

Gribskov Kommune

Sandfodring på Nordkysten

Skitseprojekt

September 2009



COWI



COWI A/S

Parallevej 2
2800 Kongens Lyngby

Telefon 45 97 22 11
Telefax 45 97 22 12
www.cowi.dk

Gribskov Kommune

Sandfodring på Nordkysten

Skitseprojekt

September 2009

Dokumentnr. A005644-PR-01
Version 0
Udgivelsesdato 30.09.2009

Udarbejdet CEL/LEGL/ BRHA/PHOB
Kontrolleret CEL/OJJ/JSTE
Godkendt CEL

Indholdsfortegnelse

1	Introduktion	3
2	Kommunens målsætning for projektet	4
2.1	Generelt	4
2.2	Konkrete strækninger	5
3	Hydrografiske forhold	6
3.1	Vandstand	6
3.2	Vind	7
3.3	Bølger	9
4	Kystbeskrivelse	13
4.1	Geologiske forhold	13
4.2	Kystlinjen	13
4.3	Kystprofilet	22
4.4	Sedimentbudget	25
4.5	Eksisterende anlægsaktiviteter på kysten	27
5	Inspektion og tilstandsvurdering	28
5.1	Stængehuse til Tisvilde	30
5.2	Tisvilde til Vejby Strand	34
5.3	Vejby Strand til Trillingerne	42
5.4	Trillingerne til Tinkerup Strand	50
5.5	Tinkerup Strand til Gilleleje Havn	56
5.6	Gilleleje Havn til Nakkehoved	59
5.7	Nakkehoved til Villingebæk	63
6	Kystteknisk vurdering	70
6.1	Eksisterende kystbeskyttelse	70
6.2	Sandfodring	71
6.3	Sanering af eksisterende hård kystbeskyttelse	72

7	Skitseprojektering	74
7.1	Kystparallel sedimenttransportkapacitet	74
7.2	Stabilitet af sandstrand	76
7.3	Fremtidigt strandprofil	79
7.4	Kornstørrelse af fodringssand	79
7.5	Ligevægtsprofil	80
7.6	Aktiv dybde	82
7.7	Vedligeholdelsesfodring	83
7.8	Stenkonstruktioner	84
7.9	Badesikkerhed	85
7.10	Anlægsoverslag	85
8	Forslag til sandfodring	88
8.1	Sandfodring på Nordkysten - Forslag 1	88
8.2	Sandfodring på Nordkysten - Forslag 2	91
8.3	Vedligeholdelsesfodring	95
9	Sammenfatning	97
10	Litteraturliste	99

Bilagsfortegnelse

Bilag 1: Ekstremvandstande målt i Hornbæk

Bilag 2: Tegninger

1 Introduktion

Gribskov Kommune har rekvireret COWI til at udarbejde et skitseprojekt for sandfodring langs kommunens kyststrækning på Nordkysten af Sjælland.

På Nordkysten i Gribskov Kommune er der i de sidste mange år blevet foretaget en udbygning med hårde kystbeskyttelseskonstruktioner, som skræntfodsikring, høfder og bølgebrydere. Mange steder er strandene alligevel blevet smallere eller helt forsvundet. Det er derfor klart, at den eneste metode, der radikalt kan ændre denne udvikling er ved at tilføre mere sand ved indpumpning direkte på kysten.

Formålet med skitseprojektet for sandfodring på Nordkysten er således at give Gribskov Kommunen et kystteknisk gennemarbejdet materiale, som kan danne grundlag for en politisk beslutning vedrørende form og omfang af sandfodring langs kommunens kyststrækning.

Projektet er udarbejdet på baggrund af en række møder i følgegruppen for projektet, som består af Gribskov Kommune, Kystdirektoratet, grundejerforeninger, Friluftsrådet og repræsentanter fra såvel politiske som administrative organisationer. Herunder har Jakob Wandall fra Rågeleje og Udsholt Strand Grundejerlag og Birgit Lund fra Klitgårdens Grundejerforening spillet en central rolle som initiativtagere og anker personer bag sandfodringsprojektet.

Skitseprojektet beskæftiger sig med de kysttekniske aspekter af sandfodringsprojektet samt anlægsoverslag, mens projektfinansieringen udarbejdes af kommunen i samarbejde med følgegruppen.

Nærværende skitseprojekt for sandfodring på Nordkysten indeholder følgende delelementer:

- kysthydraulisk projektbasis
- inspektion af kysten
- kystlinjeanalyse med GIS
- kystteknisk vurdering
- skitseforslag for sandfodring på Nordkysten
- anlægsoverslag

2 Kommunens målsætning for projektet

2.1 Generelt

Sandfodringen fokuserer på at genskabe sandstrandene i Gribskov Kommune og derved forøge beskyttelsen af kysten. Sandfodringsprojektet har desuden karakter af naturgenopretning. Sandfodringsprojektet sigter mod at skabe de bedste rekreative muligheder langs kommunens kyststrækning. Kommunen ønsker, at sandfodringsprojektet skal komme så mange som muligt til gode.

Sandfodringsprojektet indeholder primært en initial fodring fordelt over tre år. Derefter er der behov for vedligeholdelsesfodringer med års mellemrum. Det er planen, at der fodres med sand på en række udvalgte strækninger og at sandet så yderligere fordeles naturligt langs kysten ved den overvejende østgående sedimenttransport.

Sandfodringen skal ses som et supplement til den eksisterende hårde kystbeskyttelse, som generelt bør bevares. Sandfodringerne reducerer overordnet set behovet for ny hård kystbeskyttelse. Generelt ønsker kommunen ikke ny hård kystbeskyttelse på Nordkysten. Der er dog på en række lokaliteter et behov for sanering og oprydning på stranden i forbindelse med de mest nedslidte og uvirksomme anlæg, som hører ind under de enkelte kystsikringslag.

Sandfodringen vil i og med, at den dækker en del af den eksisterende hårde kystbeskyttelse øge den æstetiske værdi af kysten.

Sandfodringen vil kunne medvirke til at bevare sandstrandene efter en moderat global havspejlsstigning som følge af menneskeskabte klimaændringer. Såfremt der ikke sandfodres vil sandstrandene gradvist forsvinde helt og presset på den eksisterende hårde kystbeskyttelse stige og derved medføre øget vedligeholdelse af de hårde anlæg, samt yderligere kysttilbagerykning.

Der er udarbejdet to skitseforslag. Det første skitseforslag er et rent sandfodringsforslag. Det andet forslag fokuserer også på sandfodring, men kan indeholde enkelte hårde konstruktioner på udvalgte lokaliteter, som erstatning for en eller flere eksisterende men ineffektive konstruktioner. Funktionen af de nye konstruktioner er at øge levetiden af sandfodringen på udvalgte strækninger og derved nedsætte vedligeholdelsesomkostningerne for sandfodringen. De hårde konstruktioner er ikke inkluderet i prisoverslagene, da sådanne anlæg bør finansieres af de lokale kystsikringslag.

Der er ikke forud for udarbejdelsen af skitseprojektet fastsat et overordnet anlægsbudget for sandfodringsprojektet, som på skitseprojektniveau fastlægges ud fra kysttekniske vurderinger.

2.2 Konkrete strækninger

Vincentstien

Kommunen ønsker en kystteknisk vurdering af konsekvenserne af ikke at beskytte de kommunale arealer ved Vincentstien. Erosionsproblemerne foran de private grunde undersøges og vurderes ved Vincentstien ud fra et kystteknisk synspunkt.

Strandbjerggård

Kommunen ønsker en kystteknisk vurdering af mulighederne for at sandfodre ved Strandbjerggård, for herigennem at udnytte de frie arealer langs kysten til rekreative formål.

Rågeleje

Kommunen ønsker en kystteknisk vurdering af at sandfodre ved Rågeleje for på den måde at genoprette stranden og beskytte kystvejen, samt forbedre de rekreative muligheder i Rågeleje, som har gode parkeringsfaciliteter.

Mejsevej til Smidstrup Søvej

På kyststrækning mellem Mejsevej og P-pladsen ved Smidstrup Søvej er der på nuværende tidspunkt ingen hård kystbeskyttelse. Strækningen ønskes friholdt for sandfodring for at bevare den naturlige kyst.

Øst for Gilleleje Havn

Der ønskes sandfodring øst for Gilleleje Havn for at udbygge de rekreative værdier af kysten mellem Gilleleje Havn og Strandbakkerne.

3 Hydrografiske forhold

3.1 Vandstand

3.1.1 Normale vandstande

Ifølge Ref. /1/ er forskellen mellem middelhøjvande og middellavvande i Hornbæk Havn 0,2 m, i Gilleleje Havn 0,5 m og i Hundested Havn 0,6 m.

3.1.2 Vertikal landhævning

I flg. Ref. /10/ kan der ved Sjællands Nordkyst forventes en landhævning på ~0,35 mm/år.

3.1.3 Fremtidig global vandstandsstigning

IPCC forudser i rapporten fra 2007 en global middelvandstandsstigning på 43-51 cm frem til år 2099, Ref. /3/. Prognoserne er dog behæftiget med stor usikkerhed.

Dette giver en forventet stigning på ca. 25 cm frem til år 2050, hvilket er i samme størrelsesorden som indgår i Kyst Direktoratets seneste anbefalinger på 20 cm, Ref. /2/.

3.1.4 Ekstreme vandstande

Ifølge Ref. /1/ forekommer de højeste højvande i Hornbæk Havn ved vind fra N og NV, mens de i Gilleleje og Hundested Havn kun forekommer ved vind fra N. Ifølge Ref. /1/ kan vandstanden i omtalte tilfælde komme op på +1,4 m i Hundested Havn, +2,0 m i Gilleleje Havn og +1,2 m i Hornbæk Havn.

Ifølge Ref. /1/ forekommer de laveste vandstande i Hornbæk Havn ved vinde fra S og SØ, mens de i Gilleleje opstår ved vind fra SØ. I Hundested Havn opstår de laveste vandstande ved vind fra Ø. Ifølge Ref. /1/ kan vandstanden i omtalte tilfælde komme ned på -0,8 m i Hundested Havn, -1,5 m i Gilleleje Havn og -1,5 m i Hornbæk Havn.

Kystdirektoratet har analyseret ekstremvandstandene i en række danske havne på baggrund af historiske vandstandsmålinger, Ref. /2/. Hornbæk og Hundested

er de nærmeste stationer, som er indeholdt i analysen. Statikken for Hornbæk er udarbejdet på baggrund af målinger fra perioden 1891-2006, mens statistikken for Hundested bygger på en måleperiode på 21 år. Statistikken for Hornbæk bruges derfor som udgangspunkt for at bestemme ekstremvandstandene i dette projekt.

Tabel 3-1 viser de ekstreme høj vandstande for en række karakteristiske ekstremhændelser i henholdsvis Hornbæk og Hundested.

Tabel 3-1 Ekstremvandestand i Hornbæk og Hundested.

	Hornbæk	Hundested
Hændelse	Vandstand [cm DVR90]	Vandstand [cm DVR90]
1 år	+108	+102
20 år	+148	+140
50 år	+157	+146
100 år	+164	+150

Bilag A viser de højest målte vandstande i Hornbæk i perioden 1891-2006 ifølge Ref. /2/.

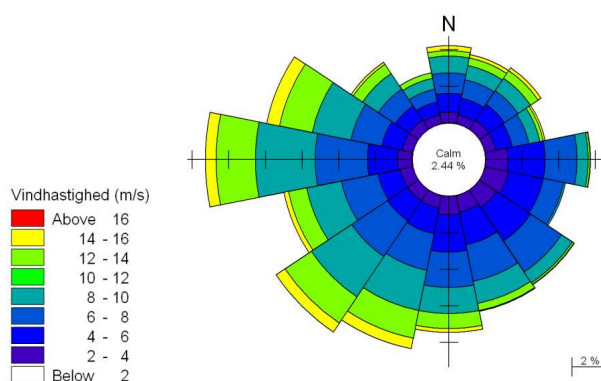
3.2 Vind

3.2.1 Normal vind

COWI har rekvireret vinddata hos DMI for vejstationen på Anholt. Denne vurderes som et godt grundlag for vurdering af vindforholdene i den sydlige del af Kattegat.

Vinddata er bestemt som 10-min middelvind målt hver time i 10 m's højde over terræn i perioden 20/05-1993 til 07/07-2008.

På basis af DMI's data er der blevet udarbejdet en vindrose for vindklimaet på Anholt, se Figur 3-1.



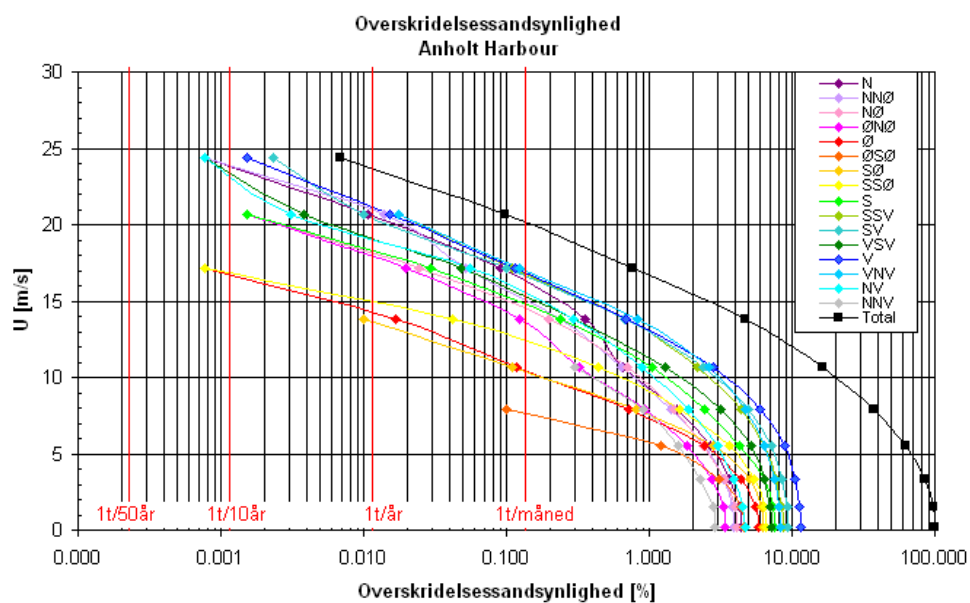
Figur 3-1 Vindrose for Anholt, /baseret på data fra DMI/

Vindrosen viser, at vinden oftest er fra retning SSV til VNV. Det er også fra disse retninger den kraftigste vind optræder.

3.2.2 Ekstrem vind

På baggrund af vindstatistikken fra Anholt har COWI foretaget en analyse af ekstremvindhastighederne. Resultatet af analysen fremgår af Figur 3-2.

Ekstremvindhastigheder med returperioder på 12t/år, 1t/år, 1t/10år og 1t/50år er aflæst på Figur 3-2 for retningerne VSV-ØSØ, hvilket er de vindretninger, der har betydning for kysten i Gribskov Kommune.



Figur 3-2 Overskridelsessandsynlighed [%] som funktion af vindhastighed og vindretningen, Anholt.

Resultatet af ekstremvindanalysen for Anholt er opstillet i Tabel 3-2. Af tabellen ses, at de største ekstremvindhastigheder optræder i forbindelse med storme fra VNV.

Tabel 3-2 Ekstreme vindhastigheder [m/s] for Anholt efter Figur 3-2.

Vindretning	12t/år	1t/1år	1t/10år	1t/50år
	15	19	23.5	26
V	16.5	21	24.5	27.5
VNV	17	21.5	25	29
NV	15.5	19	23	26
NNV	13	18	21	23.5
N	16	20.5	24	26
NNØ	15	21	24	26
NØ	14.5	18	21	23
ØNØ	13.5	18	21	23.5
Ø	10.5	14	16.5	18.5
ØSØ	7.5	9.5	12.5	14
TOTAL	20	23.5	28	29

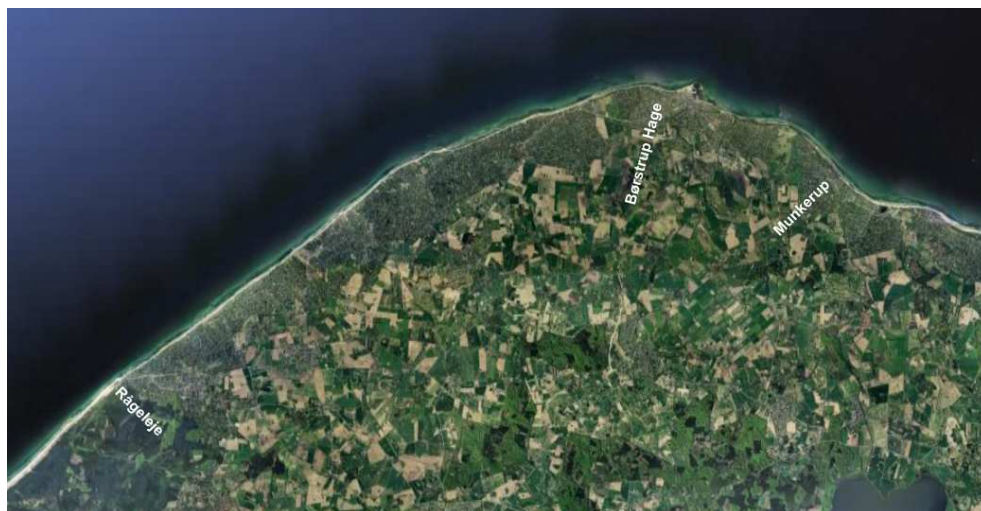
3.3 Bølger

3.3.1 Ekstrembølgeforhold

Ekstrembølgeforholdene er bestemt for tre områder langs projektstrækningen og herunder Rågeleje, Børstrup Hage og Munkerup, se

Figur 3-3. Bølgeforholdene er bestemt ud fra det frie stræk og ekstremvindhastighederne baseret på den reviderede SPM84-metode, Ref. /4/.

Det geografiske frie stræk er bestemt ved hjælp af Google Earth og søkort for hver enkelt vindretning som afstanden til den nærmeste kyst. Til vurdering af vanddybderne i farvandet er Søkort Nr. 102 - Kattegat benyttet.



Figur 3-3 Lokalteter til bestemmelse ekstrembølgeforholdene, Google Earth

Tabel 3-3 viser de estimerede frie stræk og vanddybderne udfør de tre valgte lokaliteter. Der er betydelig usikkerhed på bestemmelsen af de frie stræk, da der er flere øer og lavvandede områder i Kattegat, der har betydelig effekt på ekstrembølgeforholdene. I beregningerne antages bølgerne desuden at være fuldt udviklede. Set i lyset af den simplificerede analyse af ekstrembølgeforholdene i Kattegat, anbefales det at udføre numeriske modelberegninger i forbindelse med de følgende faser af projektet for mere præcist at bestemme bølgeklimaet i den sydlige del af Kattegat.

Tabel 3-3 Vanddybde og frit stræk ved Rågeleje, Børstrup Hage og Munkerup

		Rågeleje		Børstrup Hage		Munkerup	
Retning		Frit stræk	dybde	Frit stræk	dybde	Frit stræk	dybde
[-/grader]		[km]	[m]	[km]	[m]	[km]	[m]
VSV	247.5	40	18				
V	270	90	18				
VNV	292.5	84	19	91	23		
NV	315	155	23	161	25		
NNV	337.5	77	26	77	25	78	24
N	0	118	26	101	28	90	24
NNØ	22.5	76	24	38	21	20	23
NØ	45	28	19	18	20	16	24
ØNØ	67.5			16	20	14	25
Ø	22.5					16	25
ØSØ	45					2.6	2

Til beregning af de ekstreme bølgeforhold er der benyttet en vandstand med en returperiode på 50 år, se Tabel 3-1.

Tabel 3-4 til Tabel 3-6 viser ekstrembølgehøjder og perioder beregnet ud fra Tabel 3-2 og Tabel 3-3.

