



Miljø- og  
Fødevareministeriet  
Kystdirektoratet

# Omkostningseffektiv kystbeskyttelse

## Definition og beregning af omkostningseffektiv kystbeskyttelse

Kystdirektoratet

Maj 2016

Redaktion: Kystdirektoratet

Tekst: Kystdirektoratet

Grafiker/bureau: Kystdirektoratet

Fotos: Kystdirektoratet

ISBN: 978-87-92124-13-5

# Indhold

<b>1.</b>	<b>Beregning af omkostningseffektiv kystbeskyttelse</b>	<b>4</b>
1.1	Generelt	4
1.2	Oversvømmelsesbeskyttelse	4
1.3	Erosionsbeskyttelse	6
1.3.1	Kystdynamik og virkning af passiv kystbeskyttelse	6
1.3.2	Beregning af omkostninger for hver type af erosionsbeskyttelse	7
1.4	Følsomhedsanalyse	11

# 1. Beregning af omkostningseffektiv kystbeskyttelse

## 1.1 Generelt

Ved omkostningseffektiv kystbeskyttelse forstås, at man vælger den kystbeskyttelsesmetode der minimerer de samlede omkostninger der er forbundet med at opnå et givent mål med kystbeskyttelsen – enten hindring af kysttilbagerykning ved erosion eller hindring af oversvømmelse.

For sammenligningens skyld medtages 0-alternativet, dvs. den situation hvor der ikke foretages kystbeskyttelse. På erosionskyster betyder det tab af land og for oversvømmelsestruede kyststrækninger medfører det på sigt, tab af ejendomme.

Nedenfor er de fælles principper for beregning af omkostningseffektivitet af forskellige metoder til oversvømmelsesbeskyttelse og erosionsbeskyttelse angivet:

- Anlægsudgifter ved konstruktioner bygger på estimerede standardværdier der er afhængig af kystens eksponeringsgrad.
- Vedligeholdelsesudgifter beregnes som årlig pct. af anlægsudgiften.
- Levetid på konstruktioner sættes til 25 år. Denne afhænger i virkeligheden af de fysiske forhold på kysten og graden af vedligeholdelse.
- Det antages, at værdien af de indgåede materialer efter 25 år er lig med udgiften til fjernelse af konstruktionen. Derved vil konstruktionens restværdi ved endt levetid være 0.
- Årlig diskonteringsrente er i følge Finansministeriet på 4% p.a.

Omkostninger for de forskellige kystbeskyttelsesmetoder beregnes som de kapitaliserede udgifter over en periode, der svarer til de 25 år, som konstruktionernes levetid er sat til.

I afsnit 1.2 redegøres for beregning af omkostningseffektiv oversvømmelsesbeskyttelse samt de specifikke forudsætninger for resultatet og i afsnit 1.3 tilsvarende for erosionsbeskyttelse.

Der tages ikke højde for klimaændringer i beregningerne.

## 1.2 Oversvømmelsesbeskyttelse

Der findes i princippet to metoder til beskyttelse mod oversvømmelse – diger og lodretstående mure/vægge. Mobile løsninger falder i denne sammenhæng uden for kategori, da der her også indgår beredskabsmæssige aspekter. Havne er ikke medtaget som oversvømmelsesbeskyttelse, da dette ikke er deres primære funktion. Sluser i diger m.v. er af samme grund ikke medtaget, fordi det primære mål for den overvejende del af sluserne i Danmark er udledning af åvand gennem konstruktionen til oversvømmelsesbeskyttelse.

Diger etableres, hvor de fysiske rammer er til stede – dette sker dels med en kystteknisk og dels med en landskabsmæssig begrundelse. I byrum og steder, hvor pladsforholdene er mindre, etableres i stedet lodretstående mure/vægge som oversvømmelsesbeskyttelse. De fysiske pladsforhold det givne sted afgør således om der etableres et dige eller en lodretstående

mur/væg. Der skal således ikke foretages et teknisk valg mellem de to metoder. Der er ikke forskel på den grundliggende effekt af de to metoder.

I nedenstående beregning er omkostningseffektivitet beregnet ud fra en digeløsning. Diger er i princippet en helhedsløsning, idet et rigtigt projekteret dige beskytter hele det lavtliggende område mod oversvømmelse. Diger ligger ofte foran kystnære sommerhusområder, hvorfor der i 0-alternativet tages udgangspunkt i sommerhuse.

