølge Kystdirektoratet, som minimum designes for en 100 års middeltidshændelse om 80 år (år 2100). Alle bygninger langs kysten og i baglandet bør anlægges med en sokkelkote på minimum +2,8 m DVR90 for at reducere risikoen for oversvømmelse.

Vurderingen af risiko for oversvømmelse langs hele kyststrækningen tager udgangspunkt i stormflodsvandstanden for en 100 års hændelse i år 2100 på +2,80 mDVR90.

## 5.2 Dimensionering

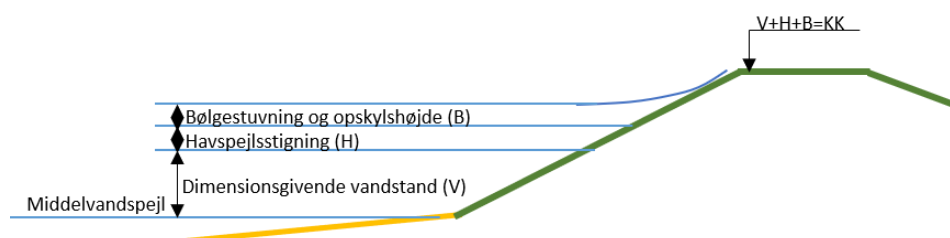
Dimensionerne på skråningsbeskyttelsen bestemmes på baggrund af det valgte sikringsniveau.

Den nødvendige kronekote bestemmes overordnet set ud fra følgende:

1. Vandstanden (V), der svarer til den valgte middeltidshændelse, findes fra højvandsstatistikkerne.
2. Dernæst estimeres størrelsen på den forventede havspejlsstigning inden for den valgte levetid (H).
3. Korrelation mellem forhøjet vandstand og samtidig bølgepåvirkning vurderes.
4. Summen af V og K udgør den dimensionsgivende vandstand på dybt vand.
5. Forventes samtidighed mellem ekstrem vandstand og bølgepåvirkning, skal der estimeres en højde, hvortil bølgerne kan nå (B). 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 anlæggsfor side samt højere eller lavere foranliggende strand. En forhøjelse af den foranliggende strand reducerer bølgehøjden, der når beskyttelsen. Dermed vil den nødvendige kronekote kunne reduceres.

De forskellige bidrag er visualiseret i principskitzen i Figur 5.1.

Figur 5.1: Principskitse for de forskellige bidrag til beregning af kystbeskyttelsers kronekote i fremtiden (KK). Dette gælder både for erosionsbeskyttelse og oversvømmelsesbeskyttelse – dog med forskellige middeltidshændelse og levetid.



Ved fastlæggelse af kronekote på konstruktioner sammenholdes havspejlsstigning og landhævning. Den beregnede designkronekote er den kronekote, som konstruktionen skal have ved slutningen af den valgte levetid, og dermed til det tidspunkt, som havspejlsstigning er fremskrevet til.



Beregningen omfatter valg af sikringsniveau, samtidighedsanalyse mellem vandstand og bølgehøjde, modellering af bølgehøjde og vandstand ved konstruktionsfoden.

### 5.3 Samtidighedsanalyse af ekstrem vandstand og bølger

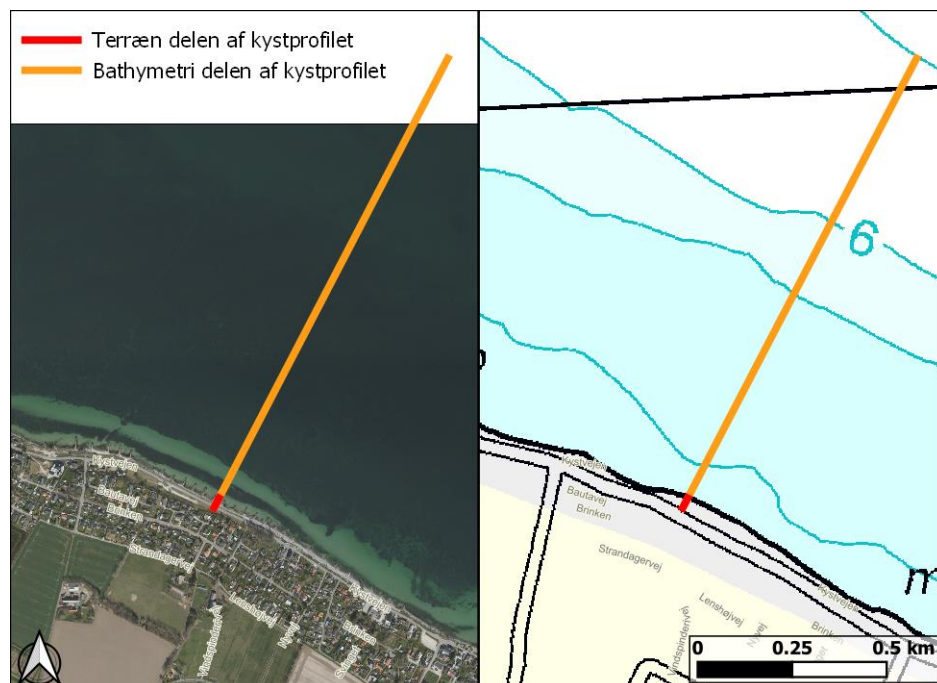
Når store bølger og høj vandstand er fuldt korrelerede, dvs. forekommer samtidigt, skal begge ekstremer inkluderes i beregningerne af påvirkningen på kysten. Når der ikke er samtidighed mellem ekstreme bølger og ekstrem vandstand, bør forskellige kombinationer af bølgehøjde og vandstand vurderes, f.eks:

- en ekstremt forhøjet vandstand uden bølger (mest relevant ift. højvandsbeskyttelse)
- en moderat forhøjet vandstand med lille bølgehøjde
- en lidt forhøjet vandstand med en moderat eller ekstrem bølgehøjde

For at vurdere om der er stor eller lille sammenhæng mellem ekstreme bølger og ekstrem vandstand, er der udarbejdet en statistisk korrelationsanalyse imellem vandstand og bølgehøjde baseret på 40 års modellerede data fra den regionale spektralmodel, jf. (NIRAS, Forarbejder til Kysthelhedsplan for Strøby Egede – Strøby Ladeplads, 2020). Data til denne analyse er udtrukket på dybt vand for enden af kystprofilen ud for Kystvejen ved Brinken 141, se Figur 5.2.

Figur 5.2: Placering og udstrækning af kystprofilen anvendt til beregninger af standard for skråningsbeskyttelser.

Baggrundskort: Ortofoto 2019.