Retning	Returperiode							
	12t/år		1t/1år		1t/10år		1t/50år	
Dir.	H _s [m]	T _m [s]	H _s [m]	T _m [s]	H _s [m]	T _m [s]	H _s [m]	T _m [s]
V SV	2.0	5.7	2.7	6.3	3.4	6.9	2.6	6.3
V	3.1	7.6	4.0	8.4	4.5	8.9	3.5	8.0
VNV	3.2	7.6	4.0	8.3	4.7	8.9	5.3	9.4
NV	3.7	8.6	4.4	9.3	5.2	10.1	5.7	10.6
NNV	2.4	6.7	3.5	7.6	4.1	8.1	4.7	8.5
N	3.6	8.2	4.7	9.1	5.4	9.7	5.8	10.1
NNØ	2.8	7.0	4.0	8.1	4.7	8.5	5.1	8.8
NØ	1.7	5.0	2.1	5.5	2.6	5.9	2.9	6.1

Tabel 3-4 Ekstrembølgeforhold ved Rågeleje

Retning	Returperiode							
	12t/år		1t/1år		1t/10år		1t/50år	
Dir.	H _s [m]	T _m [s]	H _s [m]	T _m [s]	H _s [m]	T _m [s]	H _s [m]	T _m [s]
VNV	3.4	7.8	4.4	8.6	5.1	9.1	5.8	9.7
NV	3.8	8.7	4.6	9.5	5.5	10.3	6.0	10.8
NNV	2.3	6.6	3.4	7.6	4.1	8.1	4.6	8.5
N	3.4	7.9	4.5	8.8	5.3	9.3	5.8	9.7
NNØ	2.0	5.7	3.0	6.5	3.5	6.9	3.8	7.1
NØ	1.3	4.4	1.7	4.8	2.1	5.1	2.3	5.3
ØNØ	1.2	4.1	1.6	4.6	2.0	4.9	2.3	5.1

Tabel 3-5 Ekstrembølgeforhold ved Børstrup Hage

Retning	Returperiode							
	12t/år		1t/1år		1t/10år		1t/50år	
Dir.	H _s [m]	T _m [s]	H _s [m]	T _m [s]	H _s [m]	T _m [s]	H _s [m]	T _m [s]
NNV	2.4	6.7	3.4	7.6	4.1	8.2	4.6	8.5
N	3.2	7.6	4.2	8.4	4.9	9.0	5.3	9.3
NNØ	1.5	4.6	2.2	5.3	2.6	5.6	2.9	5.7
NØ	1.3	4.2	1.6	4.6	2.0	4.9	2.2	5.1
ØNØ	1.1	3.9	1.5	4.4	1.9	4.7	2.1	4.9
Ø	0.8	3.7	1.2	4.1	1.5	4.4	1.7	4.6
ØSØ	0.2	1.7	0.3	1.9	0.4	2.2	0.5	2.3

Tabel 3-6 Ekstrembølgeforhold ved Munkerup

Tabel 3-4 til Tabel 3-6 viser, at bølgehøjden for en 50 års hændelse ved Rågeleje er størst for vinde fra N, som giver $H_s = 5,8$ m og $T_m = 10,1$ s på dybt vand. Ved Børstrup Hage er bølgerne størst for vinde fra N eller VNV, som giver $H_s = 5,8$ m og $T_m = 9,7$ s på dybt vand og ved Munkerup forekommer de største bølger i forbindelse med vinde fra N, som giver $H_s = 5,3$ m og $T_m = 9,3$ s på dybt vand.

4 Kystbeskrivelse

4.1 Geologiske forhold

De geologiske forhold langs Sjællands Nordkyst er præget af morænepartier aflejret af gletchere under istiden og hævet havbund fra stenalderen, se Figur 4-1.

De hårde partier fra istiden fremstår som svagt fremskudte partier. Istidsaflejringerne står ofte med stejle skrænter og den kystnære del af profilet består af stenede nedbrydningsflak, som er opstået efterhånden som de fine partikler er blevet udvasket.

De mest prominente klinger i Gribskov Kommune findes mellem Tisvilde og Heatherhill samt ved Gilbjerg Hoved og Nakkehoved.

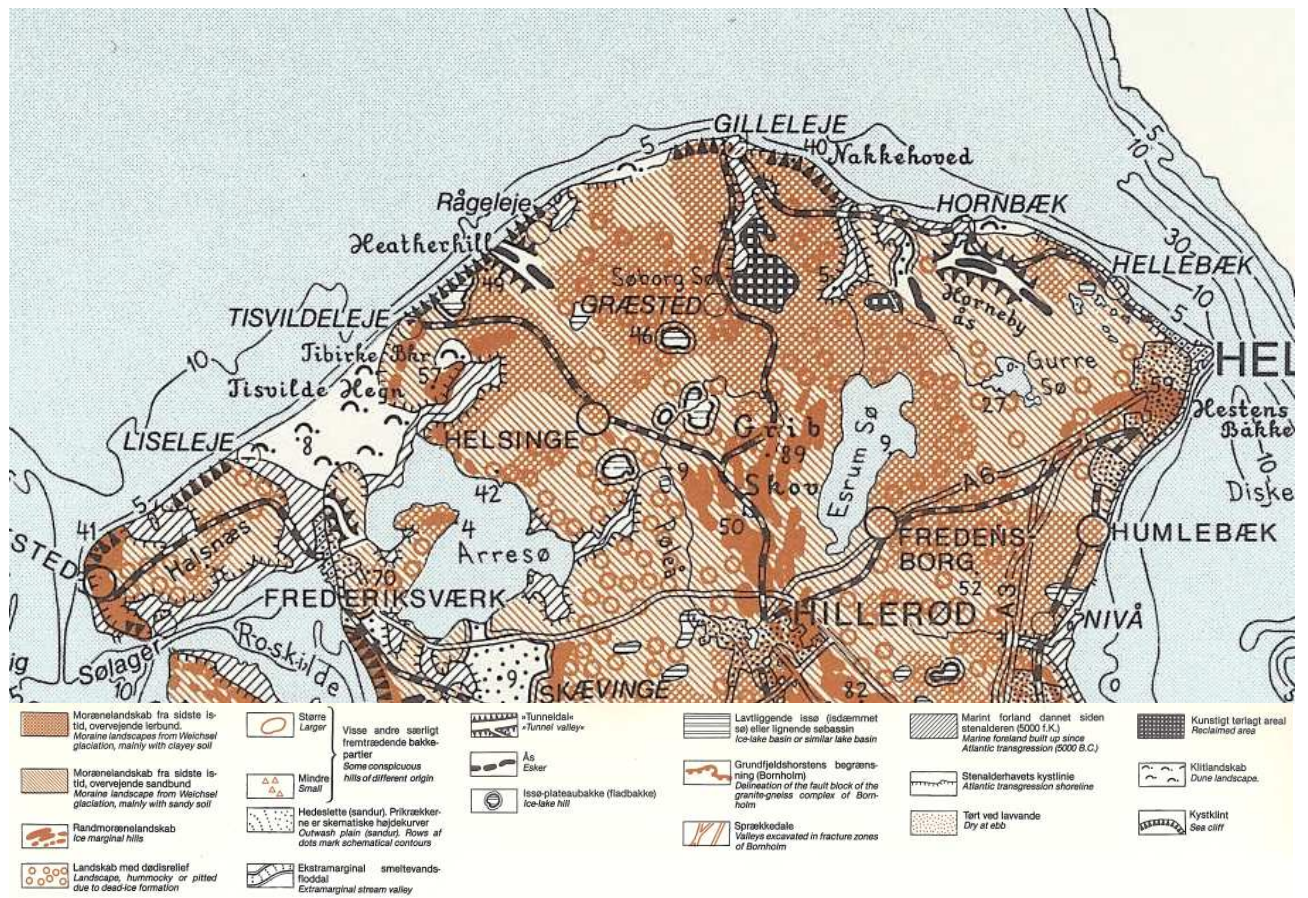
De marine aflejringer ligger som svagt markerede bugter mellem de hårde morænepartier. De bedste åbne sandstrande i Gribskov Kommune findes mellem Liseleje og Tisvilde, vest for Gilleleje Havn samt ved Dronningmølle.

Der er også marine aflejringer langs kysten ved Rågeleje, Udsholt og Tinkerup, hvor der findes marint forland med rullestensstrandvold foran de gamle moræneklinter.

4.2 Kystlinjen

Figur 4-2 viser et oversigtsflyfoto af Nordkysten langs Gribskov Kommunes kyststrækning.

Kysten er afskærmet af Kullen mod nordøst og øst, men frit eksponeret mod nord og vest ud mod Kattegat. Der kan således optræde store bølger på strækningen i forbindelse med storme fra nordvestlige vindretninger, se Tabel 3-4 til Tabel 3-6.



Figur 4-1 Landskabskort over Nordsjælland, Per Smed



Figur 4-2 Nordkysten mellem Stængehuse og Villingebæk, Google Earth. Desuden er kystnormalen vist for en række lokaliteter

Overordnet set har kysten i Gribskov Kommune et konvekst forløb. Orienteringen af kystnormalen varierer således fra 308° ved Stængehus til 56° ved Munckerup. Kystnormalen er en linje, der ligger vinkelret på vandlinjen.

Strækningen fra Spodsbjerg til Udsholt er i store træk udlignet, dog er kysten svagt guirlandeformet, Ref. /8/. Den kystparallelle nettosedimenttransport er moderat mod nordøst langs den sydvestlige del af kommunens kyststrækning.

Den nordlige del af kysten i Gribskov Kommune er konveks med toppunkt ved Gilbjerg Hoved vest for Gilleleje Havn. Kystlinjens forløb betyder, at der skabes gradienter i den kystparallelle sedimenttransport. Den kystparallelle sedimenttransport er østgående øst for Gilleleje.

Den nordøst og østgående netto materialevandring langs kysten i Gribskov Kommune har betydet, at kysten generelt eroderer tilbage. Det har derfor været nødvendigt at opføre et stort antal kystbeskyttelseskonstruktioner i form af bølgebrydere, høfder og skråningsbeskyttelse, da en stor del af kommunens kyststrækning er tæt bebygget.

4.2.1 Historisk kystudvikling

Kommunen har leveret en serie flybilleder som baggrundsmateriale for analysen af den historiske kystudvikling og herunder billeder fra 2005 og 2009. COWI har desuden leveret baggrundsdata i form af ortofoto fra 1954.

Kystudviklingsanalysen er foretaget vha. ArcGIS.

Analysen bygger på en digitalisering af vandlinje og skråningsfod på flybillederne langs kommunens kyst.

De analyserede kystlinjer sammenlignes herefter ved en række lokaliteter langs strækningen for at kunne kvantificere kystudviklingen, se Tegning 005644-PT-002. Flyfotoene illustrerer således kystudviklingen over en periode på mere end 50 år.

Figur 4-3 viser et eksempel på kystlinjeudviklingen omkring Vincentstien ved Heatherhill. Kysten er her rykket tilbage som følge af læsideerosion øst for kystbeskyttelsen.

Flybilledanalysen giver et værdifuld input til forståelsen af Nordkystens dynamik og udvikling.

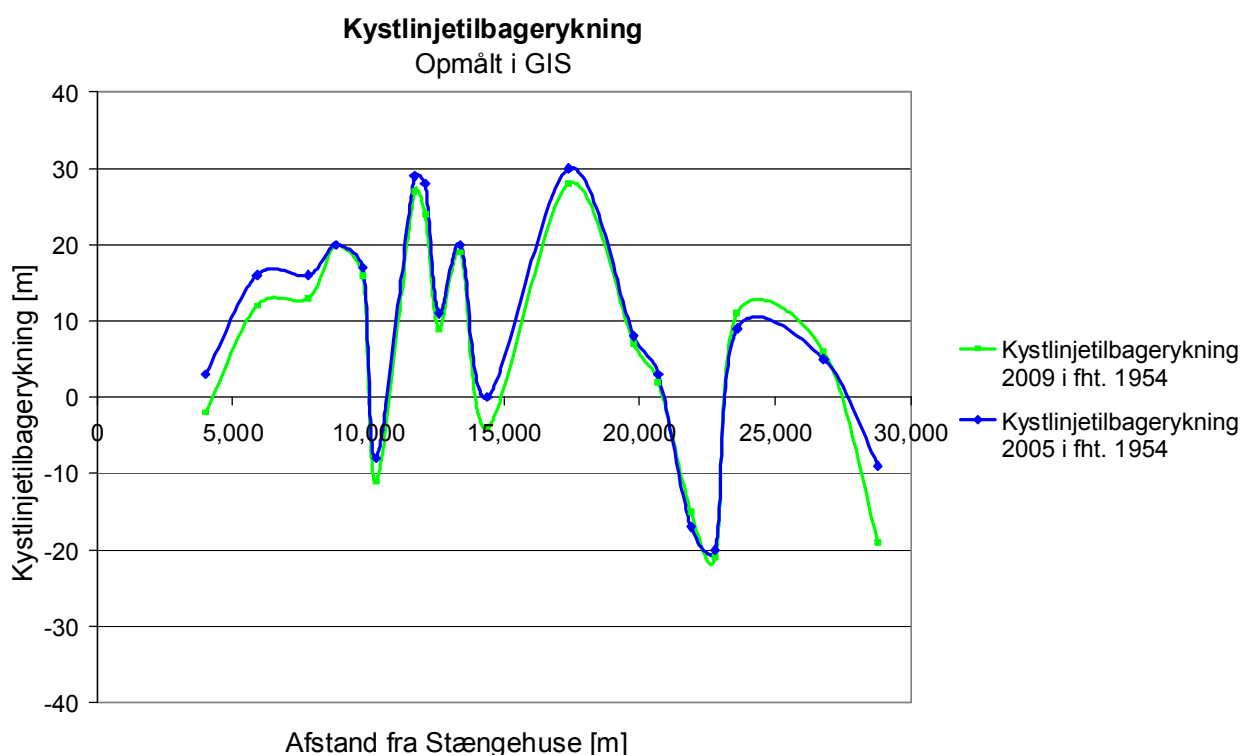


*Figur 4-3 Kystlinjetilbagerykning ved Heatherhill mellem 1954 og 2005.
Profil 107, St. 10.300.
Mørkerød: vandlinje 1954, Orange: skræntfod 1954*

Figur 4-4 viser kystlinjetilbagerykningen estimeret på baggrund af flybilledanalysen langs Nordkysten. Afstanden på figurens x-akse angiver afstanden til Stængehuse langs kysten, se også Tegning A005644-PT-002. Gilleleje Havn ligger omkring St. 22.000 m.

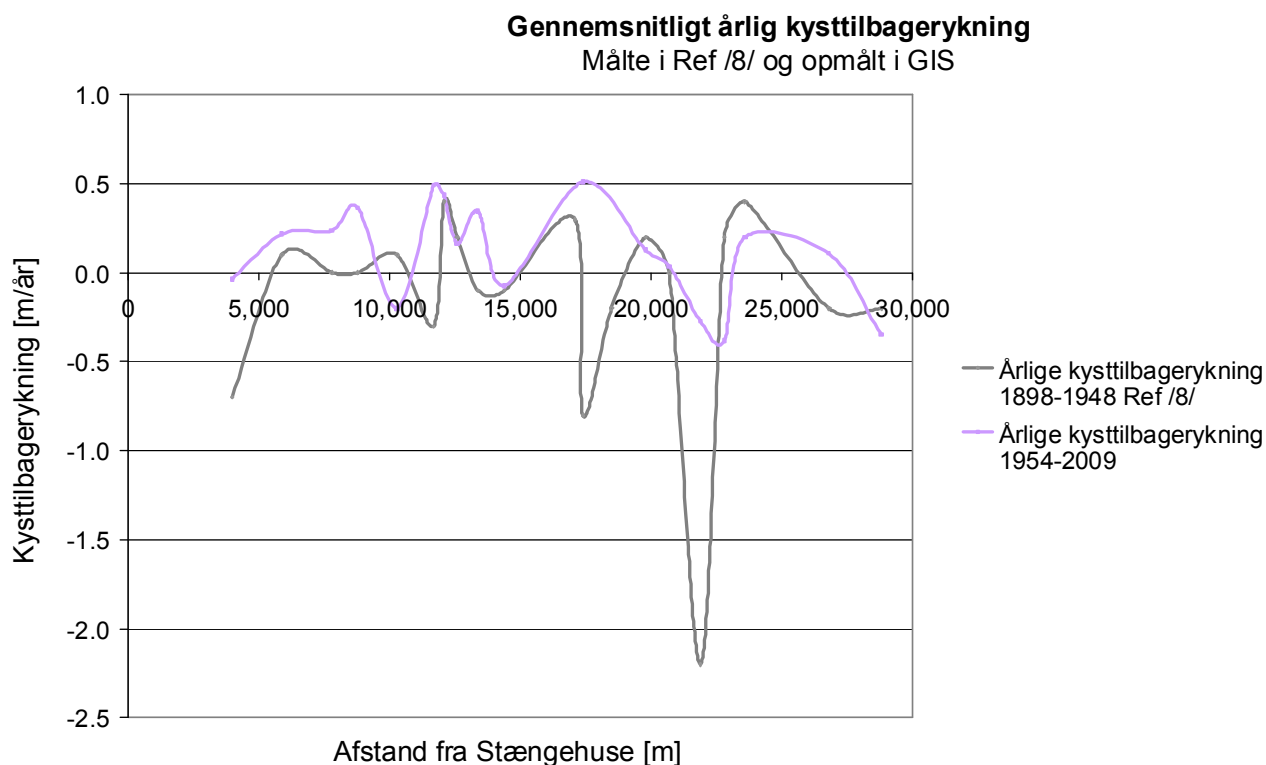
Figuren viser, at kystlinjeudviklingen varierer meget langs kysten. Generelt har der været en kysttilbagerykning på mellem 0 og 30 m i perioden siden 1954. Der er dog også strækninger, hvor kysten er rykket mellem 0 og 20 m frem.

Generelt er kysten kun rykket frem ved Gilleleje Havn, St. 22.000 samt ved Dronningmølle, St. 28.000. Den øvrige kyst er generelt rykket tilbage. Variationen i kysterrosionen skyldes til dels, at de hårde morænepartier eroderer langsommere end de blødere strækninger. Heatherhill ved St. 10.000 og Trillingerne ved St. 13.500 fremstår som stabile kystfrespring, hvor kysten er mere stabil. Desuden er der etableret mange kystbeskyttelseskonstruktioner på strækningen, som også påvirker kystlinjeudviklingen lokalt.



Figur 4-4 Kystlinjetilbagerykning mellem 1954 og 2009 bestemt ud fra luftfoto

Figur 4-5 viser en sammenligning af gennemsnitlige kysttilbagerykningsrater mellem 1954 og 2009 med historiske tilbagerykningsrater mellem 1898 og 1948 baseret på Ref. /8/.



Figur 4-5 Gennemsnitlig årlige kysttilbagerykning bestemt ud fra luftfoto samt ifølge Ref. /8/

Figur 4-5 viser, at kystudviklingen mellem 1898 og 1948 har nogenlunde samme forløb som mellem 1954 til 2009. Dog er erosionen accelereret mellem Tisvilde og Heatherhill, St. 5.000 og 9.000 samt mellem Strandbjerggård og Trilingerne, St. 11.000 til St. 13.500, se også Figur 4-6.

Ved Profil 16 St. 17.400 er kystudviklingen vendt dramatisk fra før at rykke frem til at rykke kraftigt tilbage, se Figur 4-5. Denne dramatiske udvikling skyldes, at der på dette sted ligger en strandvoldsformation, som vandrer op langs kysten og derved forstyrrer det generelle billede. Kysten eroderer generelt tilbage på strækningen mellem St. 15.000 og St. 20.000, se Figur 4-7.



*Figur 4-6 Kystlinjetilbagerykning mellem 1954 og 2009 ved Rågeleje, Profil 10 St. 11.700.
Mørkerød: vandlinje 1954, Orange: skræntfod 1954*



*Figur 4-7 Kystlinjetilbagerykning mellem 1954 og 2009 ved Tinkerup Strand, Profil 16, St.17.400
Mørkerød: vandlinje 1954, Orange: skræntfod 1954*

Kystfremrykningen ved Gilleleje Havn er aftaget betydeligt efterhånden som reservoiret er fyldt op og sandet er begyndt at vandre uden om havnen ved St. 22.000, se Figur 4-5.