I nedestående tabel er omkostningen beregnet i kroner per løbende meter strækning (l/m) for forskellige eksponeringsgrader.

Omkostning	Eksponeringsgrad		
	<i>Lille</i>	<i>Moderat</i>	<i>Stor</i>
Anlæg (kr/l/m)	12.000	19.800	26.400
Vedligeholdelse (kr/l/m/år)	360	590	790
Omkostning (kr/l/m)	17.600	29.000	38.700

Tabel 1 Anlægs- og vedligeholdelsesudgifter for diger iflg. (DHI,2015), prisniveau 2015

Ved 0-alternativet forudsættes oversvømmelserne i løbet af en 25-årig tidshorizont at være sket gentagne gange, så ejendommene bliver opgivet. I beregningerne er dette medtaget som et tab svarende til nuværende ejendomsværdier.

Det lavtliggende område kan have forskellig geometri, men har naturligvis en udstrækning ud mod havet. Derfor kan der være områder, hvor et større område kan beskyttes med et relativt kort dige. I andre områder ligger ejendommene i en smal bræmme langs med kysten. Her fordres et relativt langt dige. Forholdet mellem det beskyttede areal A og nødvendig længde L af diget spiller hermed ind i omkostningsberegningen. Ud fra et udpluk af lavtliggende sommerhusområder langs kysterne synes et A/L-forhold, som varierer mellem 200 og 600, at være relevant.

Omkostningerne forbundet med 0-alternativet er angivet i tabel 2 for forskellige eksempler på ejendomsværdier og A/L-forhold. Det antages i beregningen, at arealet af en sommerhusgrund er 1.000 m<sup>2</sup> og digelængden er 2.000 m. Resultatet i sidste kolonne skal læses som tabet per løbende meter dige.

Ejendomsværdi	A/L	Areal A	Antal		Tab	
			ejendomme			
<i>kr</i>	<i>m</i>	<i>m<sup>2</sup></i>	<i>stk.</i>	<i>mio. kr</i>	<i>kr/l/m</i>	
1.000.000	200	400.000	400	400	200.000	
	600	1.200.000	1200	1.200	600.000	
4.000.000	200	400.000	400	1.600	800.000	
	600	1.200.000	1200	4.800	2.400.000	

Tabel 2 Omkostninger ved 0-alternativet.

Sammenlignes omkostninger til kystbeskyttelse i tabel 1 med tabet ved oversvømmelse i tabel 2 ses, at omkostningerne ved at anlægge og vedligeholde et dige vil være lavere end omkostningerne ved en oversvømmelse.

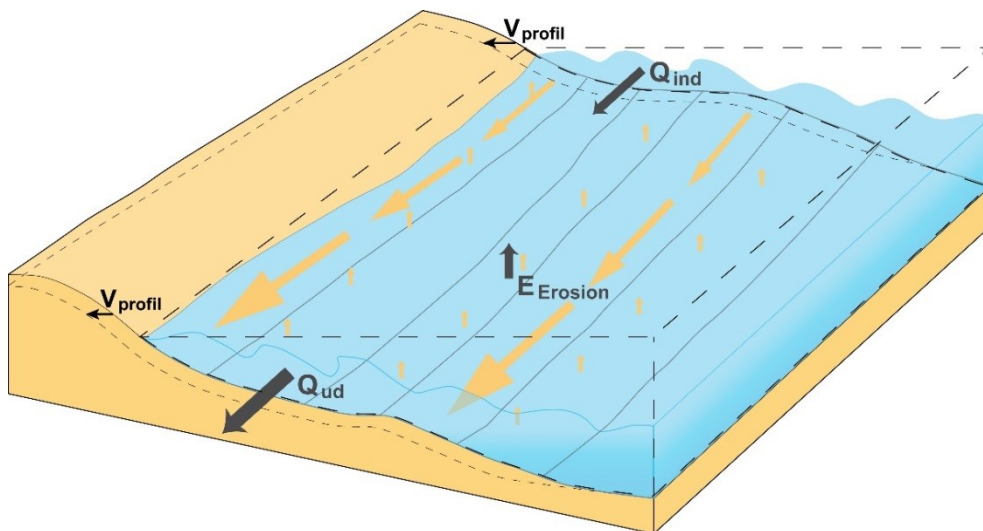
### 1.3 Erosionsbeskyttelse

Erosionsbeskyttelse kan enten ske vha. passive eller aktive metoder. De passive metoder omfatter etablering af en konstruktion som høfder, bølgebrydere eller skråningsbeskyttelse. Aktive metoder omfatter regelmæssig tilførsel af sand til kysten (kystfodring). Formålet hermed er at standse kysttilbagerykningen (erosionen) på den pågældende strækning.