Figur 5.3 viser resultaterne af ekstremværdianalysen af de 40 års modellerede bølge- og vandstandsdata. Figuren viser punktsky af bølgehøjden,  $H_{m0}$ , og vandstand, samt hvordan vandstanden og bølgehøjden varierer for forskellige returperioder. Det ses af figuren, at den største bølgehøjde på  $H_{m0}=1,2$  m forekommer samtidig med en vandstand på  $+1,2$  mDVR90 for en 50 års hændelse.

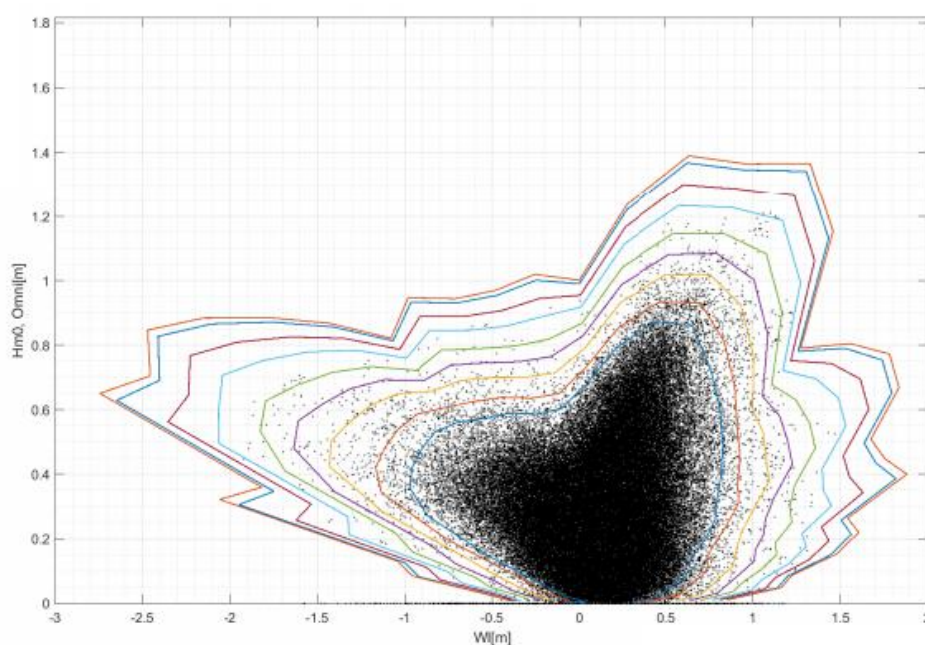
Den største vandstand på  $+1,52$  mDVR90 forekommer samtidig med en bølgehøjde på omkring  $H_{m0}=0,6$  m. Den vandstand stemmer mere eller mindre overens med Kystdirektoratets 50 års middeltids vandstand på  $+1,54$  mDVR90, se Kystdirektoratets højvandsstatistik 2017, mens den ifølge Realdania er 20 cm højere, se Forarbejder til Kysthelhedsplan.

Figur 5.3: Punktsky af 40 års modellerede bølgehøjde,  $H_{m0}$  og tilhørende vandstand (mDVR90).

X-aksen angiver vandstand og Y-aksen angiver bølgehøjden,  $H_{m0}$ , som på dybt vand kan sidestilles med gennemsnithøjden af de 1/3 største bølger.

Returhændelse:

- 1 år
- 2 år
- 5 år
- 10 år
- 20 år
- 50 år
- 100 år
- 200 år
- 250 år



Udover størrelsen af bølgen er det også vigtigt at kende bølgeretningen, der forekommer under en storm. I Figur 5.4 til Figur 5.6 ses ekstremværdianalysen fordelt ud på bølgeretninger mellem 0-90 grader.

De største vandstande kommer ved bølger for nord (0-30 grader, Figur 5.4), mens de største bølger kommer fra nordøst til øst (30-90 grader, Figur 5.5 og Figur 5.6). Når bølgerens retning inkluderes i ekstremværdianalysen er ekstremværdierne mindre, end når alle bølger inkluderes i analysen, se Figur 5.3. Dette skyldes dels, at mængden af data der anvendes er mindre, når alle bølgeretningen medtages, men også at sandsynlighedsfordelingen justeres alt efter input-data.

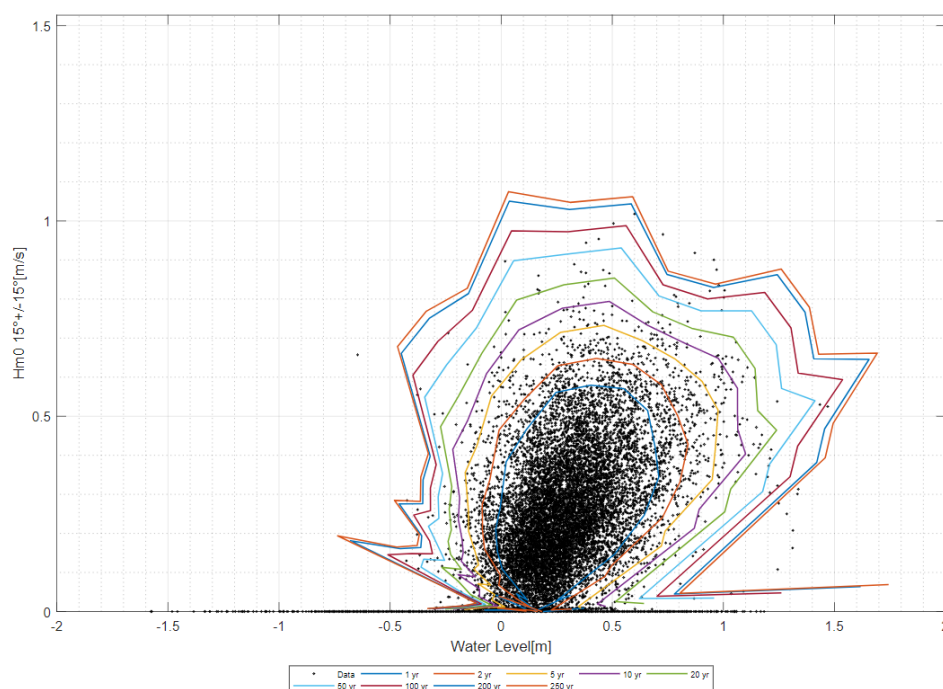
For at inkludere en vis sikkerhed i designet af skråningsbeskyttelsen anvendes ekstremværdierne fra Figur 5.3, hvor alle data blev medtaget, mens bølgeretningerne findes af Figur 5.4 til Figur 5.6.

Figur 5.4: Punktsky af 40 års modelleret bølgehøjde,  $H_{m0}$ , fra kompasretning 0-30 grader og den samtidige målte vandstand.