Øst for Gilleleje Havn viser Figur 4-5, at læsideerosionen har spredt sig ned til Munkerup, St. 27.000.

Stranden ved Dronningmølle rykker stadig frem, da det sand der vandrer langs kysten aflejres her som følge af, at kysten ændrer orientering, St. 28.000, se Figur 4-5 og Figur 4-8.



Figur 4-8 *Kystlinjetilbagerykning mellem 1954 og 2009 ved Dronningmølle, Profil 105, St.28.800
Mørkerød: vandlinje 1954, Orange: skræntfod 1954*

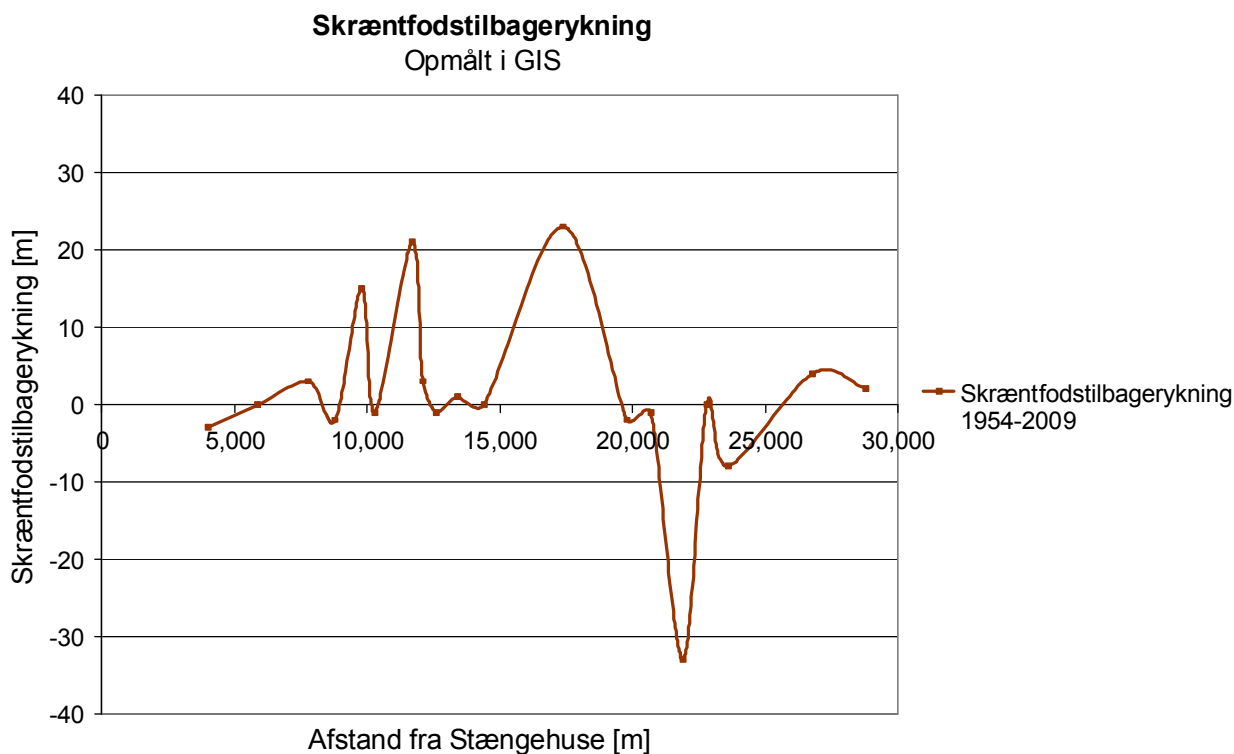
Figur 4-9 viser tilbagerykningen af skræntfoden. Skræntfoden er generelt mere stabil end vandlinjen, da der er etableret skråningsbeskyttelse langs en stor del af Nordkysten.

Figuren viser, at skråningen er eroderet betydeligt tilbage ved Vincentstien St. 9.800, hvor der ikke er etableret skråningsbeskyttelse. Erosionen er forstærket her som følge af læsideerosion nordøst for den hårde kystbeskyttelse.

Desuden er skråningsfoden rykket tilbage ved Rågeleje, som følge af, at den gamle mole er ødelagt og derfor ikke i samme grad beskytter kysten sydvest for.

Derudover er der betydelig skræntfodserosion mellem Kampenhaug og Feriebyen. På en stor del af denne strækning ligger bebyggelsen dog trukket tilbage i forhold til stranden og skræntfodserosionen er derfor ikke et generelt problem.

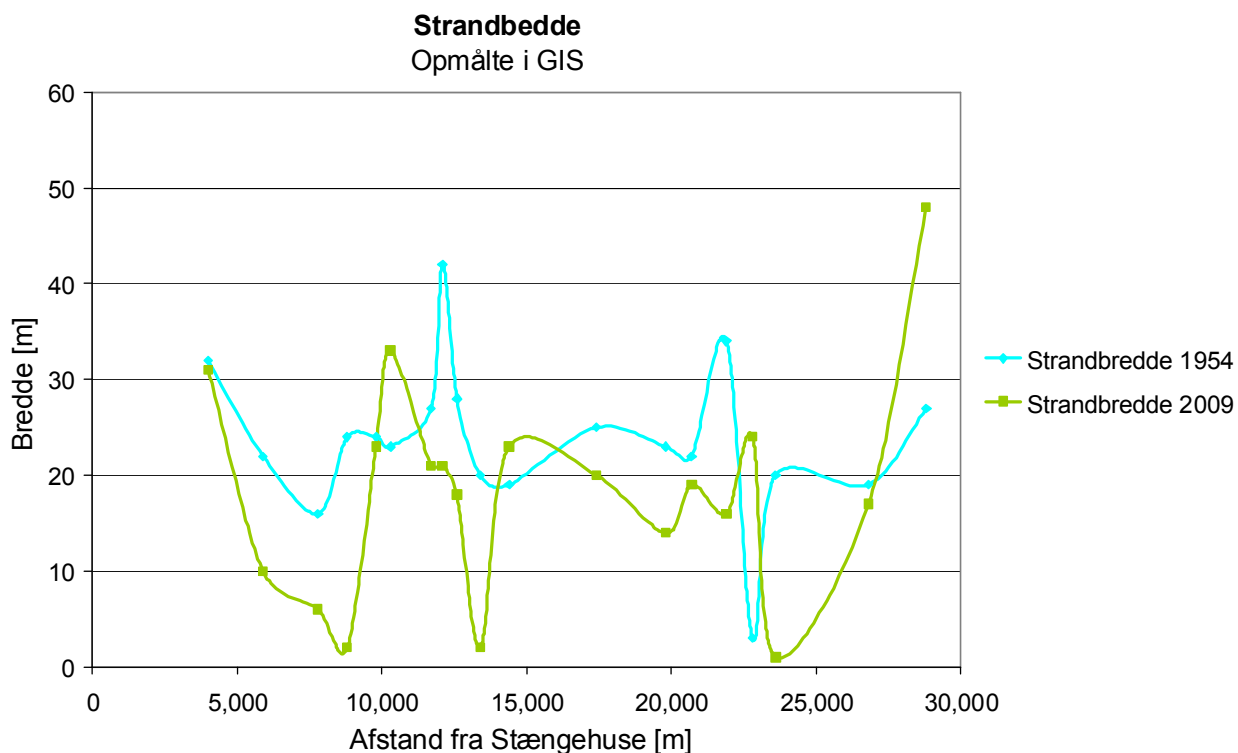
Analysen af skræntfoden viser, at skråningerne langs kommunens kyst i nogen udstrækning er blevet stabiliseret af skråningsbeskyttelser.



Figur 4-9 Skræntfodstilbagerykning

Sammenlignes kystlinjen og skræntfoden kan strandbredden bestemmes. Figur 4-10 viser strandens bredde i 1954 og 2009. Der er flere steder på strækningen, hvor stranden er forsvundet gennem de sidste godt 50 år. Det er blandt andet tilfældet ved Vincentstien, St. 9.700 samt ved Trillingerne, St. 13.500. Desuden er stranden mellem Tisvilde og Heatherhill mange steder under 10 m bred. Figuren viser, at strandbredden generelt er blevet reduceret med 10-20 m over de sidste godt 50 år.

Sandfodringen lokalt øst for Gilleleje Havn de seneste år, har betydet, at stranden er genetableret her, St. 22.800.

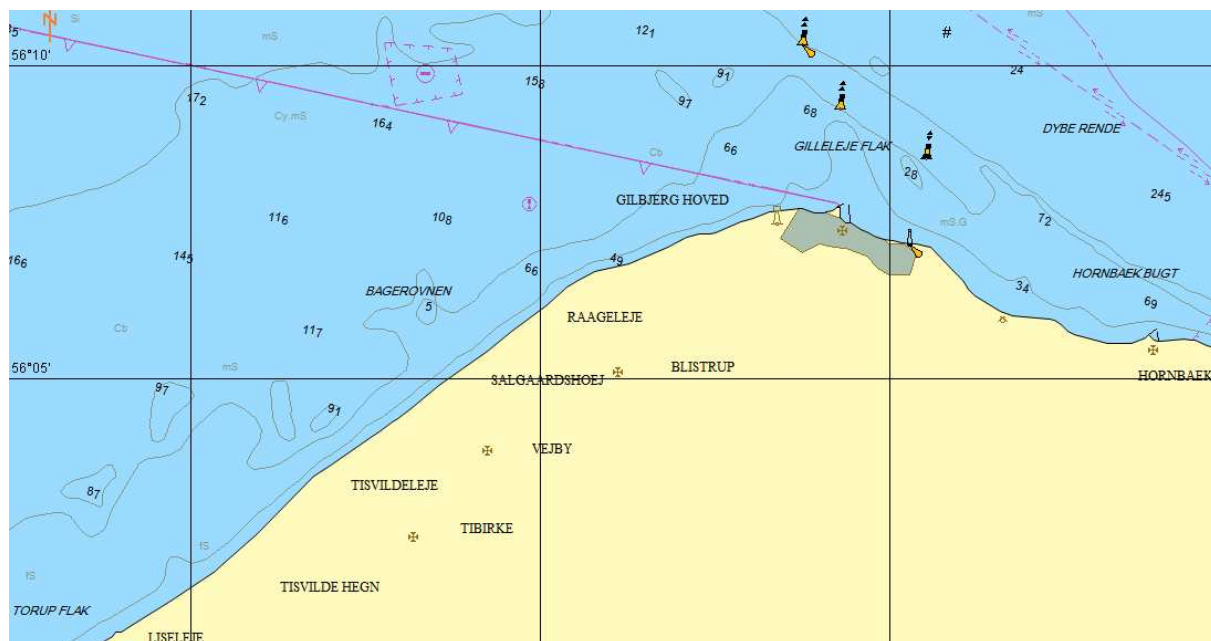


Figur 4-10 Strandbredde

4.3 Kystprofilet

Figur 4-11 viser et søkort af havbunden ud for Nordkysten fra Liseleje til Hornbæk. Der er 15 til 20 m vanddybde ud for kysten. Der er flere flak langs kysten, hvor det mest prominente er Gilleleje Flak. Gilleleje Flak danner et mere lavvandet område med dybder under 6 m, som strækker sig ud foran Gilleleje Havn.

I forbindelse med udarbejdelsen af basisrapporten (Nordkysten 1978), blev der foretaget en række kystpejlinger langs Nordkysten, Ref. /8/. I tillæg hertil har COWI trukket kystprofiler ud fra et søkort.

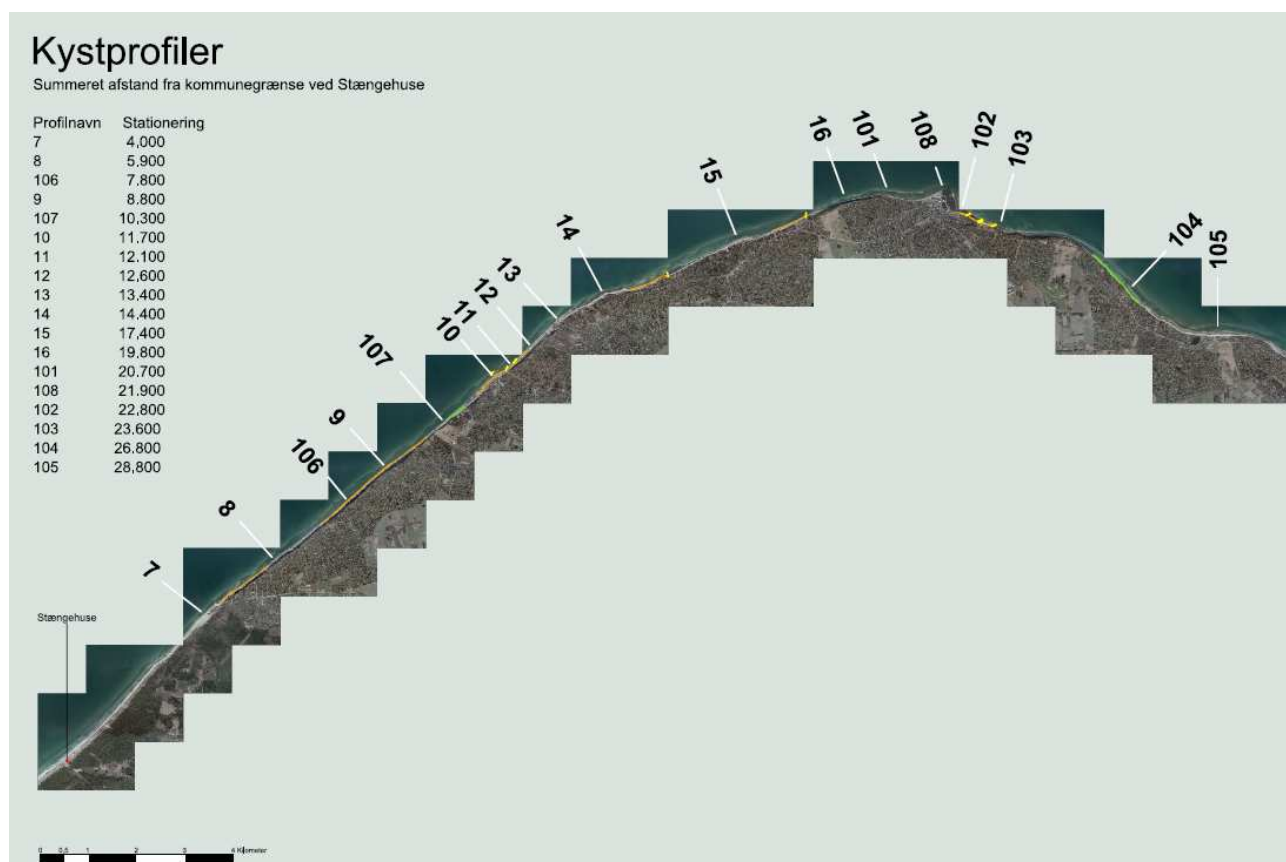


Figur 4-11 Søkort langs Gribskov Kommunes kyst, C-map

Figur 4-12 viser lokaliseringen af de anvendte profiler. Tabel 4-1 indeholder baggrundsinformationerne, se også tegning A005644-PT-002.

Datagrundgrundlaget er behæftet med betydelig usikkerhed som følge af den beskedne opløsning af dybdeforholdene på søkortene og at kystpejlingerne er af ældre dato. Det anbefales derfor at foretage en ny opmåling af hele kysten i forbindelse med realiseringen af sandfodringsprojektet.

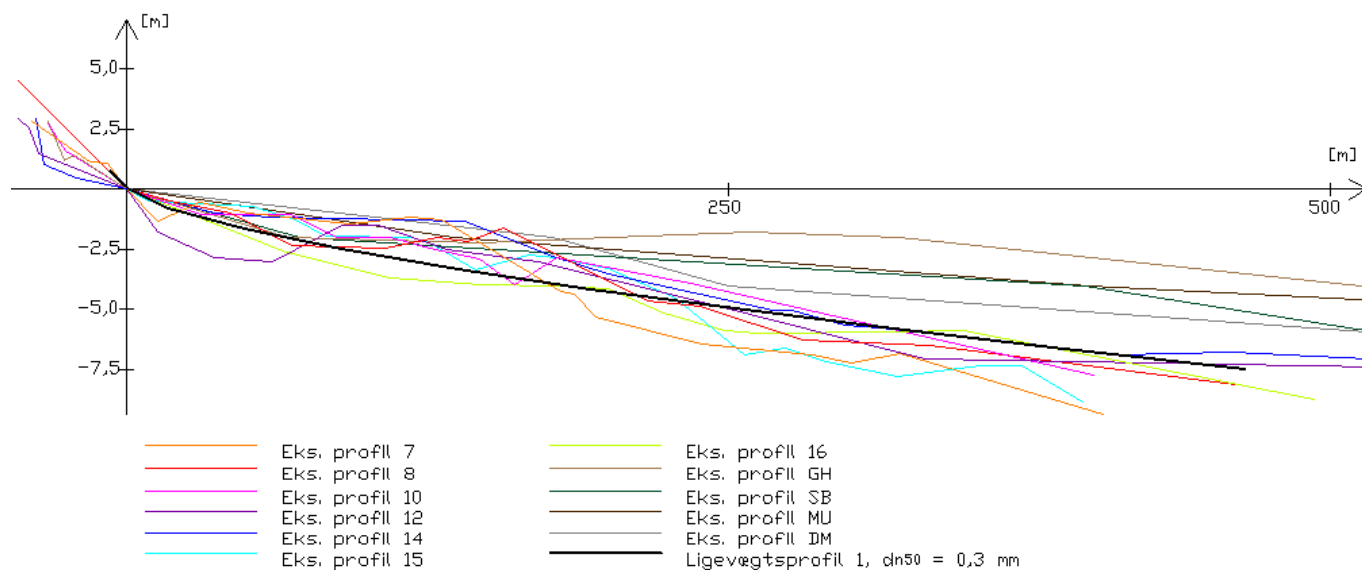
Figur 4-13 viser alle kystprofiler i samme koordinatsystem. Desuden vises ligevægtsstrandprofilen for en middelmørstørrelse på $d_{50}=0,30\text{mm}$ til sammenligning.



Figur 4-12 Lokalisering og stationering af anvendte kystprofiler

Tabel 4-1 Kystprofiler

Profil Navn	Lokalisering	Kilde	Stationering, m
Profil 7	Tisvilde	Ref. /8/	4.000
Profil 8	Helene Kilde	Ref. /8/	5.900
Profil 9	Kystvej	Ref. /8/	8.800
Profil 10	Rågeleje vest	Ref. /8/	11.700
Profil 11	Rågeleje	Ref. /8/	12.100
Profil 12	Rågeleje øst	Ref. /8/	12.600
Profil 13	Trillingerne	Ref. /8/	13.400
Profil 14	Kampenhauge	Ref. /8/	14.400
Profil 15	Tinkerup Strand	Ref. /8/	17.400
Profil 16	Gilbjerg hoved	Ref. /8/	19.800
Profil GH	Øst for Gilleleje Havn	Søkort	22.800
Profil SB	Strandbakkerne	Søkort	23.600
Profil MU	Munkerup	Søkort	26.800
Profil DM	Dronningmølle	Søkort	28.800



Figur 4-13 Kystprofiler langs Gribsskov Kommunes kyst

Størstedelen af den kystparallelle materialevandring foregår på revlerne og i opskyldzonen. Erosionen langs Nordkysten har generelt blotlagt modstandsdygtige stenmaterialer på stranden. Den naturlige havbund langs kysten er derfor stenet mange steder. Der er dog generelt en sandrevle, som løber parallelt med kysten 50-200m fra stranden, se Figur 4-13.

På lokaliteter med lille sedimenttransport og stor bølgepåvirkning vil revlerne være svagt markerede. Hårde aflejringer vil give et højtliggende abrasionsflak. Ved moderat modstandsdygtige aflejringer vil flakket være mindre udpræget og ligge dybere.

Revleprofiler findes både, hvor der udelukkende er marine aflejringer og ved nedbrydningsprofiler overlejret med sandrevler, hvilket er det oftest forekommende kystprofil på Nordkysten, se Figur 4-13 og Ref. /8/.