I afsnit 1.3.1 er de morfologiske forudsætninger for beregningerne angivet, medens beregningerne er foretaget i afsnit 1.3.2

#### 1.3.1 Kystdynamik og virkning af passiv kystbeskyttelse

På en ubeskyttet erosionsstrækning sker der ikke kun tilbagerykning af kystlinjen, men i hele kystprofilen fra klittop til aktiv dybde. Der sker jævn tilbagerykning over hele profilet  $v_{profil}$ , såfremt der er tale om et såkaldt ligevægtsprofil, se figur 1.



Figur 1 Erosion og profiltilbagerykning på en naturlig kyst (øverst), og på en kyst med bølgebrydere (nederst)

Forståelsen for at sedimentbudgettet er afgørende for valg af metode til at standse kysttilbagerykningen.

Kysterosion skyldes grundlæggende, at størrelsen af den langsgående transport af sand vokser langs den pågældende kyststrækning. Denne afhænger af det indkommende bølgeklima på den pågældende sektion af kysten og kan derfor variere langs strækningen.

Indlægges en imaginær kasse på kysten med erosion er den mængde sand, der kommer ind i kassen  $Q_{ind}$  på en erosionskyst således mindre end den mængde, der kommer ud af kassen  $Q_{ud}$ , se figur 1. Dette opvejes ved, at der tilføres sand fra erosion  $E_{erosion}$  af kystprofilet fra selve strækningen, dvs:

$$Q_{ud} = Q_{ind} + E_{erosion}$$

Hvis der etableres passiv kystbeskyttelse på strækningen, eksempelvis en række bølgebrydere, se figur 1, så reduceres den indkommende bølgeenergi i den del af kystprofilet, der ligger bag bølgebryderrækken. Derved reduceres tilbagerykningen her. Kystprofilet udenfor fortsætter dog med at rykke ind.

Lægges den samme imaginære kasse ind over kysten vil  $Q_{ind}$  og  $Q_{ud}$  have samme størrelser som før, da de kun afhænger af den indkommende bølgeenergi. Der vil ske reduceret erosion,  $E_{bølgebryder}$ , langs den beskyttede kyststrækning. Da erosionen på den samlede strækning  $E$  er den samme, vil der så ske øget erosion,  $E_{læside}$ , på nedstrøms læsidedstrækning:

$$Q_{ud} = Q_{ind} + E_{bølgebryder} + E_{læside}, \text{ hvor } E_{erosion} = E_{bølgebryder} + E_{læside}$$

Den beregnede erosion fordeles jævnt langs den aktive del af kystprofilen og kan dermed udtrykkes som et arealtab.

### 1.3.2 Beregning af omkostninger for hver type af erosionsbeskyttelse

Sammenligningen mellem de enkelte metoder sker ved at sammenholde de samlede omkostninger til anlæg og vedligeholdelse for at undgå kysttilbagerykning på en given strækning. Passive metoder medfører reduceret tilbagerykning på den beskyttede strækning eller standning af tilbagerykning (skråningsbeskyttelse), men har den negative effekt, at de forårsager forøget erosion på nabostrækninger. For at kunne sammenligne de forskellige kystbeskyttelsesmetoder med hinanden bør tab af grundværdier derfor medtages – både på den beskyttede grund og på nabostrækningen. De samlede omkostninger opgøres herefter og sammenlignes. Nedenfor beskrives principperne – ud over de fælles principper angivet i afsnit 1.1 – for beregning af omkostningseffektiviteten.

- Fodringsbehovet beregnes som produktet af tilbagerykningshastigheden, aktiv profilhøjde (den del af kystprofilen, der rykker tilbage) og strækningens længde.
- For sammenligningens skyld skal fodringsudgiften beregnes over samme antal år som en given konstruktions levetid på 25 år.
- Arealstab. Dette opgøres ved hjælp af et opstillet sedimentbudget for kyststrækningen. Pris for arealtab beregnes ud fra den offentlige grundværdi. Der differentieres ikke mellem beskyttede grunde og nedstrøms arealer.