X-aksen angiver vandstand og Y-aksen angiver bølgehøjden,  $H_{m0}$ , som på dybt vand kan sidestilles med gennemsnithøjden af de 1/3 største bølger.

Returhændelse:

- 1 år
- 2 år
- 5 år
- 10 år
- 20 år
- 50 år
- 100 år
- 200 år
- 250 år

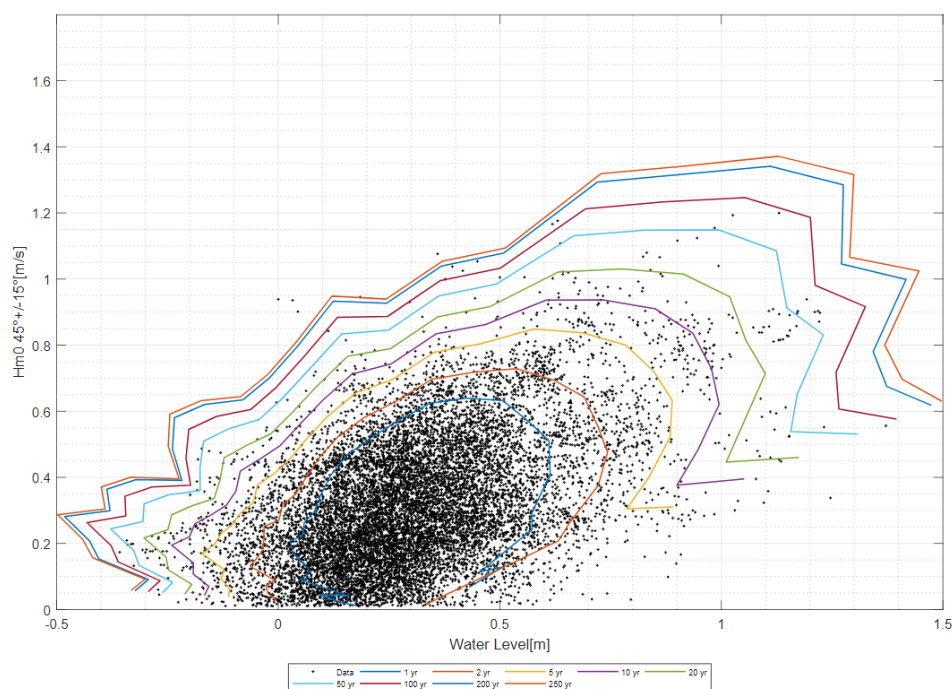


Figur 5.5: Punktsky af 40 års modelleret bølgehøjde,  $H_{m0}$ , fra kompasretning 30-60 grader og den samtidige målte vandstand.

X-aksen angiver vandstand og Y-aksen angiver bølgehøjden,  $H_{m0}$ , som på dybt vand kan sidestilles med gennemsnithøjden af de 1/3 største bølger.

Returhændelse:

- 1 år
- 2 år
- 5 år
- 10 år
- 20 år
- 50 år
- 100 år
- 200 år
- 250 år

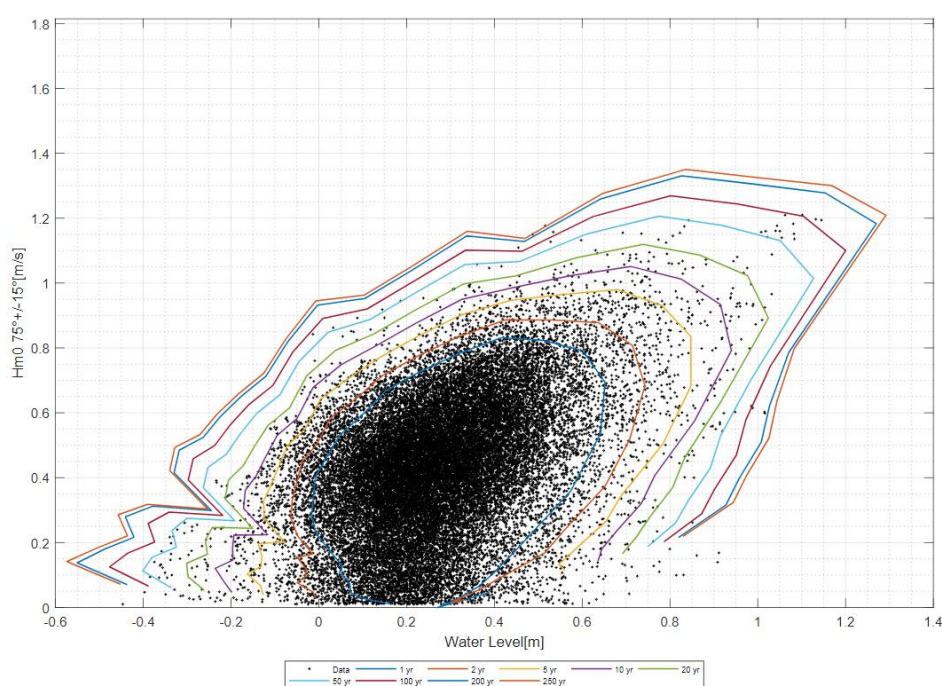


Figur 5.6: Punktsky af 40 års modelleret bølgehøjde,  $H_{m0}$ , fra kompasretning 60-90 grader og den samtidigt målte vandstand.

X-aksen angiver vandstand og Y-aksen angiver bølgehøjden,  $H_{m0}$ , som på dybt vand kan sidestilles med gennemsnithøjden af de 1/3 største bølger.

Returhændelse:

- 1 år
- 2 år
- 5 år
- 10 år
- 20 år
- 50 år
- 100 år
- 200 år
- 250 år



Tabel 5.2 viser de to designhændelser, som skråningsbeskyttelsen designes for. Bølger og vandstand er afrundet til en decimal. I designvandstanden er fratrukket landhævning, der frem til 2070 vil være 6 cm, mens den forventede havspejlsstigninger på 40 cm er lagt til.

