



# KYSTSIKRING HALSNÆS FORSYNING

## MAJ 2022

Projekt navn	Halsnæs Forsyning - Kystsikring
Kunde	Halsnæs Forsyning
Projektleder	Lars Brammer Nejrup
Projekt nummer	2403022000674
Til	Nicole Madsen
Udarbejdet af	Sebastian Westh
Kvalitetssikret af	Anders Jensen
Godkendt af	Lea Bjerre Schmidt
Version	1.0
Versionsdato	02-05-2022
Første udgivelsesdato	

# INDHOLD

1	INDLEDNING .....	4
2	HOVEDPUNKTER FRA NOTAT 2019 .....	5
3	KYSTUDVIKLING SIDEN 2019 .....	6
4	LØSNINGSFORSLAG .....	9
4.1	Løsning 1 - Sandfodring .....	9
4.2	Løsning 2 - Bølgebrydere .....	10
4.3	Løsning 3 – Sikring af ledning .....	10
4.4	Løsning 4 – Bølgebrydere og sikring af ledning	11
5	ANBEFALINGER .....	12
6	BILAG .....	13
6.1	Løsning 1 – Sandfodring .....	13
6.2	Løsning 2 – Bølgebrydere .....	13
6.3	Løsning 3 – Sikring af ledning .....	14
6.4	Løsning 4 – Sikring af ledning og bølgebrydere	15

# 1 INDLEDNING

Halsnæs Forsyning ønsker at beskytte en forsyningsledning, der ligger placeret på stranden ud for Lynæs Camping syd for Hundested Havn. WSP (førhen Orbicon) har tidligere rådgivet og lavet løsningsforslag i forbindelse med kystsikring af forsyningsledningen, der resulterede i et notat fra juni 2019. Med afsæt i løsningsforslagene blev der i januar 2021 etableret en udbygning af allerede eksisterende bølgebrydere samt sandfodret med 4000 m<sup>3</sup> på stranden.

Forsyningsledningen er efterfølgende blevet blotlagt pga. erosion af stranden som følge af stormen Malik i januar 2022. Denne gang er den blotlagte del af forsyningsledningen umiddelbart nord for det område, som var det primære fokus i forbindelse med de forrige løsningsforslag.

Dette notat har til formål at afhjælpe problemstillingen ved at

- skitsere hovedpunkterne fra notatet fra 2019,
- analysere kystens udvikling siden 2019 samt påvirkningen af stormen Malik,
- og udarbejde reviderede løsningsforslag med henblik på sikring af forsyningsledningen.



**Figur 1. Dronefoto fra marts 2022 med markering af ny blotlægning af ledningen samt udbedringer og sandfodring udført i januar 2021.**