Figur 4-13 viser, at kystprofilerne langs Nordkysten generelt i middel har en hældning, der er i samme størrelsesordenen som ligevægtsprofilet for mellemkornet sand. Det betyder generelt, at sandfodring med fordel kan anvendes til at genopbygge sandstrandene på Nordkysten og at tabet af sand ud på dybere vand kan holdes på et acceptabelt niveau.

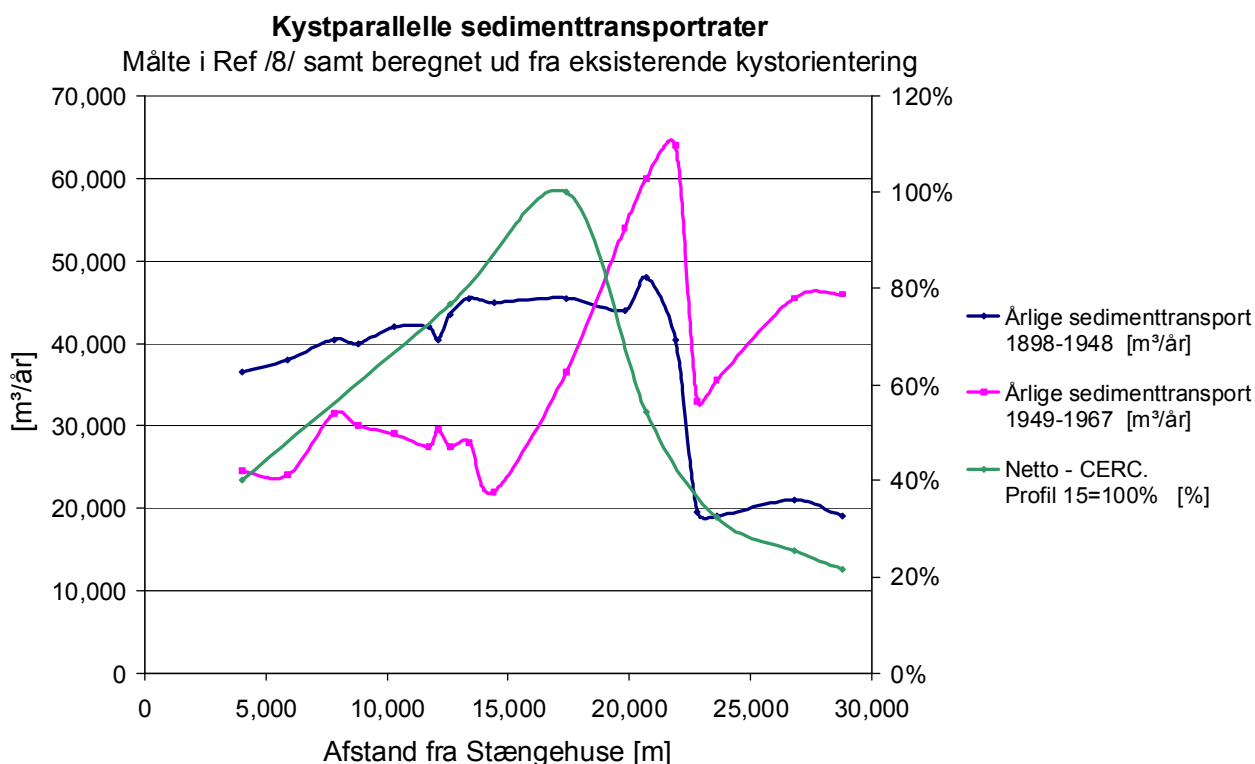
4.4 Sedimentbudget

Som en del af den indledende analyse af sedimentbudgettet for Nordkysten er den kystparallelle nettosedimenttransportkapacitet beregnet i en række punkter langs kysten baseret på den simple CERC-formel, se Afsnit 7.1. Der er tale om en overslagsmæssig beregning, som ikke kan benyttes til at bestemme de fakti-

ske transportrater, men som ved en relativ sammenligning kan benyttes til at belyse, hvilke kyststrækninger der eroderer eller rykker frem.

I basisrapporten fra 1978 er der opstillet et sedimentbudget for Nordkysten baseret på variationer i kystlinjens placering, Ref. /8/. Der tages i beregningen højde for, at de fine fraktioner udvaskes og derved forsvinder direkte ud på dybere vand. Den aktive dybde er vurderet til 7,5 m vest for Gilleleje og 6,0 m øst for Gilleleje. Den kystparallelle transport er summeret op i transportretningen, se Ref. /8/.

Figur 4-14 viser de estimerede nettosedimenttransportrater baseret på Ref. /8/, samt den normaliserede transportkapacitet baseret på CERC-formlen.



Figur 4-14 Sedimenttransportrater baseret på Ref. /8/ og CERC-formlen

Overordnet set viste analysen af sedimentbudgettet, at der er nulpunkt i den kystparallelle materialevandring ved Kikhavn, Ref. /8/.

Fra Kikhavn vokser den kystparallelle nettosedimenttransport jævnt til mellem 50.000 og 70.000 m³/år mod nordøst ved Gilleleje, St. 22.000. Fra Gilleleje til Hornbæk aftager nettotransporten til mellem 25.000 og 50.000 m³/år mod øst, for endeligt at falde til mellem 15.000 og 40.000 m³/år mellem Hornbæk og Helsingør.

Sedimenttransportraterne bestemt i Ref. /8/ passer kvalitativt med de beregnede transportkapaciteter estimeret med CERC-formlen, se Figur 4-14.

På Nordkysten i Gribskov Kommune øges den kystparallelle sedimenttransport fra Tisvilde til et sted mellem Tinkerup og Gilleleje Havn. På denne strækning er det derfor forventeligt, at kysten eroderer tilbage. Transporten aftager op til Gilleleje Havn og det er derfor forventeligt, at der sker aflejring af sand vest for Havnen, som blokerer den kystparallelle materialevandring. Strækningen øst for havnen modtager derfor ikke ret meget sand, hvilket betyder, at kysten ned mod Dronningmølle er udsat for erosion på trods af, at transportkapaciteten er reduceret i forhold til strækningen ved Gilbjerg Hoved. Ved Dronningmølle reduceres transportkapacitet som følge af, at kysten ændrer orientering og kysten er derfor under fremrykning.

Mod Hundested ender størstedelen af den kystparallelle materialetransport ved havnen og fjordgrundene. Mod øst passere sandet delvist Gilleleje Havn og Hornbæk Havn og forsætter mod Helsingør og aflejres på dybt vand på Lappegrunden og Disken.

De sedimenttransportrater som er estimeret i Ref. /8/, svarer til de faktiske transportrater, som er mindre end transportkapaciteten. Dette skyldes, at havbunden og stranden mange steder er dækket af sten, hvilket reducerer den faktiske transport betydeligt. I forbindelse med et sandfodringsprojekt, hvor en stor del af kystprofilen dækkes af sand, vil den faktiske transport derfor stige og ligge sig tættere op af den fulde sedimenttransportkapacitet. Det er især i opskyldszonen, at den faktiske transport vil øges.

Det anbefales at udføre et mere detaljeret studie af sedimenttransporten på langs og på tværs af kysten baseret på numerisk modellering i forbindelse med detailprojekteringen af sandfodringsprojekt.

4.5 Eksisterende anlægsaktiviteter på kysten

De lokale kystsikringslag foretager løbende mindre vedligeholdelsesarbejder på de eksisterende kystbeskyttelses anlæg.

Desuden foretages der årligt oprensning af indsejlingen ved Gilleleje Havn. Der er givet tilladelse til oprensning af 15.000 m³/år. Havnen har tilladelse til nyttiggørelse af sandet, og dumper det på nuværende tidspunkt på 4m vand øst for havnen. Der er desuden givet tilladelse til indvinding af ral og sten på stranden vest for Gilleleje Havn. Der indvindes årligt mellem 800 og 1200 m³.

Desuden sandfodres årligt øst for Gilleleje Havn for at kompensere læsideerosionen som følge af havnen. Der er i 2009 sandfodret med 850m³ umiddelbart øst for Gilleleje Havn og 3150 m³ ved Strandbakkene.

Ved indsejlingen til Hornbæk Havn oprenses årligt i størrelsesordenen 14.000 m³.

5 Inspektion og tilstandsvurdering

COWI har foretaget en inspektion af kysten i Gribskov Kommune mellem Stængehuse og Gilleleje den 11.8.2009 samt mellem Gilleleje og Villingebæk den 14.9.2009. Disse danner sammen med generelt kendskab til strækningen fra tidligere projekter grundlaget for tilstandsvurderingen af kommunens kyststrækning.

Inspektionen indeholder ikke en detaljeret tilstandsvurdering af de enkelte konstruktioner, men mere en generel beskrivelse af kystens beskaffenhed samt virkningen af de eksisterende kystbeskyttelseskonstruktioner på en række delstækninger.

I forbindelse med kystinspektionen er der blevet indsamlet et omfattende fotomateriale. I det følgende er der udvalgt en række foto, som benyttes til at dokumentere strandens beskaffenhed og konstruktionernes virkning og tilstand.

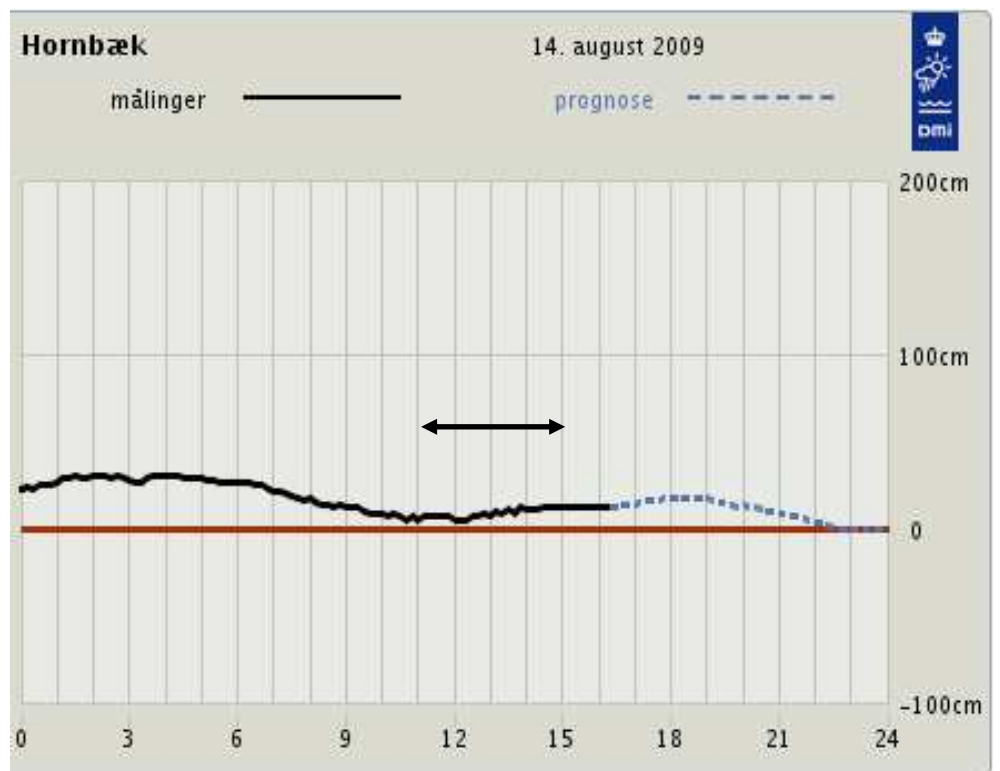
Hele billedmaterialet er desuden organiseret på en brugervenlig måde i en GIS database. Hvert enkelt billede er georefereret, således at man præcist kan genkalde, hvor og hvornår de er taget. Herved kan hvert enkelt billede vises på den korrekte geografiske lokalitet.

GIS-databasen kan på et senere tidspunkt udbygges med en mere detaljeret tilstandsvurdering af de enkelte kystbeskyttelseskonstruktioner, samt anbefalinger vedrørende sanering af anlæggene mm. Dette ligger udenfor skitseprojektet.

Figur 5-1 og Figur 5-2 viser vandstandsforholdene i Hornbæk i forbindelse med inspektionerne af kysten (sort pil). Figurene viser, at vandstanden har været nær middelvandstanden. Billederne fra inspektionerne vil derfor give et godt billede af forholdene langs kysten.



Figur 5-1 Vandstandsmålinger fra Hornbæk Havn den 11. august 2009, DMI

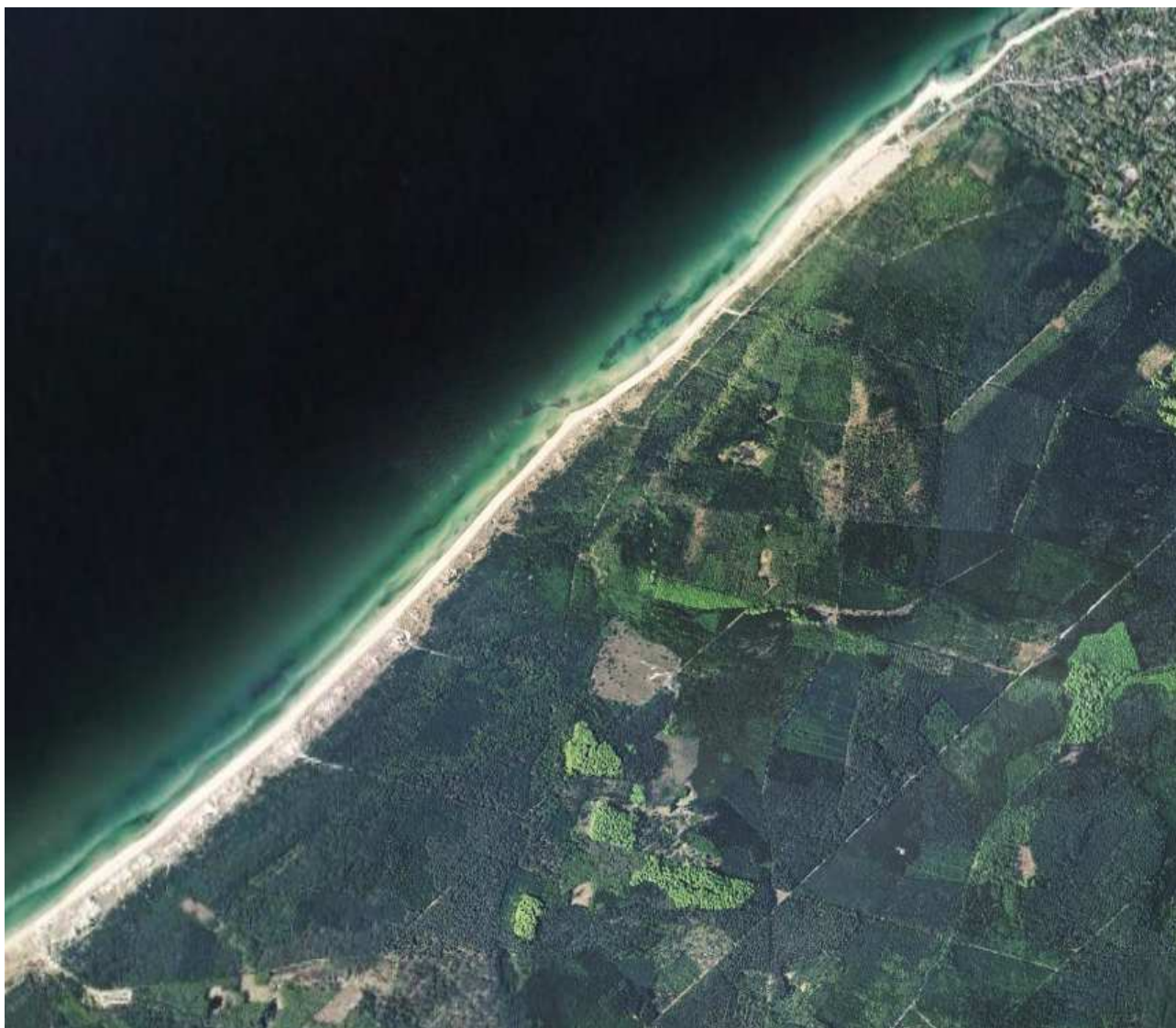


Figur 5-2 Vandstandsmålinger fra Hornbæk Havn den 14. august 2009, DMI

De eksisterende konstruktioners virkning beskrives generelt indenfor en række delstrækninger og herunder anbefales eventuelle områder, hvor der bør foretages en oprydning på stranden. Generelt er det kun virkningsløse og nedslidte konstruktioner, der anbefales fjernet.

5.1 Stængehuse til Tisvilde

Figur 5-3 viser et oversigtsbillede af kysten mellem Stængehuse og Tisvilde.



Figur 5-3 Oversigtsbillede af kysten mellem Stængehuse og Tisvildeleje, Google Earth, COWI

Mellem Stængehuse og Tisvildeleje er der en bred sand og ral strand. Der er generelt ikke nyere tegn på erosion af klitfoden, se Figur 5-4.



Figur 5-4 Sandstrand ved Stængehuse

Der er enkelte erosionsskår i klitterne oftest i forbindelse med stier ned til stranden, se Figur 5-5.



Figur 5-5 Små stier og erosionsskår i klitterne

Kysten op mod Tisvilde er naturlig og uden kystbeskyttelseskonstruktioner og den har en høj rekreativ værdi, se Figur 5-6. Adgangsforholdene er dog besvær-

lige, hvilket betyder, at strækningen ikke benyttes i så høj grad som potentialet giver mulighed for.



Figur 5-6 Bred attraktiv strand mellem Stængehuse og Tisvilde

Vandlinjen langs sandstranden har generelt et let bølget forløb på strækningen, hvilket indikerer, at der er heste-huller langs stranden, se Figur 5-6 og Figur 5-7. De regelmæssige heste-huller indikerer, at bølgerne generelt har en lille indfaldsvinkel og at den kystparallelle nettosedimenttransport generelt er forholdsvis beskeden. Dette underbygges af, at der selv uden kystbeskyttelseskonstruktioner er en begrænset erosion af kliffoden på strækningen.

Ved Stængehage er der et lille fremspring på kysten, som skyldes et lavvandet stenflak udfor stranden. Øst for Stængehage er stranden smallere og klitterne ser ud til at erodere lidt fra tid til anden som følge af læsideerosion øst for kystfremspringet, se Figur 5-7.



Figur 5-7 Bred attraktiv strand sydvest for Tisvilde

Vest for bølgebryderen i Tisvilde er der opbygget en bred sand og ralstrand med høj rekreativ værdi, se Figur 5-8. Det er en af de mest attraktive strande på Nordkysten, som tiltrækker mange mennesker om sommeren. Bag stranden ligger en stor offentlig parkeringsplads, som gør at adgangsforholdene er ideelle. Der er livredderservice ved Tisvilde om sommeren.