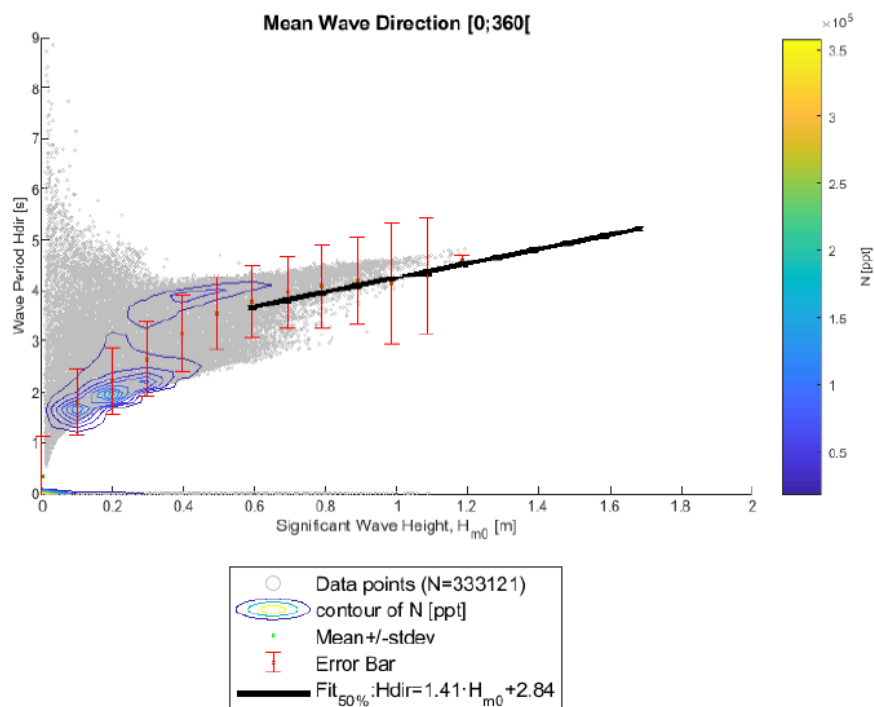
Tabel 5.2: Designhændelser som skråningsbeskyttelse projekteres for. Bølgenes indfaldsretning ( $i^\circ$ ) er afgørende for robustheden af konstruktionen.

Case	Bølge- retning	Bølgehøjde ( $H_{m0}$ )	Peak bølge- periode ( $T_p$ )	Vandstand	Design- vandstand
1	15 grader	0,6 m	3,7 s	+1,52 mDVR90	+1,84 mDVR90
2	45 grader	1,2 m	4,5 s	+1,20 mDVR90	+1,54 mDVR90

Peakbølgeperioden,  $T_p$ , er fundet til henholdsvis 3,7 s og 4,5 s, se Figur 5.7.

Figur 5.7: Plot og sammenhæng mellem modelleret bølgehøjde og bølgeperiode.

X-aksen angiver bølgehøjden  $H_{m0}$ , og Y-aksen angiver peak bølgeperioden,  $T_p$ .



## 5.4 LITPROF modellering af kystprofil

Når bølger bevæger sig ind på lavt vand påvirkes de af ruheden fra bunden, hvor de drejer i forhold til dybdekurverne, bremses og bliver stejle indtil de begynder at bryde. Bølgebrydning medfører, at vandstanden øges fra brydningspunktet ind til stranden (bølgestuvning).

Til beregning af bølgehøjden på lavt vand er opstillet et lokalt kystprofil, som er modelleret med LITPROF modellen udviklet af DHI.

LITPROF modellen transformerer stormbølgerne ind til kysten, beregner den tværgående sedimenttransport og herunder den akutte erosion og opdaterer profilers form i hvert tidskridt. Således opnås en udvikling af profilers form, og dermed også en udvikling af bølgehøjde og vandstand gennem designhændelsen.

LITPROF anvender  $H_{rms}$  (root-mean square) bølgehøjden. Omregningen fra  $H_s$  til  $H_{rms}$  på dybt vand foretages ved:

$$H_{rms} = \frac{H_s}{\sqrt{2}}$$

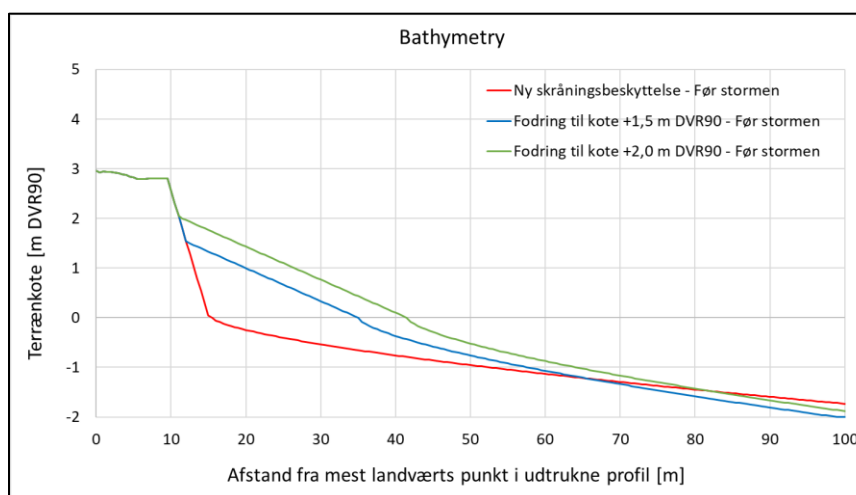
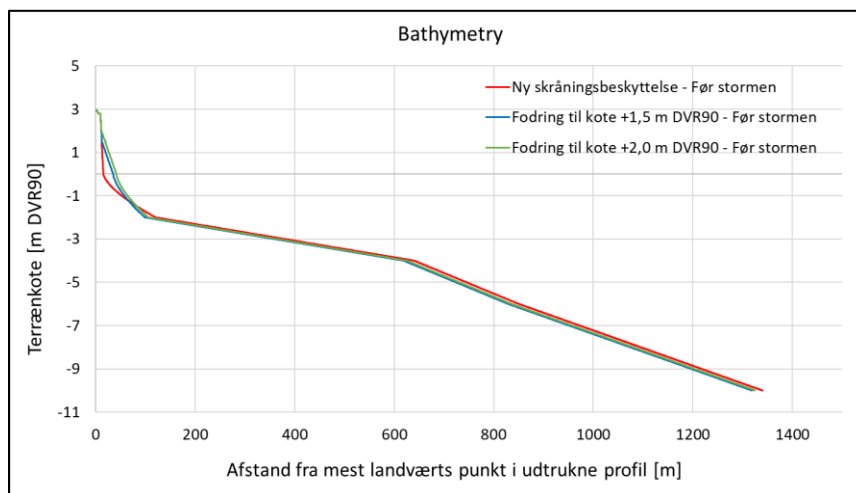
Den modellerede storm har en varighed på 24 timer med den dimensionsgivende vandstand i 12 timer og med maksimal bølgepåvirkning gennem hele stormen. Kystnormalens orientering er  $30^\circ$  i forhold til nord, se Figur 5.2.

Det anvendte kystprofil er vist i Figur 5.8.

Figur 5.8: Kystprofilet udtrukket fra hhv. Den Danske Højdemodel fra 2015 og Søkort nr. 132. Derudover vises to opstillede kystprofiler med strandfodring op til hhv. kote +1,5 m og +2,0 m DVR90. Disse kystprofiler er anvendt til modellering af stormhændelsen.