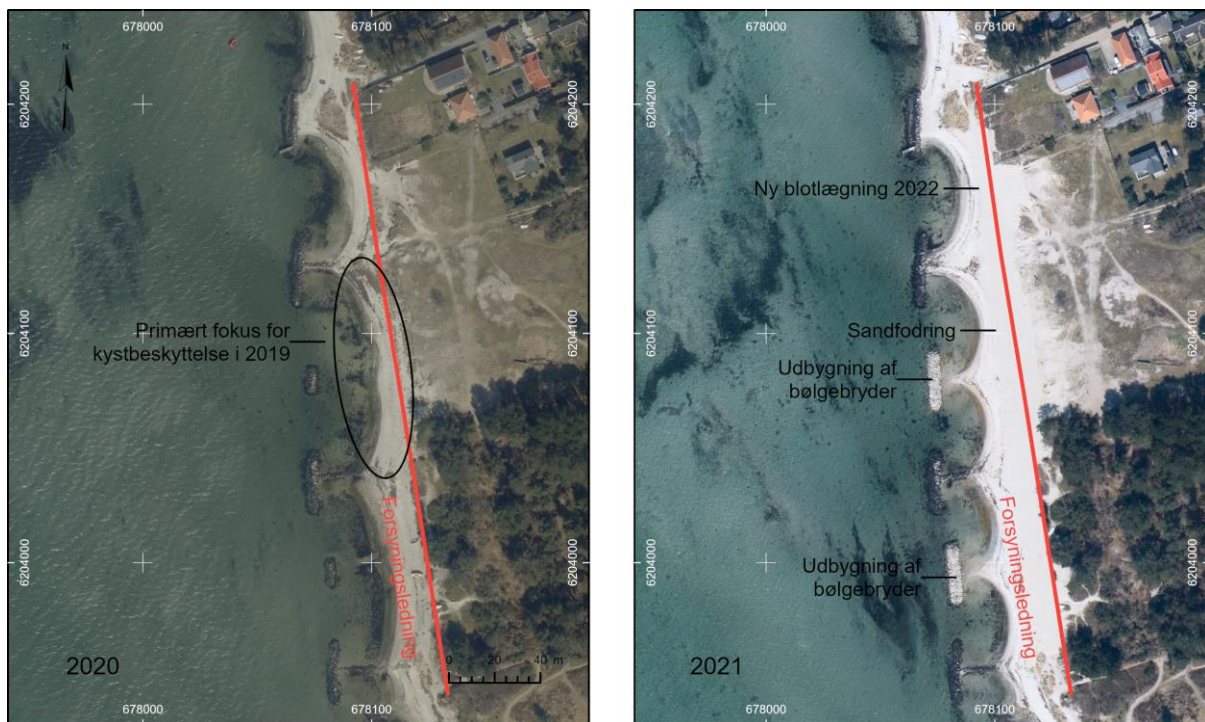
## 2 HOVEDPUNKTER FRA NOTAT 2019

De eksisterende forhold blev analyseret og hovedpunkterne herfra fremgår herunder.

- Området har størstedelen af året en lille til moderat eksponeringsgrad beliggende mere eller mindre beskyttet i Isefjord.
- Dog er der under visse stormsituationer en positiv sammenhæng mellem højevande og bølger fra nordvest, der medfører at kysten udsættes for en stor eksponeringsgrad, der kan medføre akut erosion.
- Den dominerende sydgående materialevandring medfører meget begrænset eller ingen kronisk erosion.
- Der er kun begrænset eller ingen naturlig tilførsel af sediment.
- Der er en vandstandsstigning på ca. 0,5 mm/år.
- Kystlinjen har varieret med 12 m siden 1954 med både frem- og tilbagerykninger.
- Der blev observeret en tilbagerykning på op til 9 m under stormen Bodil.
- Fra 2007 til 2015 blev der eroderet ca. 1000 m<sup>3</sup> for hele stranden over en ca. 250 m lang strækning, hvor størstedelen med stor sandsynlighed skyldes stormen Bodil.
- De gamle bølgebrydere har medvirket til delvist at nedsætte erosionen ved forsyningsledningen, når der sammenholdes med kyststrækningen sydpå, hvor der ikke er kystbeskyttelse.

### 3 KYSTUDVIKLING SIDEN 2019

Siden undersøgelserne i 2019 er to bølgebrydere blevet udvidet og hævet, og der er blevet sandfodret med 4000 m<sup>3</sup> på stranden primært i den centrale del af Fig. 2 mellem bølgebryderne og klitten. Det område, som var det primære fokus at beskytte, hvor forsyningsledningen var mest sårbar, har under stormen Malik i januar 2022 vist sig at kunne stå imod den akutte erosion. Derimod er forsyningsledningen under stormen blevet blottlagt i den nordlige del, hvor bølgebryderne ikke blev udbedret og der kun blev sandfodret en mindre mængde. Forsyningsledningen er nu her sårbar over for fremtidige storme, og der er øget risiko for at ledningen kan blive undermineret.