Der ligger en lang række forudsætninger til grund for beregningen af de samlede omkostninger ved de forskellige former for erosionsbeskyttelse.

I rapporten om kystdynamik og kystbeskyttelse (DHI, 2015) arbejdes med kyster med forskellige eksponeringsgrader. Eksponeringsgraden har indflydelse på den hydrauliske påvirkning, som så har betydning for dimensioner og udgifter til kystbeskyttelse. I rapporten er angivet en række parametre, som anvendes som forudsætning i de videre beregninger.

I Tabel 1 er de forskellige parametre, der benyttes i beregningerne, angivet med kildehenvisning. De forudsætninger, som ikke er beskrevet i andre baggrundsnotater, bygger på Kystdirektoratets viden, indhentet gennem mange års erfaring med kystbeskyttelse i Danmark.

Omkostninger til fodring bygger på det beregnede fodringsbehov med udgangspunkt i morfologien. I beregningerne benyttes strandfodring. Dette er ganske vist den dyreste fodringsmetode, at beskytte kysten med. Den væsentligste årsag til at benytte den i beregningerne er en vurdering af, at grundejerne ved valg af kystfodringsmetode ønsker at opleve en direkte forstærkning af stranden.

Emne	Parameter	Fælles	Eksponeringsgrad			Kilde
			Lille	Moderat	Stor	
Morfologi	Klit-/skrænttop	4 m				
	Gns. tilbagerykningshastighed		0,1 m/år	0,2 m/år	0,4 m/år	DHI
	Aktiv dybde		1,5 m	3 m	4 m	DHI
Bølgebrydere	Anlægsudgift		190.000 kr./stk.	1.280.000 kr./stk.	2.400.000 kr./stk.	DHI
	Anlægsdybde, kote		+ 0,7 m	+ 1,5 m	+ 2,0 m	DHI
	længde/afstand		20/25 m	64/80 m	100/125 m	DHI
	Reduktionsfaktor	0,5				KDI
Høfder	Anlægsudgift		190.000 kr./stk.	1.340.000 kr./stk.	2.340.000 kr./stk.	DHI
	Anlægsdybde, kote		+ 0,7 m	+ 1,5 m	+ 2,0	DHI
	Indbyrdes afstand		60 m	200 m	300 m	DHI
	Reduktionsfaktor	0,5				KDI
Skråningsbeskyttelse	Anlægsudgift		6.800 kr./lbm	13.500 kr./lbm	23.000 kr./lbm	DHI
	Kote ved skråningsfod		0,0 m	+ 0,5 m	+ 1,0 m	DHI
	Reduktionsfaktor*	1,0				KDI
Strandfodring	Mobilisering fodringsmateriel	700.000 kr.				KDI
	Enhedspris	60 kr./m <sup>3</sup>				KDI
	Fodringsfrekvens		10 år	6 år	3 år	KDI
Økonomi	Vedligeholdelsesomkostninger	2 % af anlægsudgiften				KDI