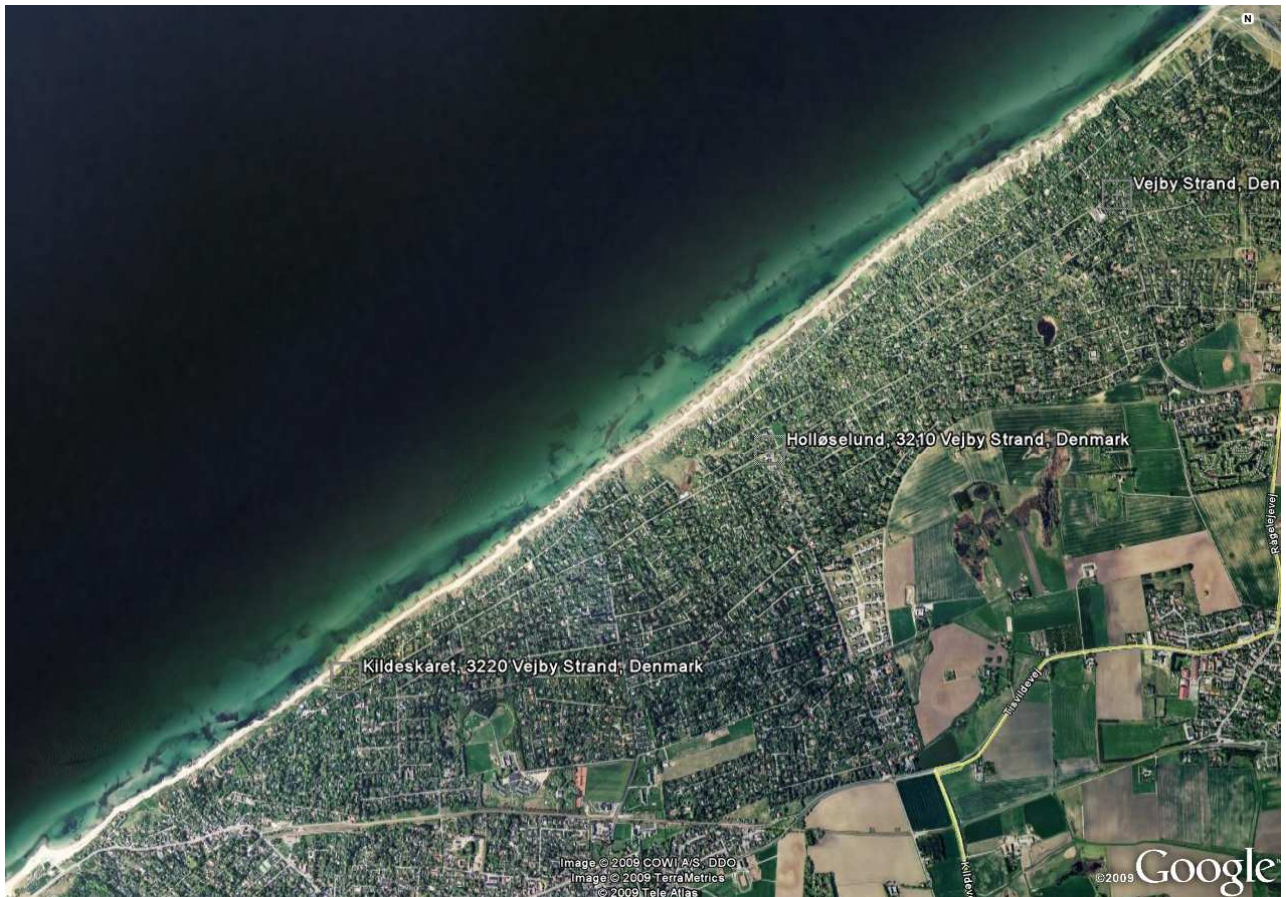


Figur 5-8 Bred attraktiv sandstrand ved den store parkeringsplads i Tisvilde

5.2 Tisvilde til Vejby Strand

Figur 5-9 viser et oversigtsflyfoto af kysten mellem Tisvilde og Vejby Strand.

Ved Tisvildeleje Bølgebryderen ændrer kysten orientering, se Figur 5-9 og Figur 5-10. Tisvildeleje Bølgebryderen er bygget for at skabe læ for kystfiskerne, Ref. /8/. Bølgebryderen er delvist dækket af sand, som vandrer op langs kysten fra sydvest. Dette viser, at der er betydelige mængder sand som passerer uden om og derved videre op langs kysten.

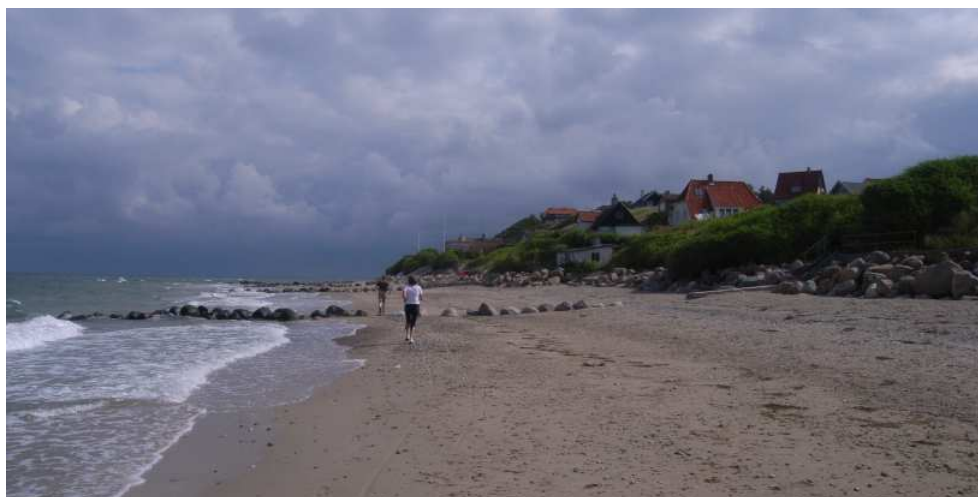


Figur 5-9 Oversigtsbillede af kysten mellem Tisvilde og Vejby Strand, Google Earth, COWI



Figur 5-10 Bølgebryderen ved Tisvilde

Der er mange små kystbeskyttelseskonstruktioner ved Tisvilde, som fastholder en sandstrand inde i bugten øst for Tisvilde Bølgebryderen, se Figur 5-11. Konstruktionerne er sikkert blevet opført efter den store bølgebryder for at imødegå læsideerosionen nordøst for anløbspladsen.



Figur 5-11 Bugten øst for bølgebryderen ved Tisvilde

Der er mange små og nedslidte kystbeskyttelseskonstruktioner øst for Tisvilde Bølgebryderen, som skæmmer stranden og ikke fungerer kystteknisk optimalt set i forhold til at stabilisere sandstranden, se Figur 5-12.



Figur 5-12 Nedslidte høfder ved Tisvilde

På strækningen mellem Helene Kilde og Tisvilde er stranden flere steder forsvundet foran den store lodrette betonmur, som er bygget for at beskytte skråningerne, se Figur 5-13. Den lodrette mur reflekterer bølgerne og øger derved erosionen af stranden foran. Man bør overveje at udlægge sten foran muren for at dæmpe bølgerefleksionen og derved øge højden af stranden. Der er desuden et meget stort antal små høfder og bølgebrydere foran muren, som ikke har en optimal kystteknisk virkning, se Figur 5-14.



Figur 5-13 Stor skråningssikring i beton, hvor stranden er forsvundet øst for Tisvilde



Figur 5-14 Stor skråningssikring i beton, hvor stranden er forsvundet øst for Tisvilde

Øst for Helene Kilde er der etableret et høfdefelt foran skråningsbeskyttelsen, se Figur 5-15. Høfderne er forholdsvis store og har en god indbyrdes afstand. Dette medfører, at de virker kystteknisk fornuftigt og der er en bred sandstrand på det meste af strækningen.



Figur 5-15 Velfungerende høfdefelt øst for Helene Kilde

Øst for hofdefeltet ved Nordre Strandvej er der etableret et felt af bølgebrydere, som også har en god kystteknisk funktion. Bølgebryderne fastholder en bred strand foran skråningsbeskyttelsen, som her er udstøbt som stenglacis, se Figur 5-16.



Figur 5-16 Velfungerende bølgebryderfelt ved Nordre Strandvej

De veldimensionerede bølgebrydere ender ved Kaprifolievej, hvor stranden er forsvundet og skråningen er udsat for erosion i en sådan grad, at den svage skråningsbeskyttelse af pæle er ødelagt, se Figur 5-17. Der bør ryddes op på stranden på denne strækning. Der er langt fra skråningsfoden ind til den nærmeste bebyggelse, så kysten bør få lov til at udvikle sig naturligt her.



Figur 5-17 Nedslidt og uvirksom skråningsbeskyttelse ved Kaprifolievej

Klinterne er høje og stejle ved Violvej. Der er her etableret kraftige skråningsbeskyttelser for at beskytte husene langs toppen af klinten, som flere steder ligger faretruende tæt på skrænten, se Figur 5-18 og Figur 5-19. Stranden er imidlertid forsvundet, da de små bølgebrydere ikke fungerer kystteknisk optimalt.



Figur 5-18 Kraftig skråningsbeskyttelse med fremskreden erosion af stranden ved Violvej



Figur 5-19 Kraftig skråningsbeskyttelse ved Kystvej, hvor stranden er forsvundet

Situationen fortsætter langs størstedelen af Kystvej, hvor stranden er meget smal og mange steder helt forsvundet mellem de effektive skråningsbeskyttelser og små utilstrækkelige bølgebrydere, se Figur 5-20.



Figur 5-20 Kraftig skråningsbeskyttelse ved Kystvej (Mågevej), hvor stranden er forsvundet

Ved Svalevej er erosionen af stranden så fremskredet, at skråningsbeskyttelsen ikke kan beskytte klinten, som er skredet ud og står helt blottet for vegetation, se Figur 5-21. Man bør her øge højden af skråningsbeskyttelsen og genetablere stranden foran så bølgepåvirkningen af skråningen bremses.



Figur 5-21 Stranden er eroderet bort og skråningen er under kraftig erosion på trods af kraftig skråningsbeskyttelse

Den hårde kystbeskyttelse øst for Tisvilde ender ved Markvænget, hvor der er en offentlig adgangssti til stranden, se Figur 5-22. Hele kysten sydvest for ned til Tisvilde er udsat for kysterosion. Her har skråningsbeskyttelserne dog generelt kunnet forhindre erosion af skrånningerne. Den kystparallelle materialevandring mod nordøst er derfor blevet reduceret, hvilket har medført omfattende læsideerosion langs Vincentstien øst for Markvænget, som i dag er ubeskyttet, se Figur 5-23.

For at forhindre yderligere skræntfodserosion kan man overveje at etablere en skråningsbeskyttelse foran de mest truede grunde. Desuden anbefales det at sandfodre for at genskabe en attraktiv strand ved den offentlige adgangssti ved Markvænget. Det kan blive nødvendigt at etablere yderligere en eller to bølgebrydere for at beskytte den nye strand op mod Heatherhill, hvor læsideerosion vil have mindre betydning.

Erosionen ved Vincentstien vil fortsætte et stykke tid efter, at der eventuelt etableres kystbeskyttelse på denne strækning. Dette skyldes, at klinten er ustabil som følge af kysterosionen. Det er derfor sandsynligvis, at de private strandgrunde vil blive påvirket af erosionen i fremtiden selv efter at Vincentstien forsvinder i havet. Der er dog ikke umiddelbart fare for bebyggelsen langs Vincentstien, da de fleste huse ligger tilbagetrukket i forhold til klinten.



Figur 5-22 Adgangsvej til stranden ved Markvænget. Kysten er beskyttet af både kraftig skråningsbeskyttelse og bølgebrydere, men stranden er næsten forsvundet

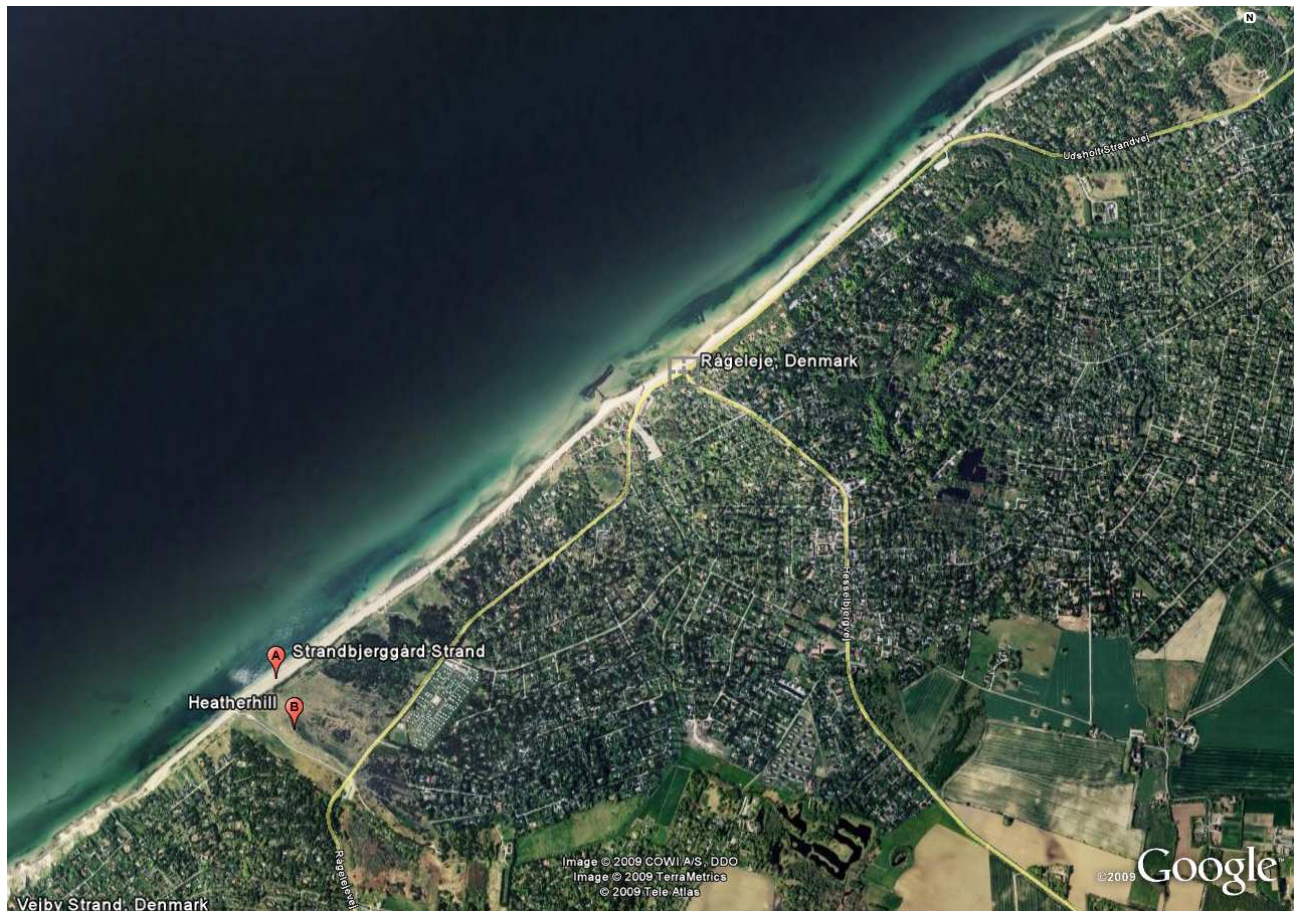


Figur 5-23 Fremskreden læsideerosion langs Vincentstien øst for bølgebryderne.

5.3 Vejby Strand til Trillingerne

Figur 5-24 viser et oversigtskort af kysten mellem Heatherhill og Trillingerne mellem Rågeleje og Udsholt.

Ved Heatherhill er der en strækning ned mod Rågeleje, hvor der ikke er bebyggelse langs klinten. Det betyder, at kysten har udviklet sig naturligt og der derfor ikke er nævneværdige kystbeskyttelseskonstruktioner på strækningen. Klinterne er i stedet beskyttet af en bred naturlig rullestensstrandvold med en højde på op til kote +2,0 til +2,5m. Der er kun i begrænset omfang tegn på erosion af skråningen på strækningen ned mod Strandbjerggård, se Figur 5-25 og Figur 5-26.



Figur 5-24 *Oversigtsbillede af kysten mellem Vejby Strand og Trillingerne mellem Rågeleje og Udsholt, Google Earth, COWI*



Figur 5-25 *Bred rullestensstrandvold ved Heatherhill*



Figur 5-26 Bred rullestensstrandvold ved Heatherhill, hvor der kun er begrænset erosion af skrænten

Udfor Strandbjerggård Camping er der en række gamle træhøfder, som har medvirket til at beskytte strandvoldene langs Heatherhill. Høfderne er i dag kraftigt nedbrudte og vedligeholdes ikke. Høfderne har derfor en meget begrænset virkning og skæmmer desuden denne naturlige kyststrækning, se Figur 5-27 og Figur 5-28. Disse høfder bør fjernes for at genetablere den smukke naturlige kyst. Dette kan muligvis medføre en lille forøgelse af kysterosionen, hvilket dog ikke vil skabe problemer her, da stranden er opbygget af rullesten og der er et bredt bagland.



Figur 5-27 Bred rullestensstrandvold med nedslidte høfder ved Strandbjerggård



Figur 5-28 *Bred rullestensstrand med nedslidte hølfer ved Strandbjerggård*

Vest for Rågeleje ændrer kysten gradvist orientering, som følge af luvsidetil-sandingen ved Rågeleje Bølgebryderen. Det betyder, at stranden naturligt er mere sandet, se Figur 5-29.



Figur 5-29 *Bred rullestensstrand vest for Rågeleje*

Rågeleje Bølgebryderen er opført i 1918 for at skabe læ for kystfiskerne. Molen er oprindeligt konstrueret som en T-bølgebryder. Molen medførte efter sin opførelse betydelig luvsideaflejring og tilhørende læsideerosion. Læsideerosionen

har medført, at det har været nødvendigt at opføre kystbeskyttelse nordøst herfor. Molen er ikke blevet vedligeholdt siden 1928, Ref. /8/.

Rågeleje Bølgebryderen er faldet sammen og har i dag en topkote umiddelbart under daglig vande. Molen er dog stadig medvirkende til at stabilisere stranden sydvest herfor, samtidig med, at den tillader den kystparallelle materialevandring at passere i nogen udstrækning.



Figur 5-30 Resterne af bølgebryderen ved Rågeleje ligger i dag som et lavvandet rev

Der er dannet et smalt kystfremspring af sand i læ bag bølgebryderen, se Figur 5-31. Bølgebryderen ligger i dag som et lavvandet rev og hjælper derfor med til at stabilisere stranden bagved og mod vest. Det anbefales derfor at lade revet ligge. Man kunne dog overveje at reducere højden af revet lidt, således at revet kunne benyttes rekreativt til surfing, som er en meget populær fritidsaktivitet ved Rågeleje.



Figur 5-31 Salient med sandstrand bag resterne af bølgebryderen ved Rågeleje

Øst for Rågeleje Molen findes resterne af en række træhøfder, som blev anlagt for at beskytte kystvejen mod læsideerosion. Høfderne er i dag stort set virkningsløse og nedslidte, se Figur 5-32 og Figur 5-33. Der er desuden bygget en stor betonpromenade langs kystvejen for at forhindre, at vejen skyller væk. Det har imidlertid betydet, at stranden foran er forsvundet. Det er problematisk, da Rågeleje har gode parkeringspladser og et højt rekreativt potentiale. Desuden udsættes betonpromenaden for betydelig bølgepåvirkning, som fra tid til anden skaber oversvømmelse af kystvejen og isdannelse i frostvejr. For at reducere bølgerefleksionen foran promenaden, bør man overveje at udlægge en stenbeskyttelse foran. Dette vil kunne beskytte muren mod underminering og samtidig øge højden af stranden.



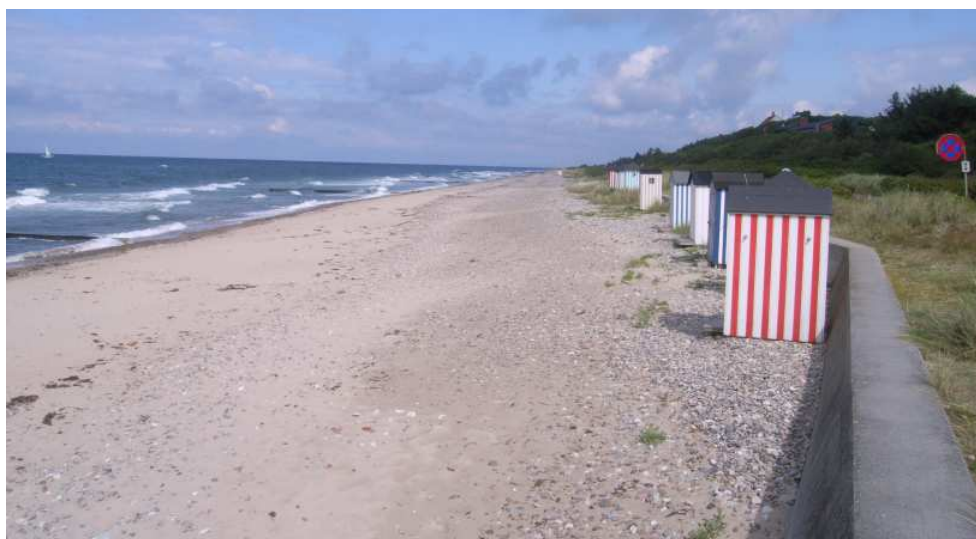
Figur 5-32 Stor betonpromenade langs kystvejen i Rågeleje



Figur 5-33 Nedslidte træhøfder foran betonpromenaden i Rågeleje

For at forøge bredden af stranden nordøst for Rågeleje Molen kan det overvejes at etablere en eller to høfder for at sikre en bred sandstrand foran promenaden samtidig med at strækningen sandfodres.