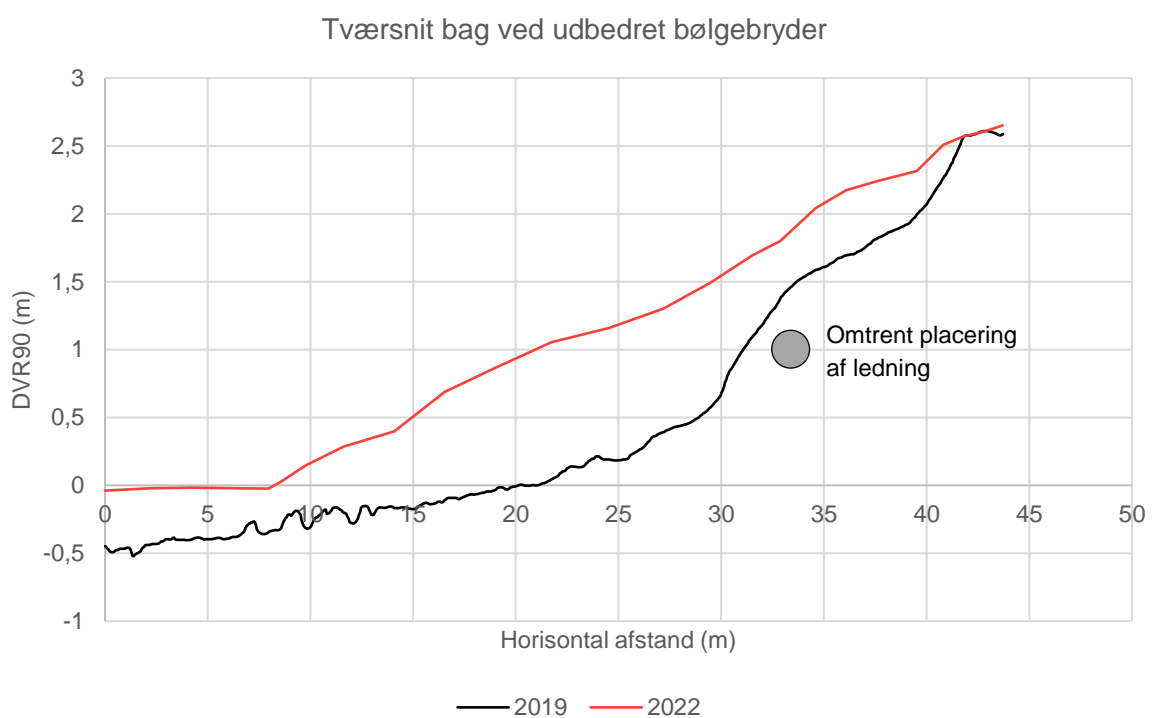
Figur 2. Kort over området der viser udbedringer og sandfodring fra 2020 til 2021.