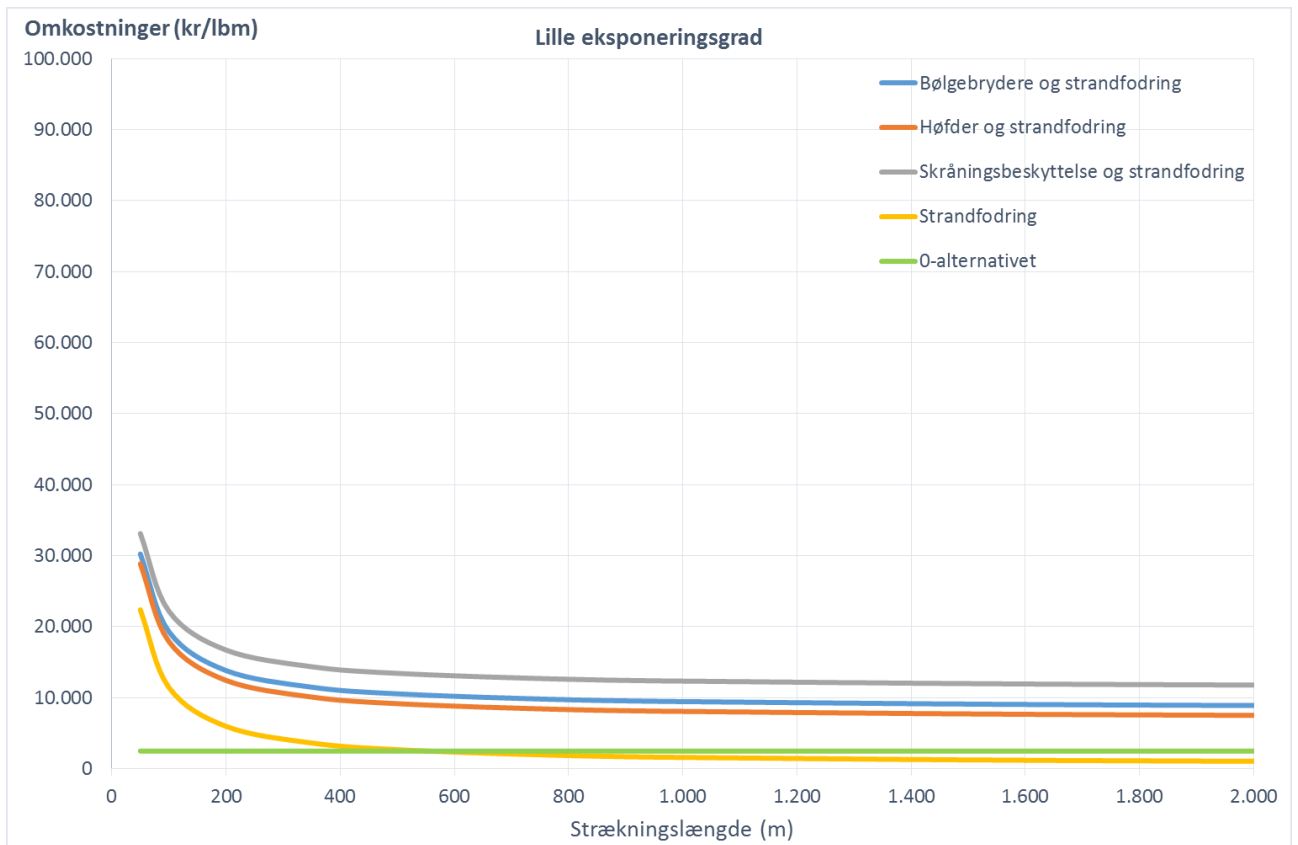
Tabel 3 beregningsforudsætninger. \* reduktionsfaktoren gælder kun den del af kystprofilen, der beskyttes

På grundlag af ovennævnte forudsætninger er der foretaget beregninger af omkostningseffektiviteten af de forskellige metoder til erosionsbeskyttelse. For at kunne standse kysttilbagerykningen skal hver af de passive erosionsbeskyttelsesmetoder, kombineres med strandfodring. Strandfodringsmængden er svarende til mængden ved udelukkende at anvende strandfodring som erosionsbeskyttelse.