Øverst: Anvendte kystprofiler

Nederst: Udsnit af anvendte kystprofiler nær strandlinjen.



Kystprofilet er opstillet på baggrund af

- Den Danske Højdemodel fra 2015 (terræn over +0,0 m DVR90),
- Søkort nr. 132 (terræn under kote +0,0 m DVR90).
- Imellem kote +0,0 til -2,0 m DVR90 er efterfølgende anvendt et tilpasset Dean's profil, som beskriver ligevægtsprofilet ud fra sedimentets størrelse.

I profilet er indtegnet en skråningsbeskyttelse med forsidehældning 1:2 svarende til en renovering af den eksisterende skråningsbeskyttelse. Kronekoten er indledningsvist ikke ændret ift. eksisterende terræn. Den anbefalede kronekote findes senere på baggrund af modelleringen og beskrives i Afsnit 5.6

For at vurdere om kystbeskyttelsens topkote kan reduceres ved brug af strandfodring, er modelleringen også foretaget for situationer med strandfodring til hhv. kote +1,5 og +2,0 m DVR90. Strandfodringen er i beregningerne udlagt med en hældning 1:15, som vist i Figur 5.8.

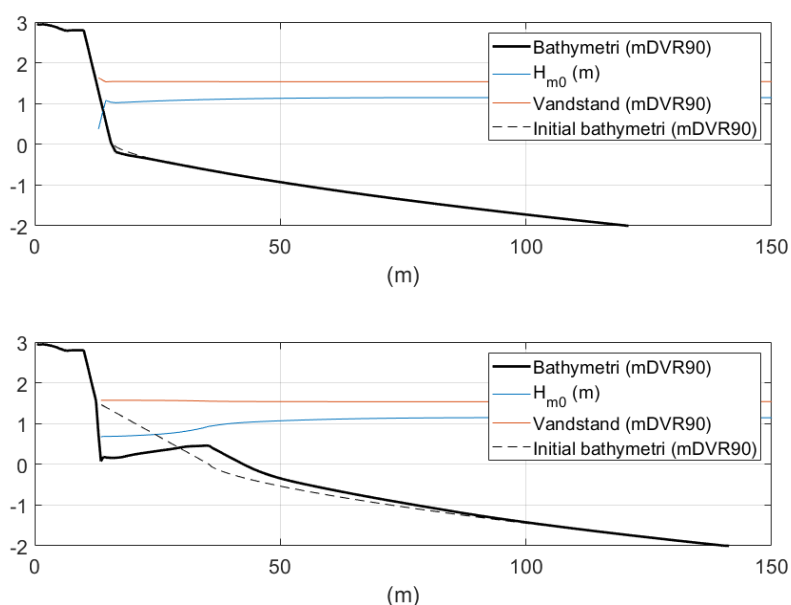
Den inderste del af kystprofilen ændrer sig gennem modelleringen som resultat af erosion. Størrelsesordenen af erosionen afhænger udover de hydrauliske forhold også af størrelsen på sedimentet i kystprofilen. Stranden langs den nordlige del af Stevns Kommune består generelt af sand og ral. I brydningszonen består bunden i højere grad af sand, da bølgerne primært bryder over revlerne. I modellen antages en middelkornstørrelse på  $d_{50} = 0,3$  mm, svarende til almindeligt strandsand.

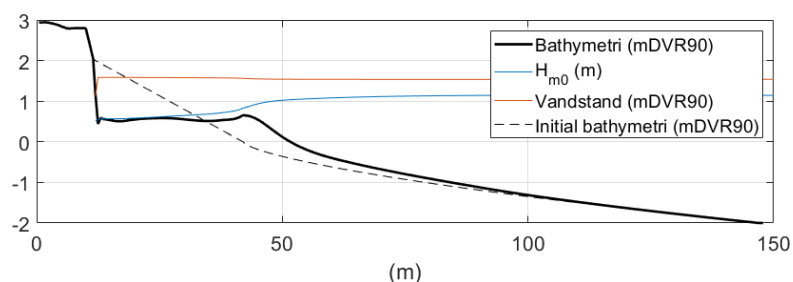
I tilfælde af at stranden består af ral, er den akutte erosion ubetydelig lille, eftersom ral i modsætning til sand ikke vandrer ud til revlen under stormen. Ral omlejres under storm i stejle ral-strandvolde med et tydeligt imbrikationslag mod bølgerne. Ral skærmer sig derved naturligt robust mod bølgepåvirkning og øger således beskyttelsen af skråningsbeskyttelserne.

## 5.5 Designbølge og vandstand på lavt vand

Den renoverede skråningsbeskyttelse møder det eksisterende terræn omtrent ved i kote +0,0 m DVR90. LITPROF modelleringen af hændelsen med bølgehøjder på  $H_{m0} = 1,2$  m og vandstand på +1,52 m DVR90 viser, at erosionen af den nuværende strand ikke erodere mere end nogle få cm under stormhændelsen, som vist i Figur 5.9. Dette skyldes til dels det flade kystprofil umiddelbart under vandlinjen, og at vanddybden er så stor, at bølgerne ikke rigtig bryder, før de når konstruktionen.

Figur 5.9: Inderste del af kystprofilerne før og efter modellering af stormhændelsen. I figurerne ses også den designgivende bølgehøjde og vandstand. Øverst: Uden strandfodring. Midt: Strandfodring til +1,5 m DVR90. Nederst: Strandfodring til +2,0 m DVR90.





I tilfældene, hvor der er strandfodret foran skråningsbeskyttelsen, flyttes sandet foran konstruktionen længere havværts ud i profilet under stormen.

Foran konstruktionen er terrænkoten efter stormen reduceret til +0,2m DVR90 og +0,6m DVR90 ved strandfodring til hhv. kote +1,5 m og +2,0 m DVR90.

Bølgerne vil både transportere sedimentet ud på større dybder, men også langs kysten. Sedimentet, der transporteres ud på større vanddybder bevirker fortsat reduktion af bølgehøjden ved konstruktionen og vil med tiden under normale bølgeforhold kunne blive transporteret tilbage til stranden.

Bølgerne, der rammer konstruktionen reduceres betydeligt i størrelse jo højere strandfodringen ligger, hvilket skyldes den lavere vanddybde. Strandfodringen, som før stormen lå op til kote +2,0 m DVR90, halverer bølgehøjden, der rammer konstruktionen.

I Tabel 5.3 er design-terrænkoten foran konstruktionen angivet sammen med designvandstanden og bølgehøjden for begge designhændelser. Efterfølgende beregninger har vist, at det er Case 1 med bølgehøjde på  $H_{m0}=1,2$  m og vandstand på +1,52 mDVR90, der er dimensionsgivende.