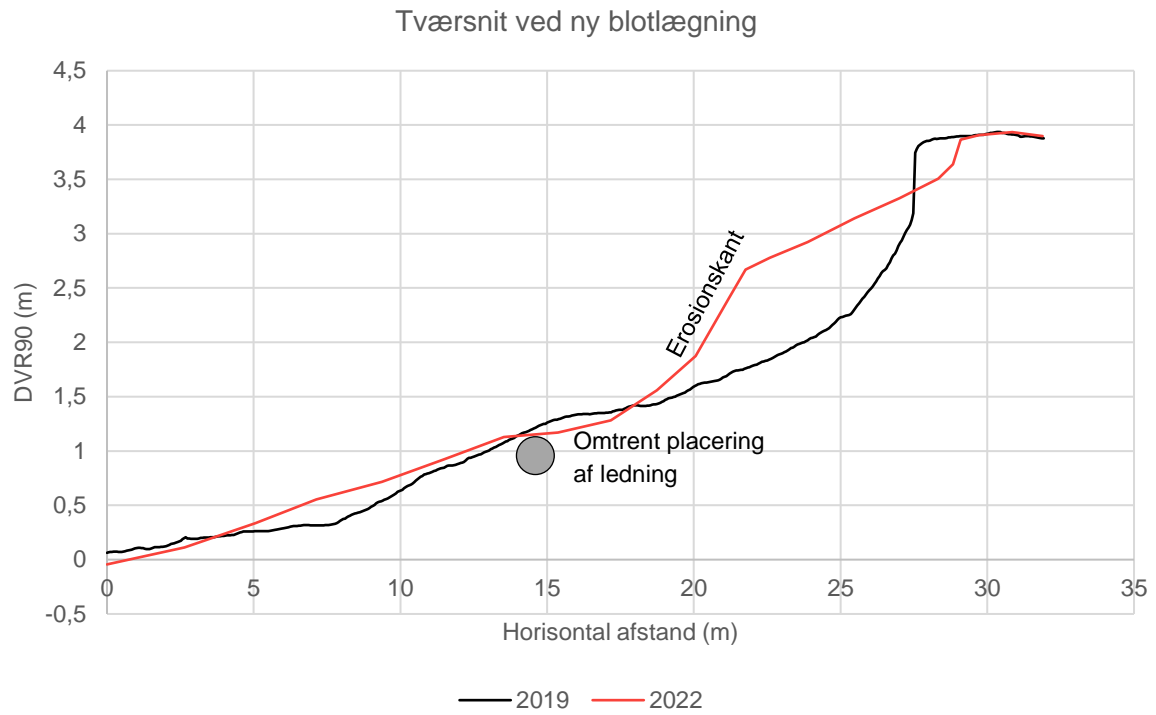
**Figur 3. Billede af hvor ledningen blev blotlagt under stormen Malik i januar 2022, som dog ved besigtigelsen i marts 2022 igen var dækket af sand. Der ses en tydelig erosionskant på den bagerste del af stranden.**

Fig. 4 viser at området, der primært var under fokus i sidste undersøgelse på nuværende tidspunkt (april 2022) har tilstrækkeligt med sand på stranden fra sandfodringen til at fungere som en buffer i tilfælde af fremtidige storme.



**Figur 4. Tværsnit for området bag ved udbedret bølgebryder.**

Fig. 5 viser at området, hvor ledningen nu er blevet blotlagt, har mindre sand, der skal beskytte mod storm. Der blev her sandfodret en mindre mængde, som til dels er blevet eroderet under stormen Malik, der har efterladt en erosionskant.





## 4 LØSNINGSFORSLAG

Der foreslås fire løsningsforslag, der omfatter varierende grad af sandfodring og forskellige hårde kystsikringsmetoder. Løsningerne er udtænkt i samarbejde med Halsnæs Forsyning.

- 1) Nul-scenarie med fortsat sandfodring
- 2) De to eksisterende bølgebrydere foran den blotlagte ledning udvides og hæves plus der sandfodres
- 3) Ledningen sikres ved at der laves stenkastning med sandoverdækning plus der sandfodres
- 4) Løsning 2 og 3 samles

**Tabel 1. Oversigt over løsningsforslag**

	Løsning 1	Løsning 2	Løsning 3	Løsning 4
<b>Type</b>	Sandfodring	Bølgebrydere	Sikring af ledning	Bølgebrydere og sikring af ledning
<b>Anlægsomkostning</b>	150.000 kr.	700.000 kr.	3.300.000 kr.	3.840.000 kr.
<b>Årlig driftsomkostning</b>	30.000 kr.	15.000 kr.	30.000 kr.	15.000 kr.
<b>Omkostning de første 10 år</b>	450.000 kr.	850.000 kr.	3.600.000 kr.	3.990.000 kr.
<b>Relativt beskyttelsesniveau</b>	Lavt	Moderat	Højt	Meget højt
<b>Initialfodring [m<sup>3</sup>]</b>	500	500	4640	4640
<b>Vedligeholdelsesfodring [m<sup>3</sup>/m/år]</b>	0,4	0,2	0,4	0,2
<b>Forventet levetid</b>	~30 år	~100 år	~100 år	~100 år
<b>Projektets nettonutidsværdi efter 100 år</b>	1.075.000 kr.*	1.105.000 kr.	4.050.000 kr.	4.140.000 kr.