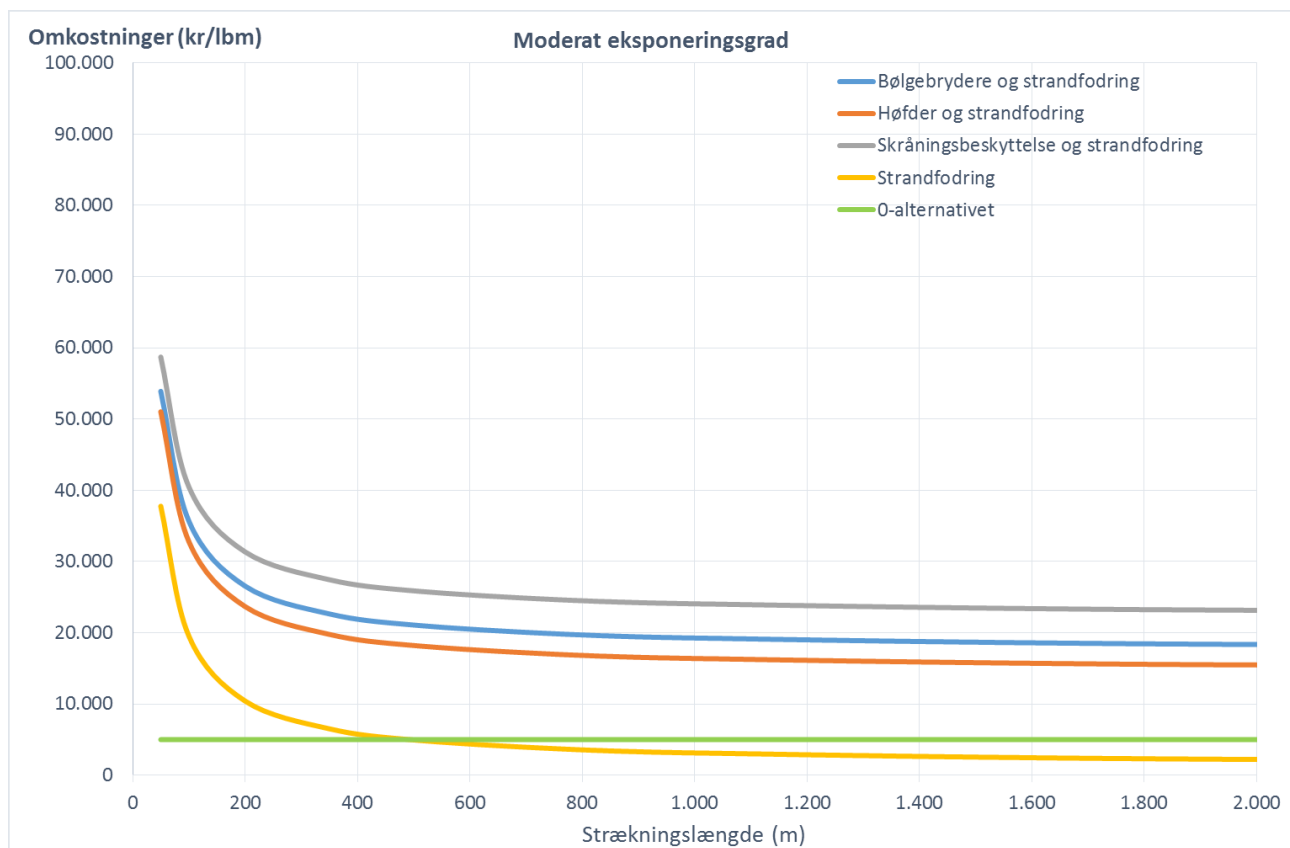
Der er foretaget en sammenligning af omkostningseffektivitet beregnet som omkostninger pr. løbende m kysttrækning for forskellige længder kyststrækning, se Figur 2 - Figur 4.

Beregningsen viser, at strandfodring altid vil være den mest omkostningseffektive erosionsbeskyttelse. Endvidere kan det ses, at erosionsbeskyttelse bør udføres over strækninger på mindst 300 m af hensyn til at reducere omkostningerne pr. m. Er den beskyttede strækning af en vis udstrækning vil strandfodring også være mere omkostningseffektiv end 0-alternativet.