Læsideerosionen som følge af Rågeleje Molen fortsætter mod nordøst, hvor der er etableret en nyere gruppe træhøfder ud mod Trillingerne, se Figur 5-34. Stranden er bredere centralt på strækningen.



Figur 5-34 Bred ral og sandstrand langs Rågeleje Strandvej

Kystfremspringet ved Trillingerne er mere erosionsresistent og sandstranden afløses af en ralstrand i takt med at vanddybden udfor kysten øges. Denne strækning har været udsat for erosion, og der er derfor etableret en ny kraftig fremskudt skråningsbeskyttelse langs strandvejen, se Figur 5-35. Imidlertid har skråningsbeskyttelsen betydet, at stranden er forsvundet ud for Rågeleje Strandpark, hvilket har gjort denne strækning uegnet til rekreative formål eller decideret farlig at bade fra.

For at øge den rekreative værdi af stranden udfor Rågeleje Strandpark burde skråningsbeskyttelsen være flyttet tilbage på stranden så tæt på vejen som muligt. Herved kunne der stadig have været en sandstrand ud for parkeringspladsen, så man kan udnytte det rekreative potentiale. Vanddybden er forholdsvis stor udfor Rågeleje Strandpark, og det vurderes derfor, at sandfodring ikke er en optimal løsning udfor Rågeleje Strandpark.



Figur 5-35 Stor ny fremskudt skråningsbeskyttelse ved Rågeleje Strandpark

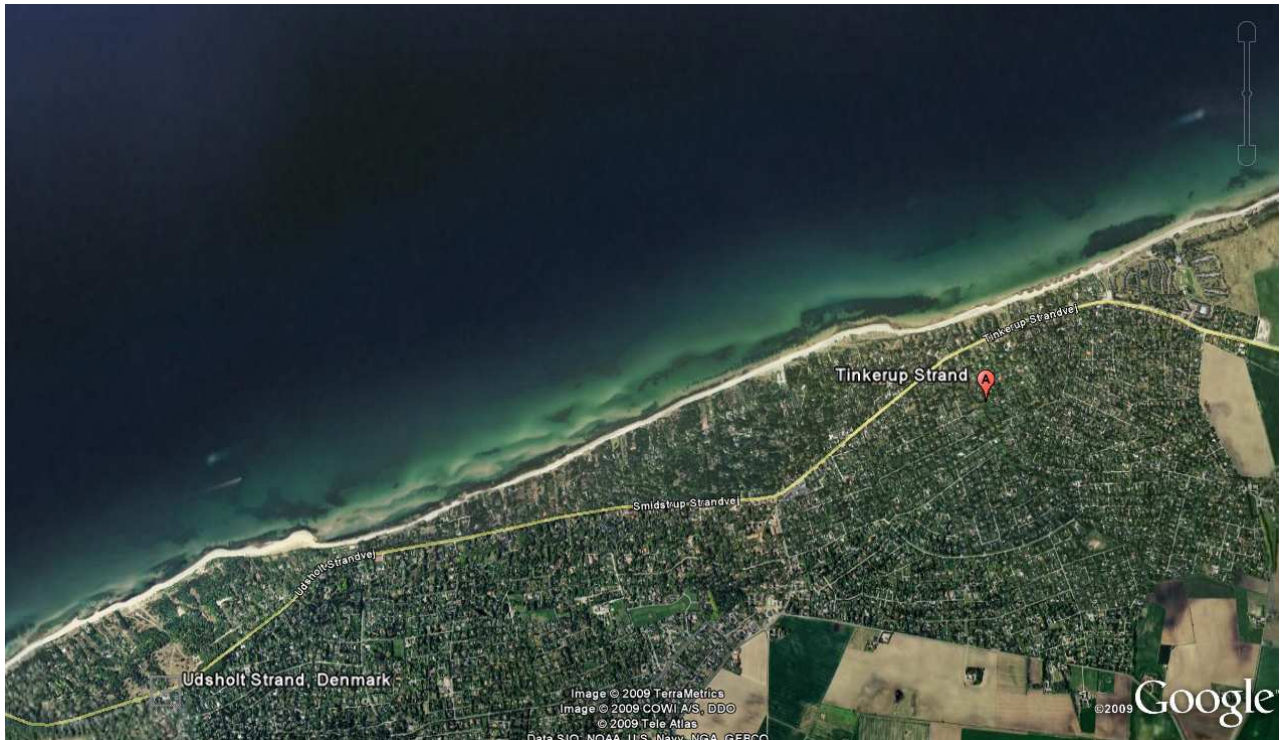
Ved kystfremspringet ved Trillingerne er stranden forsvundet helt og der er etableret en stor privat skråningsbeskyttelse, som forhindrer fri passage langs kysten, se Figur 5-36.



Figur 5-36 Stor fremskudt skråningsbeskyttelse ved Trillingerne

5.4 Trillingerne til Tinkerup Strand

Figur 5-37 viser et oversigtsbillede af kysten mellem Trillingerne og Tinkerup Strand. Kysten er domineret af en række kystfrespring med rullesten, samt en række svagt markerede bugte ind mellem.



Figur 5-37 Oversigtsbillede af kysten mellem Udsholt og Tinkerup, Google Earth, COWI

Umiddelbart øst for kystfrespringet ved Trillingerne er der en naturlig ralstrand, som beskytter kystgrundene mod erosion, se Figur 5-38 og Figur 5-39. Der er generelt ingen kystbeskyttelseskonstruktioner på strækningen ned mod Kampenhaug, hvor der er et kystfrespring bagved et stenrev, se Figur 5-40.



Figur 5-38 Rullestensstrand øst for pynten ved Trillingerne



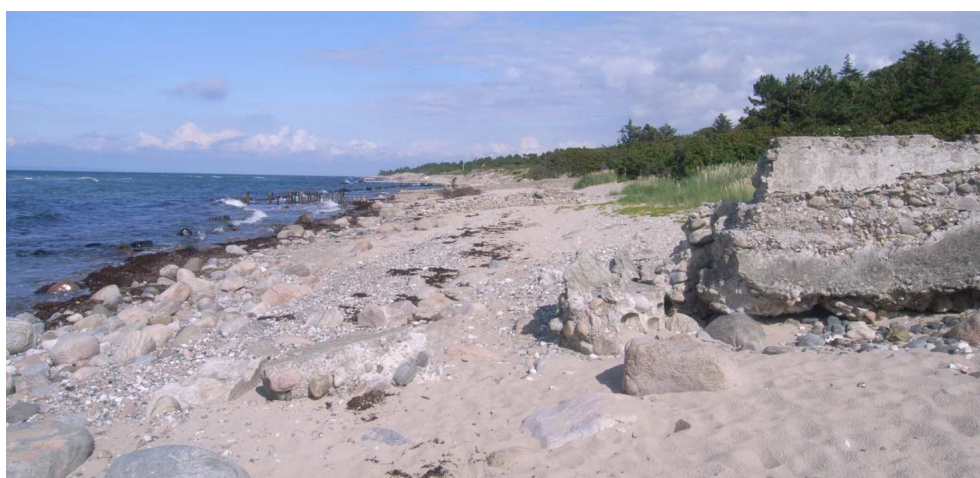
Figur 5-39 Rullestensstrand ved Argusvej og A.P. Møller-grunden



Figur 5-40 Kystfremspringet ved Kampenhaug

Øst for kystfremspringet ved Kampenhaug er kysten dækket af sten og der er hyppige spor af erosion langs skråningen, se Figur 5-41. Der dog også flere steder store massive skråningsbeskyttelser, som er i forholdsvis god stand, se Figur 5-42. Der er desuden mange gamle kystbeskyttelseskonstruktioner på stranden, som generelt er i dårlig stand og som ikke virker optimalt. Stranden fremtræder rodet og har begrænset rekreativ værdi.

For at øge den rekreative værdi af Udsholt strand bør der ryddes op i de uvirkelige og nedslidte konstruktioner. Stenmaterialerne kunne eventuelt benyttes til at forstærke skråningsbeskyttelsen langs de svageste strækninger.



Figur 5-41 *Nedslidt og virkningsløs kystbeskyttelse øst for kystfremspringet ved Kampenhaug*



Figur 5-42 *Voldsom skråningsbeskyttelse ved Strandbakkevej*

På kyststrækning mellem Mejsevej og Morbærvej er der på nuværende tidspunkt næsten ingen hård kystbeskyttelse, se Figur 5-43 og Figur 5-44. Der er mindre erosion af bagstranden, men husene i første række ligger generelt tilbagetrukket, hvilket betyder, at der ikke er fare for bebyggelsen i nær fremtid.

Strækningen ønskes friholdt for sandfodring for at bevare den naturlige og attraktive kyst.



Figur 5-43 Naturlig ral og sandstrand ved Rylevej



Figur 5-44 Naturlig sandstrand ved den offentlige parkeringsplads ved Smidstrup Søvej

Øst for parkeringspladsen ved Smidstrup Søvej findes en trekantet strandvoldsformation på en strækning på ca. 500m, som langsomt vandrer mod nordøst,

Ref. /8/, se Figur 5-45. Denne naturlige kystform beskytter baglandet mod erosion og har skabt et bredt forland, som er dækket af vegetation.



Figur 5-45 Bred rullestensstrandvold ved kystfremspringet ved Fagerhøjvej

På strækningen mellem Tinkerup Strand og Gilbjerg Ferieby har der været erosion, som sandsynligvis skyldes den store strandvoldsformation vest herfor, som blokerer en del af den kystparallelle materialevandring.

Centralt på strækningen er der etableret en række bølgebrydere, som har skabt en række smalle sandstrande ind imellem, se Figur 5-46. Der er flere skråningsbeskyttelser langs bagstranden.

Der er flere offentlige parkeringspladser på strækningen, som herved har et højt rekreativt potentiale. For at øge den rekreative værdi af denne strækning anbefales det at sandfodre her.

Bølgebryderen ligger meget tæt på land og har en stor udstrækning. Man kunne derfor i forbindelse med sandfodringsprojektet overveje at omlægge til færre men større bølgebrydere for at øge den rekreative værdi af strækningen.



Figur 5-46 Smal sandstrand bag bølgebryderne ved Tinkerup Strandvej

Ved Gilbjerg Ferieby er der erosion af skråningen og der er en række nedslidte og virkningsløse betonkonstruktioner, som skæmmer stranden, se Figur 5-47.

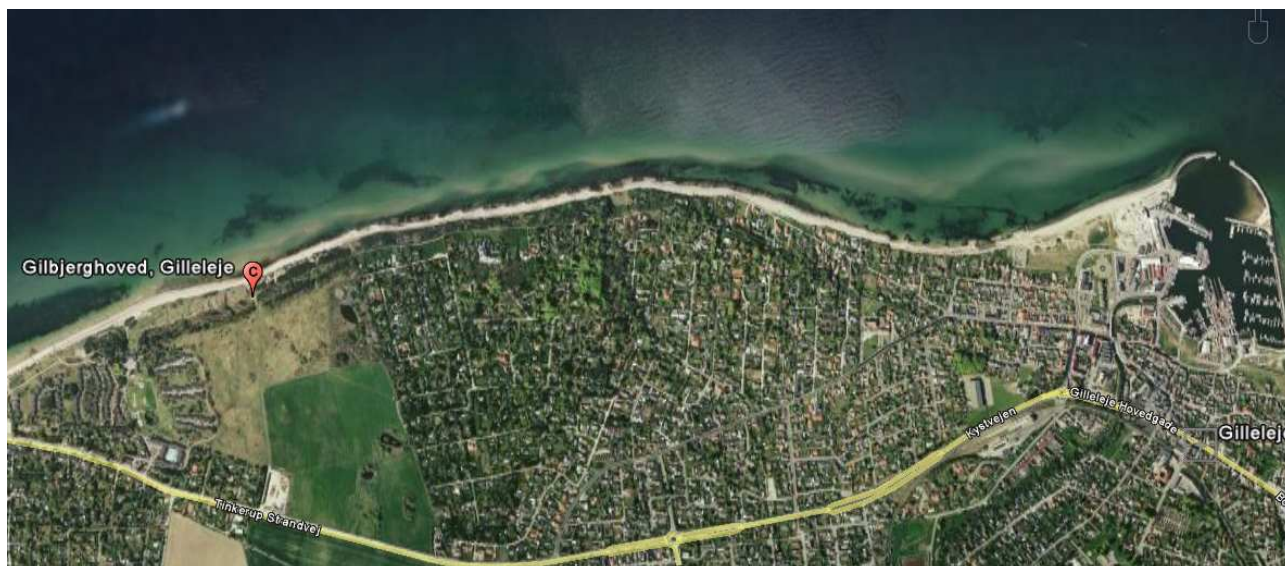
I forbindelse med en sandfodring på denne strækning kunne man overveje at erstatte den nedslidte høfde med en større høfde / bølgebryder for at bevare en lang sandstrand ved feriebyen.



Figur 5-47 Smal strand og nedslidt kystbeskyttelse øst for bølgebryderne ved Feriebyen

5.5 Tinkerup Strand til Gilleleje Havn

Figur 5-48 viser kysten mellem Tinkerup Strand og Gilleleje Havn. Gilbjerg Hoved ligger som et prominent forbjerg centralt på strækningen.



Figur 5-48 *Oversigtsbillede af kysten mellem Tinkerup Strand og Gilleleje Havn, Google Earth, COWI*

Øst for feriebyen er der en naturlig ralstrand foran de høje klinter ved Gilbjerg Hoved. Klinteren er i den vestligste ende udsat for erosion og der er således friske skred langs bagstranden, hvor vegetation og sedimenter skrider ned på stranden og eroderes bort af bølgerne i forbindelse med ekstreme højvande og bølgepåvirkning, se Figur 5-49. Der er mange store sten på stranden, som hjælper med til at holde kysttilbagerykningen på et begrænset niveau. Der er ingen bebyggelse umiddelbart bag skrænten.



Figur 5-49 *Smal stenstrand og erosion af klinteren ved Gilbjerg Hoved*

Øst for Gilbjerg Hoved er der igen bebyggelse langs toppen af skråningen og det har derfor været nødvendigt at etablere en sammenhængende skråningsbeskyttelse, samt en række små bølgebrydere med høfder ind imellem, se Figur 5-50. Der er mange små konstruktioner på strækningen op mod Børstrup Hage og da den smalle strand består af ral og sten har strækningen ikke særlig stor rekreativ værdi. Der er forholdsvis dybt udfor kysten, hvilket gør, at en sandfodring på dette sted vil medføre store omkostninger.



Figur 5-50 Smal stenstrand beskyttet af små bølgebrydere og skråningsbeskyttelse ved Gilbjergstien

Ved Børstrup Hage er der blevet etableret et lavvandet stenflak langs stranden, se Figur 5-51. Stenflakket bryder og refrakterer bølgerne således, at de bliver mindre og mere parallelle med kystlinjen. Stenflakket har derved skabt en bred ral og sandstrand uden dybe bugtninger. Dette betyder, at passage og ophold foran strandgrundene er mulig langs hele strækningen på trods af, at der er en stor bølgeindfaldsvinkel langs kysten. Stenflakket har endvidere medført, at der nu ikke længere er en åben strandlinje. Det er således kun muligt for badende at komme i vandet ved de såkaldte badeåbninger.



Figur 5-51 Stenflak med ral og sandstrand ved Børstrup Hage

Øst for stenflakket er stranden smal og flere steder næsten forsvundet mellem de små høfder, se Figur 5-52. Det har således været nødvendigt at bygge kraftige skråningsbeskyttelser for at beskytte strandgrundene mod havet. De små høfder er ikke egnede til at beskytte stranden på denne type lokalitet.



Figur 5-52 Kysten øst for stenflakket ved Børstrup Hage er beskyttet af små høfder og kraftige skråningsbeskyttelser

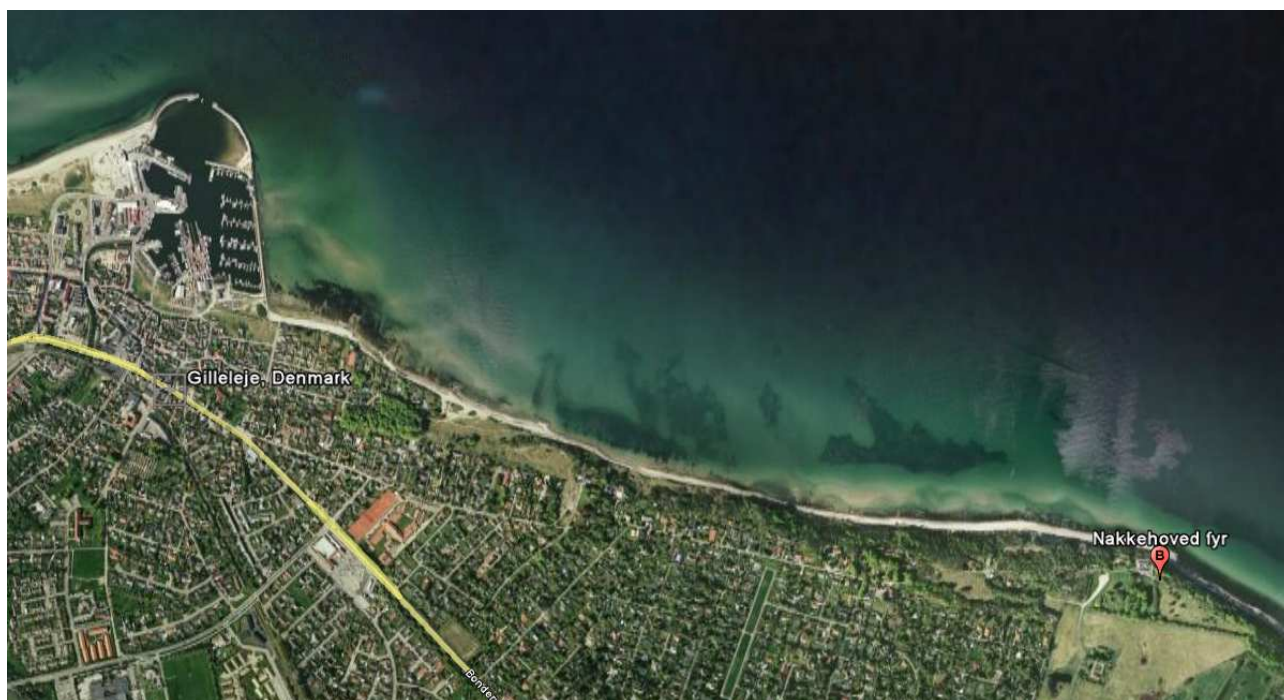
Vest for Gilleleje Havn har luvsideaflejringerne skabt en bred ral og sandstrand med høj rekreativ værdi, se Figur 5-53. Den del af stranden, som ligger nærmest havnen benyttes i dag kommercielt til indvinding af ral og grus. En del af det sand, der vandrer langs kysten aflejres på stranden vest for havnen og resten vandrer ud i sejlrenden. Kun er mindre del af transporten vurderes naturligt at vandre forbi havnen.



Figur 5-53 Bred attraktiv sandstrand vest for Gilleleje Havn

5.6 Gilleleje Havn til Nakkehoved

Kysten mellem Gilleleje Havn og Nakkehoved er vist på Figur 5-54.