Se bilag for detaljeret oversigt.

\*Med forventning om fortsættelse efter 30 år.

### 4.1 LØSNING 1 - SANDFODRING

Løsning 1 indebærer en fortsættelse af den nuværende situation, hvor der kan sandfodres løbende efter behov. Denne løsning omfatter ikke yderligere hårde kystsikringsanlæg.

Det anbefales at der initialfodres med 500 m<sup>3</sup> mellem de to bølgebrydere, hvor ledningen er blevet blotlagt.

Med udgangspunkt i observerede erosionsmængder estimeres det, at der uden yderligere kystbeskyttelsesforanstaltninger er behov for en løbende vedligeholdelsesfodring på 0,4 m<sup>3</sup>/m/ år på den øvre del af stranden, der skal fungere som en buffer ved storm. Sandfodringer kan foretages f.eks. hvert femte år, som på en strækning over 250 m vil give en fodringsmængde på 500 m<sup>3</sup>. I praksis vil det give mening at fodre efter behov typisk efter større storme, hvor der er blevet eroderet materiale. De reelle fodringsmængder, det kræves for at beskytte ledningen kan dog variere fra det anbefalede.

Løsning 1 er den af de fire løsninger, der har det laveste beskyttelsesniveau, men er den løsning der arbejder bedst med kystens naturlige dynamikker. Derudover øger sandfodringen strandens rekreative værdi.

Forventet levetid af løsning 1 estimeres til ca. 30 år, hvorefter det vurderes, at kystsikringen skal tages op til revurdering. De 30 år bygger i højere grad på et valg taget af bygherre end på en egentlig levetid som sådan. Det skal mere forstås som en tidshorizont for projektet, og hvad der forventes af sikringen. I dette tilfælde, hvor løsningen er sandfodring og ikke et anlæg, kan det argumenteres for at levetiden er længere end de 30 år, så længe der blot fortsættes med sandfodring.

---

## 4.2 LØSNING 2 - BØLGEBRYDERE

Løsning 2 indebærer en udbedring af de to bølgebrydere, der ligger kystværts for den nyligt blotlagte ledning. Udbedringen består i at bølgebryderne forhøjes fra ca. 0,8 m til 1,5 m DVR90 samt at de udvides, så afstanden imellem dem er ca. 20 m, som resten bølgebryderne syd herfor. Dette medfører en horisontal udvidelse på ca. 5 m for hver af bølgebryderne.

Løsning 2 vurderes til at have et moderat beskyttelsesniveau. En udbedring af bølgebryderne reducerer den akutte erosion umiddelbart landværts for bølgebryderen, men erosionen imellem bølgebryderne reduceres ikke væsentligt. En hævnning af bølgebryderne medfører dog at bølgeenergi i langt mindre grad vil ramme stranden i tilfælde af højvande i forhold til den nuværende situation, hvor en væsentlig del af bølgeenergien på nuværende tidspunkt kan fortsætte hen over bølgebryderen med en højde på 0,8 m i en situation, hvor vandstanden kan komme op omkring 1,5 m DVR90. Derudover vil en udbedring af bølgebryderne medføre at løbende vedligeholdelsessandfodringer i mindre grad eroderes bort.

Det anbefales at der initialfodres med 500 m<sup>3</sup>. Med udgangspunkt i at erosionsraten typisk reduceres med 50 % vurderes det at der er behov for en løbende vedligeholdelsessandfodring på 0,2 m<sup>3</sup>/m/år.

Løsning 2 giver et moderat beskyttelsesniveau af forsyningsledningen, da bølgeenergien bliver reduceret, men det må stadig forventes at der skal udføres sandfodringer løbende.