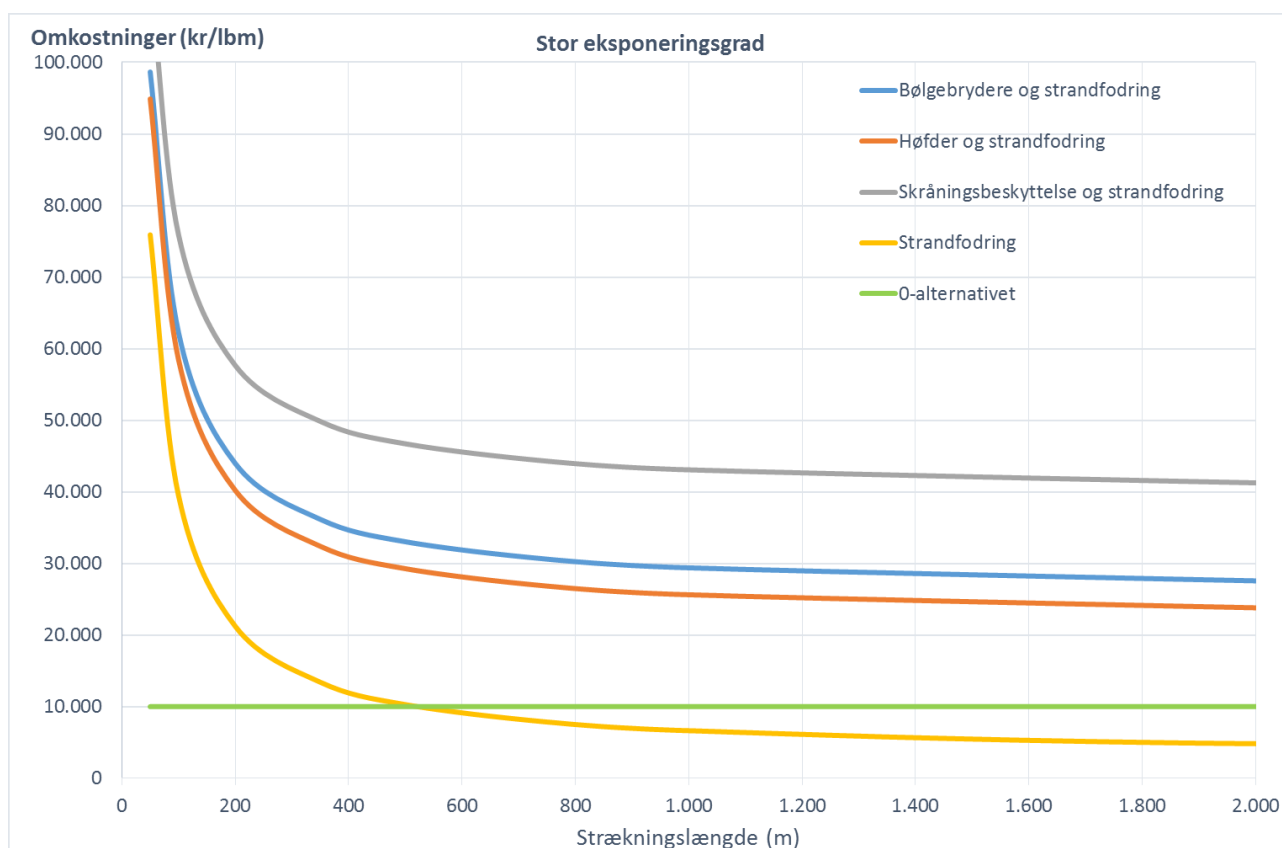




**Figur 2 Omkostninger til kystbeskyttelse som funktion af strækningslængde på en kyst med lille eksponeringsgrad**



**Figur 3 Omkostninger til kystbeskyttelse som funktion af strækningens længde på en kyst med moderat eksponeringsgrad**



**Figur 4 Omkostninger til kystbeskyttelse som funktion af strækningsslængde på en kyst med stor eksponeringsgrad**

## 1.4 Følsomhedsanalyse

Der er udover de præsenterede beregninger gennemført en række beregninger for at undersøge følsomheden i forhold til en række af forudsætningerne.

For strandfodring er der undersøgt 3 forskellige niveauer for omkostninger, hvor mobilisering står for opstart og nedlukning af strandfodringen. Disse fremgår af Tabel 4

	Mobilisering kr.	Enhedspris kr./m <sup>3</sup>	Bemærkninger
Strandfodring I	700.000	60	De to sidste udgiftsniveauer medtaget for at undersøge betydningen af dyrere fodringspriser end Strandfodring I, som står for det centrale estimat på indre kyster
Strandfodring II	800.000	100	
Strandfodring III	1.000.000	120	

Tabel 4 Forskellige enhedspriser på strandfodring

Forhøjelsen af mobiliseringsomkostningerne for strandfodring betyder, at skæringspunkterne i figurene mellem strandfodring og 0-alternativet forskydes, således, at der skal en væsentlig længere kyststrækning til for at strandfodring vil være mere omkostningseffektiv end 0-alternativet.

En forhøjelse af skrænttoppen til eksempelvis kote +15 m betyder, at skæringspunkterne mellem strandfodring og 0-alternativet forskydes mod højre, således, at der skal en væsentlig længere kyststrækning til for at strandfodring vil være mere omkostningseffektiv end 0-alternativet. For strandfodring II og strandfodring III nås denne grænse ikke.

Ændring af vedligeholdelsesomkostningerne til 0,5 % årligt eller en forøgelse af reduktionsfaktoren for høfder samt bølgebryder betyder begge, at omkostningerne til de passive metoder bliver mindre, men det har ingen indflydelse på det overordnede resultat.





Kystdirektoratet  
Højbovej 1  
7620 Lemvig

[www.kyst.dk](http://www.kyst.dk)