Figur 5-54 Oversigtsbillede af kysten mellem Gilleleje Havn og Nakkehoved, Google Earth, COWI

Øst for Gilleleje Havn er kysten rykket tilbage på grund af læsideerosion, som skyldes, at havnen delvist blokerer den kystparallelle materialevandring. Der udføres dog løbende sandfodringer umiddelbart øst for havnen samt ved strandbakkerne for at opretholde en attraktiv sandstrand om sommeren, se Figur 5-55.



Figur 5-55 Bred attraktiv sandstrand skabt ved sandfodring øst for Gilleleje Havn

Som udgangspunkt er stranden mellem havnen og Strandbakkerne dog smal og stenet, se Figur 5-56. Der er en række mindre nedslidte konstruktioner, som skæmmer stranden og som bør fjernes for at øge badesikkerheden samt for at forøge den rekreative værdi af den østlige strand i Gilleleje.



Figur 5-56 Smal strand med mange små nedslidte konstruktioner øst for Gilleleje Havn

Der er et bredt lavvandet flak øst for havnen. Den yderste del af flakket er dækket af en revle, der leder sandet som transporteres udenom havnen tilbage til stranden øst herfor. Revlen hæfter på kysten ved Strandbakkerne, hvor strandparken skaber en høj rekreativ værdi for byen. Strandparken ved Strandbakkerne er naturligt stenet, men den årlige sandfodring bevirker, at der er sandstrand midt på sommeren, se Figur 5-57.



Figur 5-57 Sandstrand ved Strandbakkerne skabt ved sandfodring

Det er forholdsvis små mængder sand, der udlægges ved Strandbakkerne, hvilket hurtigt kan forsvinde i forbindelse med kraftig pålandsvind, da bølgeindfaldsvinklen generelt er stor, se Figur 5-58.



Figur 5-58 Et tyndt lag sandfodring dækker midt på sommeren stenstranden ved Strandbakkerne

Øst for Strandbakkerne er der en kraftig skråningsbeskyttelse, som beskytter skråningerne mod erosion, men som samtidig har betydet, at stranden helt er forsvundet, se Figur 5-59. Det er ikke muligt at gå langs kysten fra Strandbakkerne til Nakkehoved Fyr.



Figur 5-59 Kraftig skråningsbeskyttelse uden strand øst for Strandbakkerne

Vest for Nakkehoved Fyr er skråningerne ubeskyttet og derfor udsat for erosion, se Figur 5-60. Klinterne står uden vegetation nogle steder. Stranden er dækket af ral mod øst, men bliver gradvist mere stenet ud mod fyret. Der er kun få huse i nærheden af klinten, som derfor får lov til at udvikle sig naturligt.



Figur 5-60 Naturlig kyst med erosion af skråningen ved Nakkehoved

Ved Nakkehoved Fyr er der etableret to bølgebrydere med betonblokke, se Figur 5-61. Den vestligste har opbygget en tombolo af ral og beskytter således til dels ralstranden vest herfor. Den østligste bølgebryder har ikke i samme omfang fanget ral og har således en mindre virkning. Der er etableret en flad skråningsbeskyttelse ved bølgebryderne, som medvirker til at stabilisere skråningerne ved fyret.

Ved Nakkehoved Fyr er vanddybden stor inde under land samtidig med, at bølgerne generelt har skrå indfald. Der er derfor næsten ingen sand på stranden rundt om pynten.

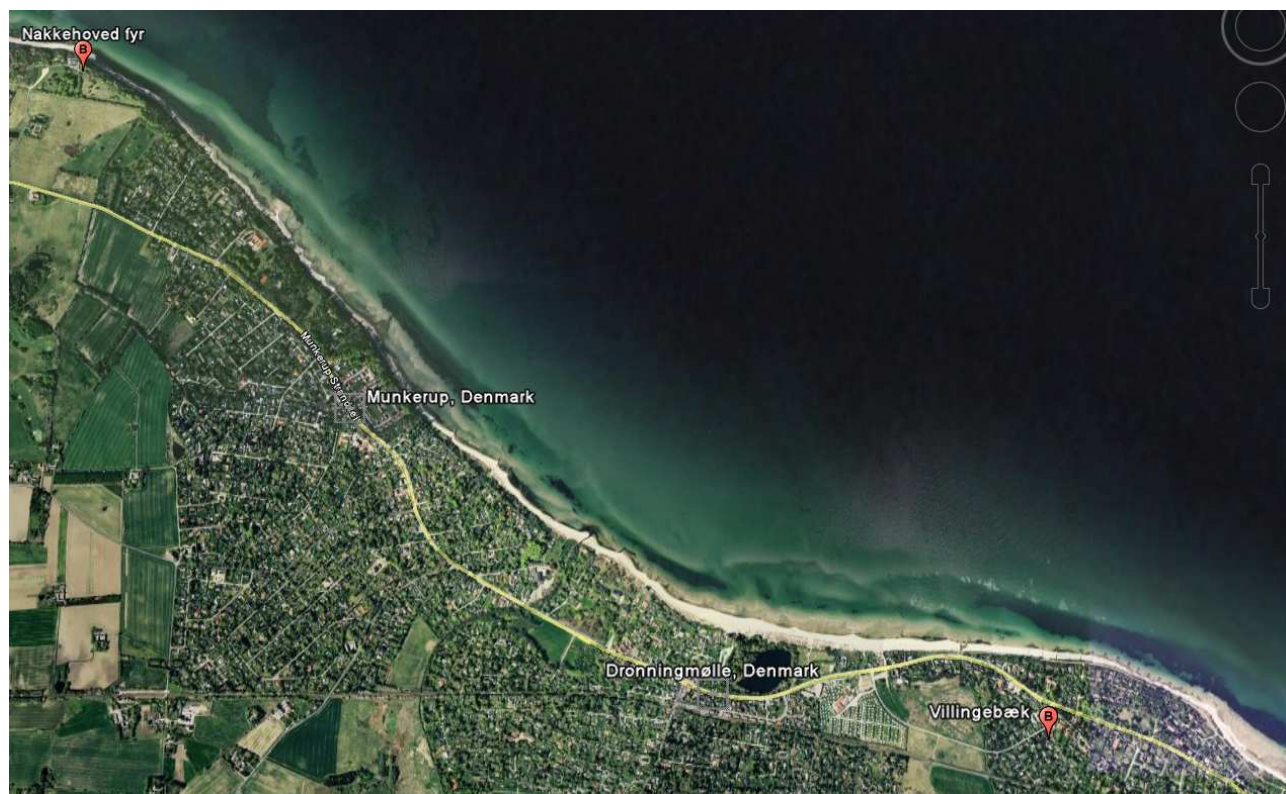
Den relativt store eksponering af Nakkehoved, samt at kysten er konveks betyder, at sandfodring ikke er en optimal løsning på denne strækning.



Figur 5-61 Bølgebrydere og skråningsbeskyttelse ved Nakkehoved Fyr

5.7 Nakkehoved til Villingebæk

Figur 5-62 viser et oversigtskort over kysten mellem Nakkehoved og Villingebæk. Kysten ændrer orientering på strækningen, hvilket afspejles i det sediment des findes på stranden.



Figur 5-62 Oversigtsbillede af kysten mellem Nakkehoved og Villingebæk, Google Earth, COWI

Øst for Nakkehoved er stranden naturligt dækket af store sten, som er vasket ud fra klinterne, se Figur 5-63. Strækningen er svært fremkommelig. Den omfattende naturlige stenbrolægning af stranden beskytter naturligt skråningerne mod erosion. Der er næsten ingen menneskeskabt kystbeskyttelse på strækningen.



Figur 5-63 Naturlig stenstrand øst for Nakkehoved Fyr

Ved Jacobslystvej kan man finde rester af en række gamle sten og træhøfder, se Figur 5-64. Høfderne vedligeholdes generelt ikke, men de største stenhøfder har stadig en betydelig effekt på strandvolden langs kysten. De nedslidte og uvirksomme høfder bør fjernes for at øge den æstetiske værdi af kysten.



Figur 5-64 Små nedslidte træhøfder og ralstrand ved Jacobslystvej

Munkerup Bølgebryderen er bygget for at give gode badeforhold ved Munkerupgård, Ref. /8/. Bølgebryderen er aldrig blevet landfast i kraft af en tombolo, men har dog skabt en lille salient af sand bagved, se Figur 5-65. Generelt, er stranden opbygget med en høj rullestensstrandvold.



Figur 5-65 Små nedslidte træhøfder og ralstrand samt den store bølgebryder ved Munkerup Gård

Ved Munkerup er der anlagt en række effektive stenhøfder, som i betydelig omfang medvirker til at stabilisere den brede rullestensstrandvold. Der er desuden indslag af sand, som gradvist øger den rekreative værdi af kysten ned mod Dronningmølle.



Figur 5-66 Velfungerende stenhøfder og ralstrand ved Munkerup

Vanddybden er forholdsvis beskeden ved Munkerup. Den rekreative værdi af kysten kunne derfor øges ved at sandfodre på strækningen. Bølgeindfaldsvinklen er dog skrå, hvilket betyder at sandfodringen formodentlig skal vedligeholdes ofte.

Der er enkelte strækninger ved Munkerup, som er beskyttet med skråningsbeskyttelser. Generelt er skråningerne dog beskyttet af en høj strandvold af ral, se Figur 5-67.



Figur 5-67 *Ralstrand ved Munkerup*

Fra Esrum Å ned til Dronningmølle bliver ralstranden gradvist afløst af en bred attraktiv sandstrand med høj rekreativ værdi, se Figur 5-68 og Figur 5-69.



Figur 5-68 *Vestlig del af sandstrand ved Dronningmølle*

Sandstranden er relativt stabil ved Dronningmølle og der findes klitter langs bagstranden hen forbi Pandehave Å's udløb. Der er ingen konstruktioner på den centrale del af stranden ved Dronningmølle, som er en af de bedste badestrande på Nordkysten.



Figur 5-69 Vestlig del af sandstrand ved Dronningmølle

Øst for Pandehave Å's udløb bliver stranden gradvist smallere og der er etableret skråningsbeskyttelse langs den offentlige sti, som løber foran strandgrundene, se Figur 5-70.



Figur 5-70 Østlig del af sandstrand ved Dronningmølle

Ved Villingebæk Hage ændrer kysten orientering og der er anlagt høfder for at holde på stranden. Stranden forsvinder dog helt øst for Villingebæk Hage, hvor vandet går helt ind til skråningsbeskyttelsen, se Figur 5-71 og Figur 5-72.



Figur 5-71 Små stenhøfder og skråningsbeskyttelse med smal sandstrand ved Villingebæk Hage



Figur 5-72 Små stenhøfder og skråningsbeskyttelse ved Villingebæk Hage

Øst for Villingebæk Hage er der igen en smal ral og stenstrand med et bredt lavvandet abrasionsflak foran, se Figur 5-73.



Figur 5-73 Abrasionsflak ved Villingebæk Hage

Øst for Villingebæk Hage er der en lavvandet bugt med ral og sandstrand, se Figur 5-74. Der er ikke problemer med erosion af bagstranden. Der er nok sand til, at man kan færdes uhindret langs den attraktive strand.



Figur 5-74 Ralstrand og lavvandet bugt øst for Villingebæk Hage

6 Kystteknisk vurdering

6.1 Eksisterende kystbeskyttelse

Kystlagene vedligeholder og udbygger stadig den hårde kystbeskyttelse på Nordkysten, som hidtil har været den foretrukne indsats mod kysterrosionen. Typisk etableres skråningsbeskyttelse langs skræntfoden for at beskytte strandgrundene og bebyggelsen langs klinterne. Desuden er der mange steder etableret høfder og bølgebrydere i et forsøg på at forhindre, at stranden forsvinder. Den hårde kystbeskyttelse har medført, at tilførslen af sediment til kysten er reduceret betydeligt gennem tiderne. Så selv om skråningserosionen er mindsket, er stranden mange steder blevet meget smallere eller helt forsvundet.

Kystlagene administrere typisk en kyststrækning på en halv til en hel kilometer, som det enkelte lag fokuserer på at beskytte. Der har været en tendens til at kystbeskyttelses anlæggene på en strækning har medført øget erosionspres på nabostrækningen i og med, at tilførslen af sediment til nabostrækningen er blevet reduceret. På den måde er erosionspresset blevet flyttet langs kysten og det har været nødvendigt at anlægge hård kystbeskyttelse på lange strækninger.

De eksisterende skråningsbeskyttelser har generelt bremset erosionen af klinterne lokalt. En stor del af de eksisterende høfder og bølgebrydere fungerer dog ikke kystteknisk optimalt og er mange steder nedslidt. Det medfører, at sandet gradvist er forsvundet og sandstrandene mange steder er forsvundet eller afløst af stenstrand. Desuden skæmmer de nedslidte anlæg kysten og reducere badesikkerheden.

Historisk set er der ikke blevet foretaget en regional koordinering af kystbeskyttelsesindsatsen på Gribskovs Kommunes kyst. Flere eksisterende anlæg bærer desuden præg af utilstrækkelig kystteknisk virkning og manglende vedligeholdelse.

Dette projekt forsøger derfor ved en overordnet analyse af hele kyststrækningen i kommunen at udvikle en samlet plan for en regionalt koordineret indsats, der primært består af sandfodring.

6.2 Sandfodring

I Nordkysten-rapporten anbefales det at iværksætte et regionalt sandfodringsprojekt på hele Nordkysten af Sjælland for at kompensere det tab af sand, der har fundet sted som følge af nedbrydning af kysten, Ref. /8/. Der er nu gået 30 år siden rapporten blev udgivet og nedbrydningen af kysten er fortsat med uformindsket styrke, hvilket kun har gjort behovet for en samlet overordnet indsats med sandfodring større.

Kommunens målsætning for skitseprojektet er at genoprette sandstrandene langs Nordkysten for at kystbeskytte uden, at det sker på bekostning af den rekreative værdi af kysten, se Kapitel 2.

Hvis man fortsætter med den nuværende praksis vil erosionen af stranden fortsætte og manglen på sand blive værre og værre. Der kommer ikke mere sand ved, at man i de forskellige lag kæmper om at opnå en del af en nedadgående ressource nemlig mængden af sand på kysten.

Derfor er sandfodring på regionalt plan den eneste praktisk gennemførlige metode til at genoprette sandstrandene langs Nordkysten. Sandfodring øger den æstetiske værdi af kysten ved at dække en del af de eksisterende nedslidte konstruktioner på stranden. Kysten har tabt store mængder sand gennem tiden og der er således brug for en stor initialfodring for at genskabe sandstrandene. Det udlagte sand vil gradvist vandre op langs kysten fra sydvest mod nordøst og derved komme hele kysten til gode. Det betyder dog, at sandfodringen skal vedligeholdes fremover. Vedligeholdelsen er dog kun en brøkdel af den initiale fodring og vil være en overkommelig omkostning, hvis alle bidrager.

Et storskala sandfodringsprojekt, som kommer hele kommunens kyst til gode kræver, at finansieringen løftes af en bred flok af interessenter og at indsatsen koordineres på regionalt plan langs hele Nordkysten.

Sandfodringen skal ses som et supplement til den eksisterende hårde kystbeskyttelse, der administreres af de enkelte kystsikringslag.

Sandfodring er umiddelbart også den eneste løsning for at bevare sandstrandene i forbindelse med den globale havspejlstigning. En storskala sandfodring på Nordkysten vil således kunne ruste kommunens kyststrækning i forhold til den forudsagte havspejlstigning og ved den fremtidige vedligeholdelsesfodring vil det være muligt at holde stand også for en stigende vandstand.

De hårde fremstående morænepartier langs kysten er til dels beskyttede naturligt af stenstrande og kystprofilet er ofte stejlt med dybt vand inde under land. Naturligt vil der ikke være sandstrande på sådanne strækninger. Det vil blive meget dyrt at skabe gode sandstrande på de mest udsatte strækninger på Nordkysten, som for eksempel Gilbjerg Hoved og Nakkehoved. Skitseprojektet indeholder derfor ikke forslag til sandfodring på de mest udsatte strækninger.

Sandfodring er mere velegnet langs de svagt markerede bugter på kysten, hvor erosion har skabt en betydelig kysttilbagerykning og sandstrandene derved er

forsvundet gennem tiden. Kystprofilet er ofte fladere her og der er mange små høfder og bølgebrydere. Sandfodring vil derfor kunne forøge beskyttelsen af baglandet og skabe en stor forbedring af den rekreative værdi af stranden.

Det er de strækninger, som naturligt har haft sandstrand, som er forsvundet gennem tiderne, der prioriteres i forbindelse med initialfodringerne. De mere stenede strækninger vil dog også få glæde af sandet i og med, at sandet vil vandre langs kysten og derved skabe en bræmme af sand langs stranden, som vil øge tilgængeligheden og derved den rekreative værdi af de mere udsatte kyststrækninger.

Sandfodringen skal planlægges således, at der ikke skabes unødigt forøgelse af oprensning ved havnene samt, at der ikke skabes problemer som følge af afblæsning ind i land.

Der foreslås derfor ikke sandfodring umiddelbart vest for Gilleleje Havn. Sandet vil dog gradvist vandre langs kysten og komme strækningen ved Gilbjerg Hoved til gode, og det forventes at oprensningsmængderne ved havnen vil stige noget efter nogle år.

Gribskov Kommune ligger med sine 28 km langs kyststrækning mellem Halsnæs og Helsingør Kommuner. Naturen er således indrettet, at sandfodringsprojektet ikke vil indvirke negativt på kysten i de nærliggende kommuner. Grundet den overordnede østgående transport vil sandfodringen overhovedet ikke påvirke situationen i Halsnæs Kommune, men på sigt vil den have en gavnlig virkning i Helsingør Kommune, da fodringssandet på sigt vil transporteres over kommunegrænsen mod øst.

Der er generelt en del ral på strandene på Nordkysten, og det er blevet mere og mere synligt i de senere år, hvor sandmængden er reduceret. Det bør overvejes at tilføre groft sandfodringsmateriale med et mindre indhold af ral på de strækninger, hvor der er større vanddybde inde under land, for at øge virkningen af sandfodringen. Den rekreative værdi af sandfodringen vil dog reduceres lidt i og med, at der kan dannes ralstrandvolde langs kysten i stil med de naturlige strandvolde.

6.3 Sanering af eksisterende hård kystbeskyttelse

Nærværende skitseforslag indeholder ikke detaljerede anbefalinger vedrørende optimering af den eksisterende hårde kystbeskyttelse. Det skal dog understreges, at der mange steder på kysten findes uhensigtsmæssig kystbeskyttelse, som i betydelig omfang reducerer den rekreative værdi af kysten og stranden.

Sideløbende med et regionalt sandfodringsprojekt bør de enkelte kystlag få gennemgået deres hårde kystbeskyttelse, som bør saneres før eller parallelt med den initiale sandfodring udføres. Kun herved kan der skabes en varig forbedring af den rekreative værdi af kysten samtidig med, at baglandet beskyttes optimalt fremover.

Uvirkelige og nedslidte konstruktioner på stranden og i vandet bør fjernes helt før der sandfodres. Desuden anbefales det at omlægge en del af de meget små konstruktioner på stranden og i vandet til enkelte større konstruktioner for at optimere beskyttelsen af kysten. Dette vil desuden øge den æstetiske og rekreative værdi af kysten samtidig med at badesikkerheden forbedres. Tilsvarende projekt blev for 10 år siden gennemført mellem Liseleje og Hyllingebjerg.

De eksisterende skråningsbeskyttelser virker generelt efter hensigten og har i de fleste tilfælde bremset erosion af skråningerne langs kysten. Man bør derfor bevare de eksisterende skråningsbeskyttelser. Eventuelt kan de svageste skråningsbeskyttelser forstærkes i forbindelse med, at der bliver ryddet op i uvirkelige og uhensigtsmæssige konstruktioner ude på stranden. Nye skråningsbeskyttelser bør flyttes så langt tilbage på stranden som muligt for at øge strandbredden. Desuden bør der mange steder etableres et effektivt filterlag med filtersten og geotekstil, som effektivt kan forhindre udvaskning af sediment fra skråningerne. En del af de store sten, som i dag ligger på stranden, kan med fordel indbygges i nye skråningsbeskyttelser. Det bør dog kun ske med hensyntagen til den naturlige tæthed af store sten på en given strækning, således at de naturlige forhold søges bevaret.