Generelle ulemper ved bølgebrydere er at der kan forekomme øget erosion nedstrøms, såkaldt læsideerosion. Derudover forringer bølgebryderne strandens æstetiske værdi og bølgebryderne kan skabe et stejlere og dybere profil søværts. Disse ulemper er dog ikke så udtalte, da der allerede er etableret bølgebrydere på strækningen og der kun vil ske en udvidelse af de eksisterende.

Levetiden for løsning 2 estimeres til ca. 100 år, da der er tale om hårde konstruktioner med udgangspunkt i at der vedligeholdelsessandfodres.

---

## 4.3 LØSNING 3 – SIKRING AF LEDNING

Løsning 3 indebærer en sikring med stenkastning rundt om forsyningsledningen både på den søværts og landværts side. Sikringen involverer en stenkastning langs hele strækningen, hvor ledningen ligger ud til kysten. Topkoten af sikringen placeres i kote 3 m. Efter dialog med Kommunen er det givet, at der vil komme krav om konstant sandoverdækning af stenkastningen.

Der vil i forbindelse med en løsning 3 være behov for en relativt stor initialfodring på ca. 4600 m<sup>3</sup>, hvis stenkastningen ønskes fuldt dækket. Det estimeres at der er behov for vedligeholdelsesfodringer af 0,4 m<sup>3</sup>/m/år. Sandfodringer kan f.eks. udføres hvert femte år som på den 250 m lange strækning vil give 500 m<sup>2</sup>.

En sikring af ledningen som beskrevet oven for vurderes til at have et højt beskyttelsesniveau, da stenkastningen vil kunne beskytte ledningen mod erosion og underminering i tilfælde af stormflod selv hvis sandet kystværts for ledningen bortroderes.

Ulemper ved denne løsning er bl.a. at stenkastningen skal holdes skjult, hvilket kan være et problem med sandfygning og generel færdsel hen over sanddækningen, der vil kunne erodere og flytte sandet. Det vil kræve at anlægget jævnligt besigtiges for at opretholde kommunens krav om overdækning.

Levetiden for løsning 3 estimeres til ca. 100 år, da der er tale om hårde konstruktioner med udgangspunkt i at der vedligeholdelsesfodres.

---

## 4.4 LØSNING 4 – BØLGEBRYDERE OG SIKRING AF LEDNING

Løsning 4 indebærer en samlet løsning, hvor løsning 3 og 4 kombineres. Denne løsning sikrer et meget højt beskyttelsesniveau.

Grundet etablering af bølgebryderne estimeres det at der er behov for en vedligeholdelsesfodring på 0,2 m<sup>3</sup>/m/år.

Levetiden for løsning 4 estimeres til ca. 100 år, da der er tale om hårde konstruktioner med udgangspunkt i at der vedligeholdelsesfodres.

## 5 ANBEFALINGER

Udbedringen i 2021 af bølgebrydere og sandfodring har medført at ledningen i højere grad er beskyttet mod underminering og erosion. Dog er der behov for en løsning i den nordlige del af strækningen.

En sikring af ledningen som i løsning 3 og 4 vil give det højeste beskyttelsesniveau, men resulterer sig også i en væsentligt højere anlægsomkostning. På baggrund heraf samt taget de observerede forhold på kysten i betragtning anbefales det at Halsnæs Forsyning benytter sig af løsning 1 eller 2.

Løsning 1, hvor der fortsættes med sandfodring, har den fordel at sandmængden kan justeres i forhold til behov, men det må forventes at der løbende skal sandfodres.

Løsning 2 med bølgebrydere reducerer bølgeenergien, der hvor ledningen for nyligt blev blotlagt, og det forventes, at vedligeholdelsesfodringer kan mindskes.