Tabel 5.3: Vandstand, signifikant bølgehøjde og terrænkote ved foden af skråningsbeskyttelsen ved LIT-PROF modellering af stormhændelsen for forskellige profiler. Til konstruktionsdimensionering tillægges havspejlsstigningen.

	Scenarie	Terrænkote [m DVR90]	Vandstand [m DVR90]	Signifikant bølgehøjde, $H_{m0}$ [m]
Case 1	Eksisterende kystprofil	-0,22	+1,54	1,03
	Strandfodring til kote +1,5 m DVR90	+0,17	+1,57	0,69
	Strandfodring til kote +2,0 m DVR90	+0,56	+1,59	0,56
Case 2	Eksisterende kystprofil	-0,14	+1,82	0,57
	Strandfodring til kote +1,5 m DVR90	+0,84	+1,82	0,53
	Strandfodring til kote +2,0 m DVR90	+1,04	+1,84	0,38

På baggrund af parametrene med Case 1 i Tabel 5.3 kan de nødvendige dimensioner på skråningsbeskyttelsen beregnes.



## 5.6 Kronekote

Når bølger rammer skråningsbeskyttelsen direkte skyller de op ad og evt. hen over. Størrelsen af bølgeoverskyllet afhænger af konstruktionens forsidehældning og opbygning, strandens højde og bølgernes størrelse umiddelbar foran konstruktionen. Jo lavere det foranliggende terræn er, jo større bølger kan nå ind til konstruktionens fod, og jo større bliver overskyllet.

Overskyl fra bølger kan være kraftfuldt og skade nærtliggende bygninger, konstruktioner, infrastruktur og trafikanter. Betydeligt bølgeoverskyl kan over længere tid resultere i skader på kystbeskyttelsen og skabe oversvømmelse i baglandet.

Kystbeskyttelsens bagsidehældning har stor indflydelse på, hvor modstandsdygtig kystbeskyttelsen er imod bølgeoverskyl. Skader indledes ofte ved beskadigelse af toppen eller bagsiden ved et enkelt kraftigt bølgeoverskyl. Jo fladere bagsiden er, og jo mere befæstet toppen er, jo mindre er sandsynligheden for skader.

Kystbeskyttelsens optimale kronekote fastsættes endeligt ud fra et kriterie for tilladeligt overskyl. Der skelnes mellem overskylskriterie i forhold til konstruktionernes og Kystvejens styrke på den ene side og muligheden for at håndtere vandet bagved. Desuden er det relevant at vurdere, om det kan accepteres, at eventuelt bølgeoverskyl er sikkert i forhold til cyklister og fodgængere samt biler, eller om vejen i ekstreme situationer skal lukkes midlertidigt. Derved hindres vejens benyttelse som redningsvej under storm.

Det vurderes, at en korrekt opbygget skråningsbeskyttelse med bagvedliggende vej kan tåle et overskyl på op mod 50 l/s/m. Fodgængere vurderes at kunne klare mellem 1-10 l/s/m og maksimalt 600 l/m per bølge såfremt  $H_s \approx 1 - 2$  m, hvilket er tilfældet her. Tilsvarende vurderes bilister at kunne klare op til 75 l/s/m og maksimalt 2.000 l/m per bølge, (EUROTOP, 2016). I forhold til bagvedliggende bygninger skal det også vurderes om overskyl kan ledes væk fra bygningen, da der ellers er fare for oversvømmelse. Kan vandet ikke ledes væk er det nødvendigt med et lavere overskylskriterie og dermed en høj kronekote.

I Tabel 5.4 er vist, hvilke minimums koter de forskellige modellerede scenarier med og uden strandfodring vil kræve, i forhold til forskellige overskylskriterier. I beregninger er det antaget, at bølgerne rammer vinkelret på konstruktionen.

Med strandfodring til +2,0 mDVR90 vil et overskyl på 50 l/s/m ikke kunne finde sted.

*Tabel 5.4: Beregnede minimum kronekoter (mDVR90) til beskyttelse mod en 50-års middeltidshændelse om 50 år for tre forskellige kystprofiler hhv. uden strandfodring, strandfodring til kote +1,5 m DVR90 og strandfodring til kote +2,0 m DVR90.*

Scenarie	50 l/s/m	10 l/s/m	1 l/s/m
<b>Eksisterende kystprofil</b>	+2,2	+2,6	+3,0
<b>Strandfodring til kote +1,5 m DVR90</b>	+1,9	+2,1	+2,6
<b>Strandfodring til kote +2,0 m DVR90</b>	-	+2,0	+2,3

Overskylsberegningerne er baseret på EUROTOP manualen samt værktøjet ANN (Overtopping-NeuralNetwork), som er opdateret med nyeste viden om overskyl, (Barbara Zanuttigh, Sara Mizar Formentin and Jentsje W. van der Meer, 2020).

Accepteres overskyl på 10 l/s/m vil det ikke være nødvendigt at strandfodre foran skråningsbeskyttelsen i den nærmeste fremtid. Dog vil havspejlsstigningerne medføre erosion foran skråningsbeskyttelsen. Denne erosion er ikke medtaget i nærværende undersøgelse. Erosionen vil medføre, at vanddybden foran skråningsbeskyttelsen stiger, hvilket vil medføre et større overskyl. Hvis der ikke strandfodres foran konstruktionen, vil overskyllet i 2070 derfor være mere end 10 l/s.

Det ses også af Tabel 5.4, at hvis der er bebyggelse bag en skråningsbeskyttelse som ikke kan tåle vand, så overskylskriteriet skal være 1 l/s/m eller mindre, så bør bagstrandshøjden foran skråningsbeskyttelsen være i minimum +1,5 mDVR90, hvis kronekoten på skråningsbeskyttelsen ikke skal være mere end +3,0 mDVR90. Derfor skal stranden foran skråningsbeskyttelsen vedligeholdelsesfodres for at opnå samme beskyttelse i fremtiden.

Topkoten kan også reduceres ved at øge kronebredden til over 3 gange dækstensstørrelsen.

## 5.7 Stenstørrelse

Den nødvendige størrelse af dækstenene beregnes med Van der Meers formel beskrevet i (CIRIA, 2007).

I beregningerne medtages effekten af konstruktionens forsidehældning, bølgehøjde og -periode, stormvarighed, konstruktionens permeabilitet samt acceptabelt skadesniveau.

Det acceptable skadesniveau der anvendes er  $S_d=2$ , hvilket svarer til begyndende skade under designstormen.

Den renoverede skråningsbeskyttelse vil være opbygget med geotekstil og filterlag og et enkelt lag dæksten. Derfor anvendes en permeabilitetsfaktor på  $P=0,1$  svarende til, at konstruktionen er impermeabel.