Overordnet er der tale om en kyststrækning, som er meget "event" styret af storme som Bodil og Malik. Hvis Halsnæs Forsyning ønsker at minimere omkostningerne og følge kystens udvikling løbende er løsning 1 at foretrække, mens hvis der ønskes et lidt højere beskyttelsesniveau er løsning 2 at foretrække.

## 6 BILAG

### 6.1 LØSNING 1 – SANDFODRING

	Beskrivelse	Længde m	m3 per m	Enhedspris per m3	Total
Anlægsomkostning	Initialfodring	50	10	200 kr.	100.000 kr.
	Tillæg for anstilling, drift og afrigning			15%	15.000 kr.
	<i>Delsum</i>				115.000 kr.
	Tillæg for uforudseelige udgifter			30%	34.500 kr.
<b>SUM</b>					<b>149.500 kr.</b>

Driftsomkostning årligt	Vedligeholdelsesfodring	250	0,4	200 kr.	20.000 kr.
	Tillæg for anstilling, drift og afrigning			15%	3.000 kr.
	<i>Delsum</i>				23.000 kr.
	Tillæg for uforudseelige udgifter			30%	6.900 kr.
<b>SUM</b>					<b>29.900 kr.</b>

<b>Anlægsomkostning</b>					<b>149.500 kr.</b>
<b>Driftsomkostning årligt</b>					<b>29.900 kr.</b>
<b>TOTAL OVER 10 ÅR</b>					<b>448.500 kr.</b>

### 6.2 LØSNING 2 – BØLGEBRYDERE

	Beskrivelse	Længde m	m3 per m	Enhedspris per m3	Total
Anlægsomkostning	Initialfodring	50	10	200 kr.	100.000 kr.
	Tillæg for anstilling, drift og afrigning			15%	15.000 kr.
	<i>Delsum</i>				115.000 kr.
	Tillæg for uforudseelige udgifter			30%	34.500 kr.
<b>SUM</b>					<b>149.500 kr.</b>

Anlægsomkostning	Dæksten, bølgebryder H1	37	6	800 kr.	177.600 kr.
	Dæksten, bølgebryder H2	39	6	800 kr.	187.200 kr.
	<i>Delsum</i>				364.800 kr.
	Tillæg for anstilling, drift og afrigning			15%	54.720 kr.
	<i>Delsum</i>				419.520 kr.
	Tillæg for uforudseelige udgifter			30%	125.856 kr.
<b>SUM</b>					<b>545.376 kr.</b>

Driftsomkostning årligt	Vedligeholdelsesfodring	250	0,2	200 kr.	10.000 kr.
	Tillæg for anstilling, drift og afrigning			15%	1.500 kr.
	<i>Delsum</i>				11.500 kr.
	Tillæg for uforudseelige udgifter			30%	3.450 kr.
<b>SUM</b>					<b>14.950 kr.</b>

<b>Anlægsomkostning</b>					<b>694.876 kr.</b>
<b>Driftsomkostning årligt</b>					<b>14.950 kr.</b>
<b>TOTAL OVER 10 ÅR</b>					<b>844.376 kr.</b>

## 6.3 LØSNING 3 – SIKRING AF LEDNING

Anlægsomkostning	Beskrivelse	Længde m	m3 per m	Enhedspris per m3	Total	
	Initialfodring	232	20	200 kr.	928.000 kr.	
	Tillæg for anstilling, drift og afrigning	15%				139.200 kr.
	<i>Delsum</i>					1.067.200 kr.
	Tillæg for uforudseelige udgifter	30%				320.160 kr.
<b>SUM</b>					<b>1.387.360 kr.</b>	

Anlægsomkostning	Beskrivelse	H1-H3		H3-H6		Enhedspris per m3	Total
		Areal	Volumen	Areal	Volumen		
		[m2]	[m3]	[m2]	[m3]		
	Afgrav sand t/depot for genindbyg	20	2020	10	1310	50 kr.	166.500 kr.
	Genindbyg sand	20	2020	10	1310	50 kr.	166.500 kr.
	Dæksten, dige	7	875	7	917	800 kr.	700.000 kr.
	Ral, dige	8	808	8	1048	300 kr.	242.400 kr.
	<i>Delsum</i>						1.275.400 kr.
	Tillæg for anstilling, drift og afrigning	15%					191.310 kr.
	<i>Delsum</i>						1.466.710 kr.
Tillæg for uforudseelige udgifter	30%					440.013 kr.	
<b>SUM</b>						<b>1.906.723 kr.</b>	

Driftsomkostning årligt	Beskrivelse	Længde m	m3 per m	Enhedspris per m3	Total	
	Vedligeholdelsesfodring	250	0,4	200 kr.	20.000 kr.	
	Tillæg for anstilling, drift og afrigning	15%				3.000 kr.
	<i>Delsum</i>					23.000 kr.
	Tillæg for uforudseelige udgifter	30%				6.900 kr.
<b>SUM</b>					<b>29.900 kr.</b>	

Anlægsomkostning		<b>3.294.083 kr.</b>
Driftsomkostning årligt		<b>29.900 kr.</b>
<b>TOTAL OVER 10 ÅR</b>		<b>3.593.083 kr.</b>



## 6.4 LØSNING 4 – SIKRING AF LEDNING OG BØLGEBRYDERE

Anlægsomkostning	Beskrivelse	Længde m	m3 per m	Enhedspris per m3	Total	
	Initialfodring	232	20	200 kr.	928.000 kr.	
	Tillæg for anstilling, drift og afrigning	15%				139.200 kr.
	<i>Delsum</i>					1.067.200 kr.
	Tillæg for uforudseelige udgifter	30%				320.160 kr.
<b>SUM</b>					<b>1.387.360 kr.</b>	

Anlægsomkostning	Beskrivelse	H1-H3		H3-H6		Enhedspris per m3	Total
		Areal	Volumen	Areal	Volumen		
		[m2]	[m3]	[m2]	[m3]		
	Afgrav sand t/depot for genindbyg	20	2020	10	1310	50 kr.	166.500 kr.
	Genindbyg sand	20	2020	10	1310	50 kr.	166.500 kr.
Dæksten, dige	7	875	7	917	800 kr.	700.000 kr.	
Ral, dige	8	808	8	1048	300 kr.	242.400 kr.	
<i>Delsum</i>						1.275.400 kr.	
Tillæg for anstilling, drift og afrigning	15%					191.310 kr.	
<i>Delsum</i>						1.466.710 kr.	
Tillæg for uforudseelige udgifter	30%					440.013 kr.	
<b>SUM</b>						<b>1.906.723 kr.</b>	

Anlægsomkostning	Beskrivelse	Længde m	m3 per m	Enhedspris per m3	Total	
	Dæksten, bølgebryder H1	37	6	800 kr.	177.600 kr.	
	Dæksten, bølgebryder H2	39	6	800 kr.	187.200 kr.	
	<i>Delsum</i>					364.800 kr.
	Tillæg for anstilling, drift og afrigning	15%				54.720 kr.
	<i>Delsum</i>					419.520 kr.
Tillæg for uforudseelige udgifter	30%				125.856 kr.	
<b>SUM</b>					<b>545.376 kr.</b>	

Driftsomkostning årligt	Beskrivelse	Længde m	m3 per m	Enhedspris per m3	Total	
	Vedligeholdelsesfodring	250	0,2	200 kr.	10.000 kr.	
	Tillæg for anstilling, drift og afrigning	15%				1.500 kr.
	<i>Delsum</i>					11.500 kr.
	Tillæg for uforudseelige udgifter	30%				3.450 kr.
<b>SUM</b>					<b>14.950 kr.</b>	

<b>Anlægsomkostning</b>		<b>3.839.459 kr.</b>
<b>Driftsomkostning årligt</b>		<b>14.950 kr.</b>
<b>TOTAL OVER 10 ÅR</b>		<b>3.988.959 kr.</b>