Omregning af dæksten fra masse til diameter gøres ved brug af:

$$M_{50} = \rho_s \cdot D_{n50}^3$$

$D_{n50}$  er den nominelle stendiameter (sidelængden på det kvadrat, som stenen lige akkurat kan passere igennem),  $M_{50}$  er median stenmassen og  $\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$  er stendensiteten.

$D_{n50}$  er beregnet for hver af de tre modellerede scenarier. I scenariet uden strandfodring anbefales en stenstørrelse på minimum  $D_{n50} > 0,6 \text{ m}$ . Ved scenarierne med strandfodring kan stenstørrelsen reduceres lidt.

Det anbefales dog, at anvende en stenstørrelse med  $D_{n50} = 0,7 \text{ m}$ , da der kun anvendes et dækstenslag i konstruktionen. Såfremt skråningsbeskyttelsen på et senere tidspunkt ønskes forstærket til at kunne modstå en værre hændelse kan stenstørrelsen ikke øges uden ombygning af konstruktionen.  $D_{n50} = 0,65 \text{ m}$  svarer til en middelvægt,  $M_{50} \sim 0,7 \text{ t}$ .

Den anbefalede standard stengradering til udbygning og forstærkning af skråningsbeskyttelserne kræver lokal information til beregning mens filtersten er 90-180 mm, (DS EN 13383, 2003).

Standardgraderingen for filterstenene er fundet på baggrund af et filterlagskriterie, der sikrer imod udvaskning af filterlaget gennem dækstenene (Thompson and Shuttler 1976):

$$\frac{D_{15A}}{D_{15F}} \leq 7 \quad \frac{D_{15A}}{D_{85F}} \leq 4 \quad \frac{D_{50A}}{D_{50F}} \leq 4$$

$D$  betyder stendiameter,  $A$  og  $F$  henviser til hhv. dæksten og filtersten, 15 og 85 henviser til hhv. 15 og 85 fraktilen af stenenes graderingskurve.

Filterstenene indbygges i et 40 cm tykt lag under dækstene, og lægges oven på kraftig geotekstil ind mod den afrettede skråning. Geotekstilet sikrer imod, at fyldmateriale og eksisterende skrænt skylles ud gennem filtersten og dæksten. Geotekstilet sikrer således imod underminering af Kystvejen, samtidig med at overfladevand kan strømme igennem konstruktionen.

Dækstenstørrelsen er valgt på baggrund af, at skråningsbeskyttelsen bygges med en forsidehældning 1:2 og kun et enkelt lag dæksten, som skal pakkes meget tæt.

Hvis der er bagvedliggende bygninger, der skal beskyttes mod oversvømmelse, og skråningsbeskyttelsens topkote er over bagvedliggende terræn, er det nødvendigt at indbygge en betonmur i skråningsbeskyttelsen, så denne bliver impermeable. Desuden kan bagsiden af skråningsbeskyttelsen opbygges som et dige.

## 5.8 Funderingsniveau

Funderingsniveauet svarer til den terrænkote, der under den designgivende hændelse kan eroderes ned til. Skråningsbeskyttelsen skal funderes i et niveau, så der ikke forekommer underminering under designstormen. Hvis funderingskoten designes for højt, kan der opstå mindre skade på tåen forårsaget af erosion.

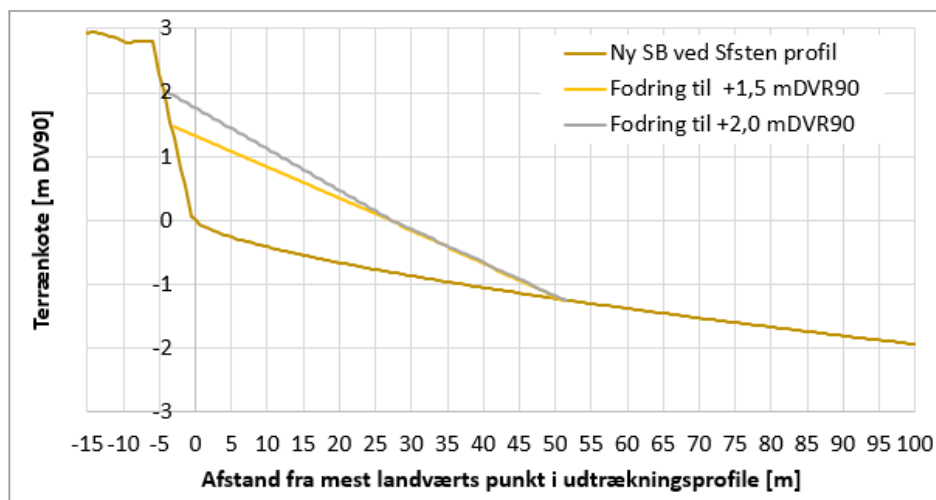
Mindre skader og underminering af tåen kan accepteres, da det ikke vil påvirke stabiliteten af selve skråningsbeskyttelsen. Mindre skader kan let repareres med flere dæksten.

## 5.9 Strandfodring

Strandfodringen udlægges så den nye vandlinje ligger foran de nuværende høfder, som dermed begraves i sand.

Sand og ral udlægges på stranden og bølgerne former herefter et nyt ligevægtsprofil, hvorved en del af sandet fra strandet transporteres ud i truget mellem revlen og stranden.

Figur 5.10: Fodringsprofiler, hvis der fodres til kote +1,5 m DVR90 og +2,0 m DVR90. Bemærk at fodringsvinklen er forskellig for de to bagstrandshøjder. Efter de første mindre storme, vil stranden se helt naturlig ud – dog med forskellig bagstrandshøjde.



Fodringsmængderne er henholdsvis 43 m<sup>3</sup>/m og 52 m<sup>3</sup>/m, hvis der strandfodres til henholdsvis kote +1,5 mDVR90 og +2,0 m DVR90.

### 5.9.1 Vedligeholdelsesfodring

Vedligeholdelsesfodringen skal modsvare det årlige nettotab af sand af ral på den pågældende fodringsstrækning, så det sikres, at der fortsat er den ønskede strandbredde og højde på stranden langs kysten.

### 5.9.2 Strandfodring mod kronisk erosion

Den kroniske erosion er ud fra beregninger af den langsgående sedimenttransport i (NIRAS, Forarbejder til Kysthelhedsplan for Strøby Egede – Strøby Ladeplads, 2020) fundet til at være 2000 – 5000 m<sup>3</sup>/år langs hele kyststrækningen fra Strøby Egede til Vejs Ende, som er cirka 6000 m lang. Som et konservativt bud fodres der mod 5000 m<sup>3</sup>. Dette giver en årlig kronisk erosion på 0,79 m<sup>3</sup>/år/m. Dog må man formode, at der er stor variation i tabet af sand fra år til år alt efter antallet og styrken af storme.

### 5.9.3 Strandfodring mod havspejlsstigning

Skråningsbeskyttelsens levetid er 50 år. Som beskrevet i (NIRAS, Forarbejder til Kysthelhedsplan for Strøby Egede – Strøby Ladeplads, 2020), forventes en havspejlsstigning på 40 cm frem til 2070, svarende til 0,8 cm/år.

Strandfodringsmængden er lig produktet af det aktive profils længde og havspejlsstigningen. Som det ses af Figur 5.8 er det aktive profils længde cirka 90 m.

Den årlige strandfodringsmængde mod havspejlsstigningerne er derfor 0,72 m<sup>3</sup>/år/m.

### 5.9.4 Strandfodring mod randeffekter

Det største tab af sand fra en fodringsstrækning forekommer ved enderne, da bølger og strøm vil udjævne foringen langs kysten.

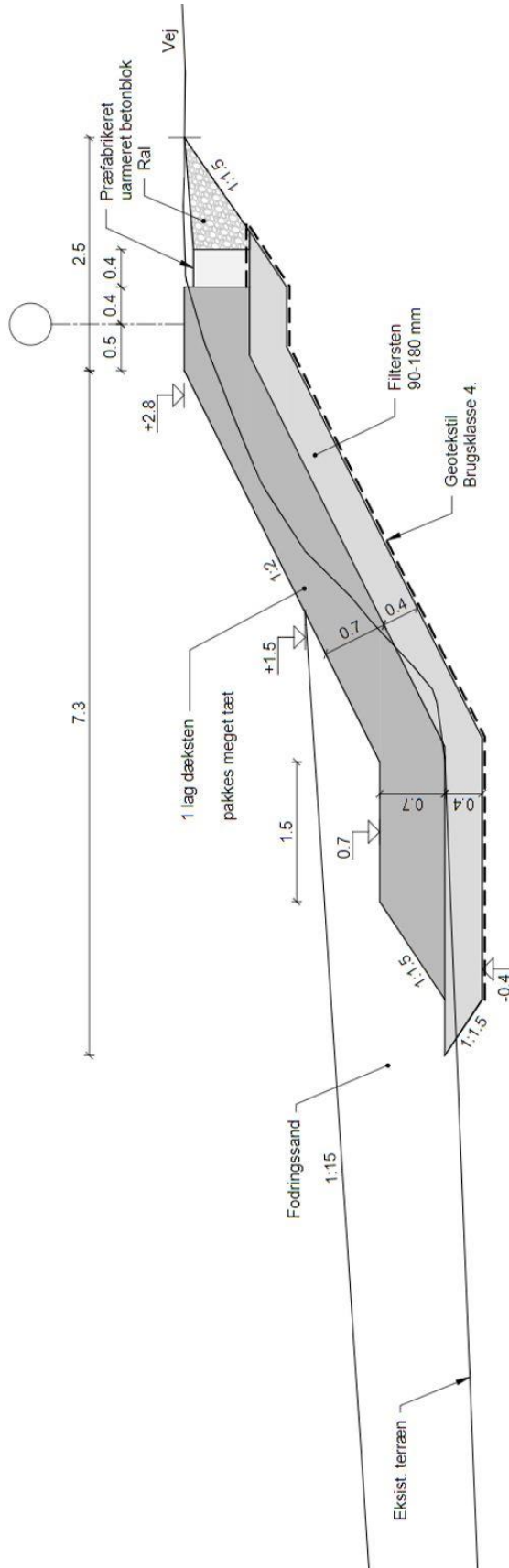
Jo kortere en strækning der fodres, des større randeffekt er der. Derfor er fodringsstrækninger under 300 m uden egentlig betydning, da randeffekten udgør over 40% af den samlede fodringsmængde for de små strækninger.

Omvendt vil lange fodringsstrækninger medføre relativt små tab som følge af randeffekter og herunder udjævning ved enderne.

## 6 Referencer

- Barbara Zanuttigh, Sara Mizar Formentin and Jentsje W. van der Meer. (2020). *The Neural Network for the design of coastal and harbour structures, ANN*. (Università di Bologna) Hentet fra <http://overtopping.ing.unibo.it/overtopping/neuronet/disclaimer/>
- CIRIA. (2007). *The Rock Manual - The use of rock in hydraulic engineering*. . CIRIA Publication. C683.
- DS EN 13383. (2003). *Tilslagsmaterialer – Vandbygningssten – Del 1: Specifikation*. Dansk Standard.
- EUROTOP. (2016). *Manual of wave overtopping of sea defences and related structures*.
- Hebsgaard, M., Sloth, P. and Juhl, J. (1998). *Wave overtopping of rubble-mound breakwaters*.
- NIRAS. (2016). *Notat: Stevns Kommune, Erosion af Kyststrækninger*.
- NIRAS. (2018). *Stevns Helhedskystplan. Inspektionsrapport*.
- NIRAS. (2020). *Forarbejder til Kysthelhedsplan for Strøby Egede – Strøby Ladeplads*.
- Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering. (12. 07 2018). *Kortforsyningen; Download; DHM/Terræn*. Hentet 12. 07 2018 fra Kortforsyningen: <https://download.kortforsyningen.dk/content/dhmterr%C3%A6n-04-m-grid>

## Appendix: Skråningsbeskyttelse i snit



**NOTE:**

Koter er i m angivet i kotesystem DVM90.  
 Ubenævnte mål er i m.  
 Koordinatsystem er UTM32

**SNIT A-A, 1:50**  
 Skråningsbeskyttelse

**HENVISNINGER:**

Placering af snit: Se tegn nr. F1\_K24\_102.

**SIGNATURER:**

----- Afsætningslinje

02	Skråningsbeskyttelse rykket 0,5 m mod havet, betegn. "Strækning A" flemet	2020-12-09	TPR	PFKL	PFKL
01	Skråningsbeskyttelse ved Strøby Egede og Strøby Ladeplads	2020-08-28	LRI	PFKL	CHLD
Udgave: <u>Belæggelse/Revision</u>		Dato	Udført	Kontrol	Godkendt
Sag: <u>Kysthedeplan Stevns Kommune</u>		Projekt nr.:	10408122		
Emne: <u>Skråningsbeskyttelse</u>		Fase:			
Snit		Tegn. nr.:	F1_K24_112_02		
Date: 2019-07-05		Udf.: SSC/LRI	Kont.:	PFKL	Gokk.: PFKL
		Mål: 1:50			



Sorlemosevej 19, 3450 Allerød  
 niras@niras.dk | +45 4810 4200