7 Skitseprojektering

7.1 Kystparallel sedimenttransportkapacitet

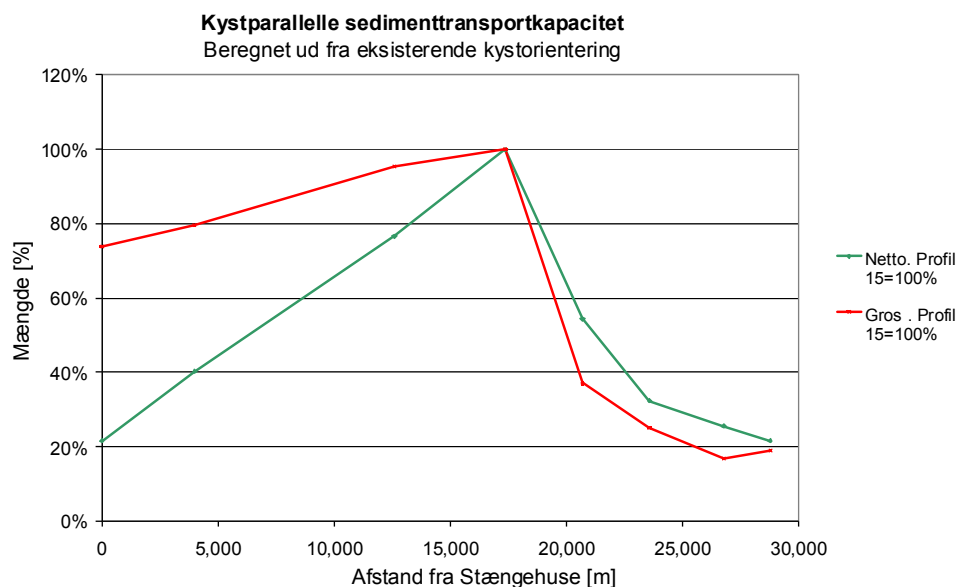
Der er strand langs hovedparten af kommunens kyststrækning. For at kunne vurdere stabiliteten af den eksisterende strand, samt effekten af sandfodring langs kysten og herunder, hvilke strækninger der eroderer og udbygges, beregnes den kystparallelle sedimenttransportkapacitet i en række punkter langs kysten.

Den kystparallelle sedimenttransport kapacitet beregnes ud fra CERC-formlen, samt det normale bølgeklime, som baseres på vindklimaet i området og det frie stræk, Ref. /5/. Den anvendte metode tager ikke højde for dybderefraktion ind over kystprofilet. Beregningen er baseret på Tabel 3-3 og den gennemsnitlige vanddybde i den sydlige del af Kattegat er vurderet til 23 m.

Der er tale om en meget overslagsmæssig beregning, som ikke kan benyttes til at bestemme de absolutte transportrater, men som ved en relativ sammenligning kan benyttes til at belyse, hvilke kyststrækninger der naturligt vil erodere eller udbygges.

Det anbefales at udføre et mere detaljeret studie af sedimenttransporten på langs og på tværs af kysten i forbindelse med detailprojekteringen af sandfodringsprojektet.

Figur 7-1 viser en relativ sammenligning af den kystparallelle sedimenttransportkapacitet beregnet ud fra CERC-formlen baseret på den faktiske orientering af kysten i Gribskov Kommune.



Figur 7-1 Relativ bestemmelse af den kystparallel sedimenttransportkapacitet langs Nordkysten.

Figuren viser, at nettotransporten vokser fra Stængehuse St. 0 til mellem Tinke- rup St. 17.000 og Gilbjerg Hoved St. 20.000. På denne strækning reduceres forskellen mellem brutto og nettotransport, hvilket betyder, at transporten fra at gå begge veje langs kysten ved Stængehuse, gradvist bliver mere ensidig mod øst omkring Gilbjerg Hoved.

En sandfodring på strækningen mellem Tisvilde og Gilbjerg Hoved vil være udsat for erosion i samme størrelsesorden, som forskellen i nettosedimenttransportkapacitet ved Tisvilde og Gilbjerg Hoved, hvilket svarer til i størrelsesordenen 60-80% af transportkapaciteten ved Gilbjerg Hoved. Det samlede tab som følge af den kystparallel transport vurderes at være i størrelsesordenen 40.000 til 50.000 m³/år, se Figur 4-14.

En del af sandet vurderes at aflejres ved Gilleleje Flak, resten vandre mod nordøst langs kysten.

Ved Gilleleje Havn, St. 22.000 falder transportkapaciteten og der er således betydelig aflejring vest for havnen, som blokerer en stor del af transporten.

Øst for Havnen er brutto og nettotransport også tæt på hinanden, hvilket betyder, at transporten hovedsageligt er mod øst.

Det er usikkert, hvor meget sand der vandrer udenom havnen, men der er en betydelig sedimenttransportkapacitet øst for havnen, som medfører, at kysten øst for havnen ned mod Munkerup eroderer tilbage. Inspektionen samt Figur 4-14 indikerer, at denne kyststrækning eroderer betydeligt mere end sediment-

transportberegningen i Figur 7-1 viser. Dette kan skyldes, at havnen blokerer en stor del af transporten.

Transporten øst for havnen er på i størrelsesordenen $30.000\text{m}^3/\text{år}$, se Figur 4-14. Desuden oprenses der i størrelsesordenen $15.000\text{m}^3/\text{år}$ i sejlrenden, som klappes på 4 m vand, hvor det sandsynligvis bliver liggende for størstedelens vedkommende. En del af sandet kan dog på sigt komme kysten nedstrøms til gode.

På baggrund af beregningerne vurderes den samlede erosion af kysten øst for Gilleleje at være i størrelsesordenen 15.000 til $25.000\text{ m}^3/\text{år}$.

I fremtiden bør det sand der oprenses i sejlrenden ved Gilleleje Havn benyttes som sandfodring øst for havnen. Dette vil kunne forøge den rekreative værdi af kysten ned mod Munkerup.

7.2 Stabilitet af sandstrand

Størrelsen og retningen af den kystparallelle sedimenttransport afhænger af orienteringen af kystnormalen i forhold til bølgeklimate.

Naturlige kystfrespring samt høfder og bølgebrydere ændrer lokalt orienteringen af kystlinjen og påvirker derved den kystparallelle sedimenttransport og derved erosions og aflejringsforhold.

For at vurdere strandenes stabilitet langs kysten og virkningen af eventuelle konstruktioner og naturlige kystfrespring beregnes ligevægtsorienteringen langs kysten.

Ligevægtsorienteringen af kystlinjen viser, hvilken orienteringen kysten skal have for at den årlige kystparallelle nettotransport er nul på et givent sted.

Beregningen af ligevægtsorienteringerne er baseret på CERC- sedimenttransportformlen, som beskrevet i foregående afsnit, se Ref. /5/.

Beregningerne har vist, at den stabile kystlinjeorientering på projektstrækningen ligger på i størrelsesordenen 290° til 1° nord, se Figur 7-2 og Figur 7-3 samt Tabel 7-1.

Ved at sammenholde den stabile kystlinjeorientering med den faktiske kystlinjeorientering fås et udtryk for den typiske bølgeindfaldsvinkel og derved en indikation på, hvor stabil stranden er.

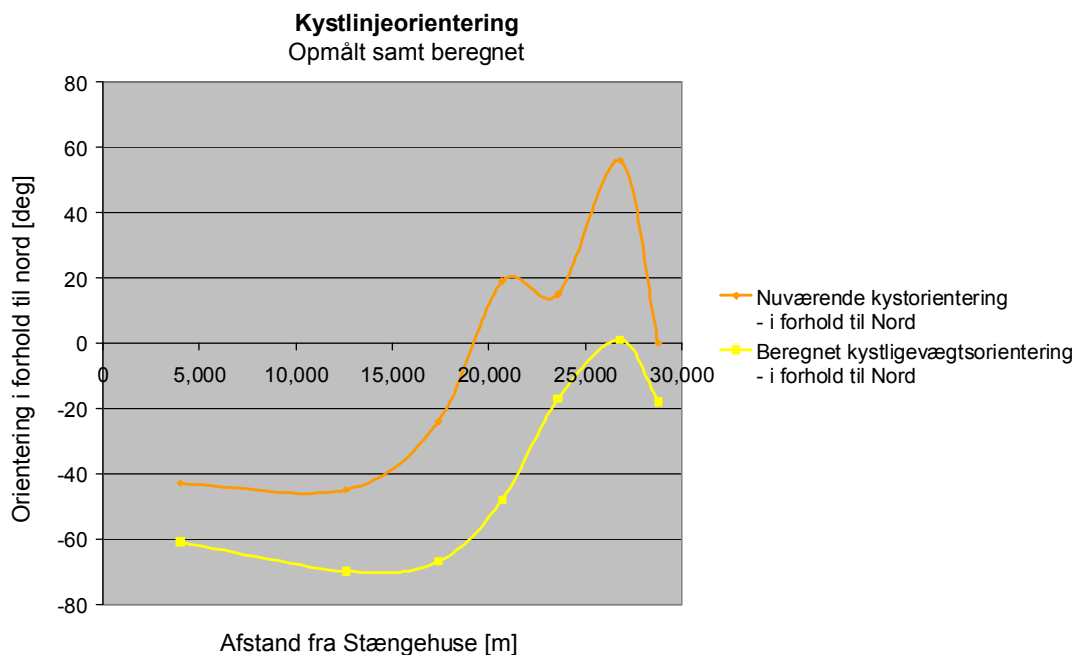
Tabel 7-1 Kystorienteringer og bølgeindfaldsvinkler langs Gribskov Kommune

		Stængehuse	Tisvilde	Rågeleje øst	Tinkerup Strand	Børstrup Hage	Strandbakkerne	Munkerup	Dronningmølle
Nuværende orientering	[°]	308	317	315	336	19	15	56	0
Beregnet orientering	[°]	299	299	290	293	312	343	1	342
Bølgeindfaldsvinkel	[°]	9	18	25	43	67	32	55	18

Som følge af beregningernes overslagsmæssige karakter, skal de beregnede bølgeindfaldsvinkler opfattes som størrelsesordener.



Figur 7-2 Kystlinjeorientering (orange), estimeret stabile kystlinjeorientering (gul) samt resulterende bølgeindfaldsvinkel (hvid) langs Gribskov Kommune. Google Earth.



Figur 7-3 Kystlinjeorientering (orange) samt estimeret stabile kystlinjeorientering (gul) på projektstrækningen efter CERC metoden

Tabel 7-1 viser, at bølgeindfaldsvinkelen varierer langs projektstrækningen mellem 9° og 67° . Resultatet viser, at sandstrandene på Nordkysten i Gribskov Kommune generelt er ustabile og derved vil erodere.

Bølgeindfaldsvinklen øges generelt fra vest mod øst mellem Stængehuse og Gilbjerg Hoved. Dette betyder, at den kystparallelle sedimenttransportkapacitet øges på denne strækning.

Bølgeindfaldsvinkelen er størst ved Børstrup Hage og Munkerup, som er de områder, hvor kystorientering er mest østvendt og mindst ved Stængehuse, Tisvilde og Raageleje, som er de områder, hvor kystorientering er mest vestvendt.

Gilleleje Havn blokerer en stor del af den kystparallelle sedimenttransport, hvilket har medført, at der siden havnens udbygning er opbygget en bred sandstrand, som er relativt stabil selv uden konstruktioner udover vestmolen ved havnen. Stranden vender her op mod de dominerende bølger fra VNV.

Det er på de strækninger, som har den største indfaldsvinkel, hvor virkningen af høfder og bølgebrydere er mindst. Det medfører, at antallet af konstruktioner skal være større her for at kunne holde på sandfodringsandet.

Omvendt kan de strækninger, som har den mindste indfaldsvinkel lettere stabiliseres ved at anlægge et mindre antal større konstruktioner.

7.3 Fremtidigt strandprofil

For at kunne vurdere om sandfodring er en optimal løsning til at genskabe sandstrandene langs Nordkysten, er de eksisterende kystprofiler analyseret og sammenlignet med teoretiske ligevægtskystprofiler.

For at genskabe en attraktiv bred sandstrand, foreslås det, at sandfodringen skal fremrykke stranden på udvalgte strækninger med 15-25m målt i forhold til middelvandlinjen i 2009. I det følgende benyttes 25 m i vurderingerne.

For at kunne bestemme, hvor meget sand der skal til for at skabe en stabil fremrykning af vandlinjen på 25m, er der beregnet en række ligevægtsprofiler baseret på forskellige kornstørrelser af fodringssandet.

Hældningen af sandfodringsprofilen i opskyldszonen mellem kote 0,0 og +0,75m vurderes overslagsmæssigt til 1:10. Over kote +0,75m DVR90 vurderes hældningen af stranden at være 1:50. Topkoten af bagstranden varierer afhængigt af det eksisterende kystprofil.

Det skal bemærkes, at de anvendte kystprofiler bygger på historiske pejlinger, som ligger 30 år tilbage og at søkortene har en beskedent opløsning langs kysten. Det betyder, at de estimerede sandfodringsmængder er behæftet med nogen usikkerhed. På den anden side er analysen baseret på en teoretisk 25m fremrykning af den eksisterende kystlinje i 2009, hvilket er et absolut mål.

I forbindelse med realiseringen af sandfodringsprojektet anbefales det at foretage en detaljeret opmålingen af kysten, for derved at få et bedre billede af de naturlige forhold langs kysten og for bedre at kunne bestemme de påkrævede sandfodringsmængderne.

7.4 Kornstørrelse af fodringssand

Den nye strand skal opbygges af rent strandsand, som hentes på dybt vand ud for Nordkysten.

For at kunne skabe en attraktiv strandoverflade skal middelkornstørrelse på sandet ideelt set være i størrelsesorden $\sim d_{50} = 0,3-0,5$ mm, og en middelkornstørrelse på op til $\sim d_{50} = 0,7$ mm kan benyttes på mere udsatte strækninger. Det kan være svært at finde naturlige aflejringer af så groft sand, så ofte er der tale om et kompromis mellem den ideelle fordeling og de tilgængelige ressourcer.

For at få et konservativt estimat for fodringmængderne forudsættes det derfor i de endelige prisoverslag, at fodringssand har en middel kornstørrelse på $d_{50}=0,30$ mm. Det giver samtidig den bedste rekreative værdi af strandoverfladen, men betyder samtidigt, at vedligeholdelsen vil være lidt højere end, hvis der anvendes grovere sand.

7.5 Ligevægtsprofil

Ud fra den forudsatte middeldkornstørrelse kan det teoretiske ligevægtskystprofil bestemmes ud fra følgende, se ref. /12/.

$$h = Ax^{2/3}$$

h er vanddybden og x er afstanden fra kystlinjen. A afhænger af sedimentets middeldkornstørrelse.

I skitseprojektet benyttes tre ligevægtsprofiler med en middeldkornstørrelse på henholdsvis, $d_{50} = 0,3$ mm, 0,5mm og 0,7 mm baseret på Ref. /12/.

$d_{50}=0,3$ mm; $A= 0,125$

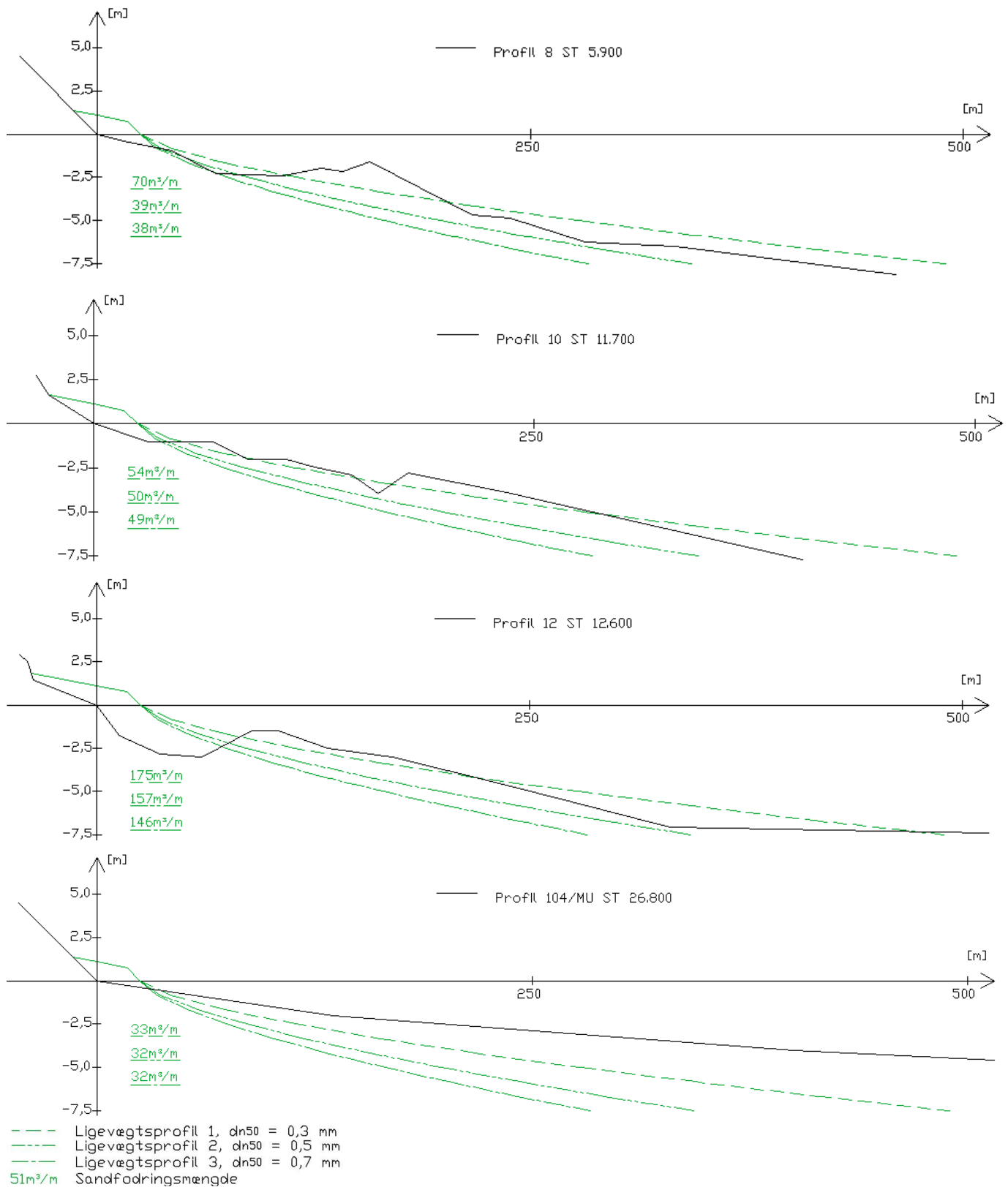
$d_{50}=0,5$ mm; $A=0,161$

$d_{50}=0,7$ mm, $A=0,185$

Ligevægtssandfodringsprofilet gælder fra middelvandlinjen ud til den aktive dybde eller, hvor ligevægtsprofilet skærer det eksisterende kystprofil.

Den aktive dybde viser, hvor langt ned i vandsøjlen bølgerne typisk kan flytte sandet på bunden. Under den aktive dybde foregår der ikke betydelig sediment transport som følge af bølger.

Figur 7-4 viser en række eksempler på formen af sandfodringsprofilet i forhold til de eksisterende kystprofiler langs Nordkysten, se også Tegning A005644-PT-020 til 023.



Figur 7-4 Ligevægtsandfodringsprofiler i forhold til de eksisterende kystprofiler

7.6 Aktiv dybde

For at kunne bestemme den maksimale udstrækningen af de nye strandprofiler skal den aktive dybde bestemmes.

Den aktive dybde er defineret som den dybde inden for hvilken, normale bølger er i stand til at flytte sandet på bunden.

Følgende formel er indledningsvist benyttet til at estimere den aktive dybde, Ref. /8/:

$$d = 2.28 \cdot H_s - 68.5 \frac{H_s^2}{g \cdot T_s^2}$$

hvor:

d = aktiv dybde [m]

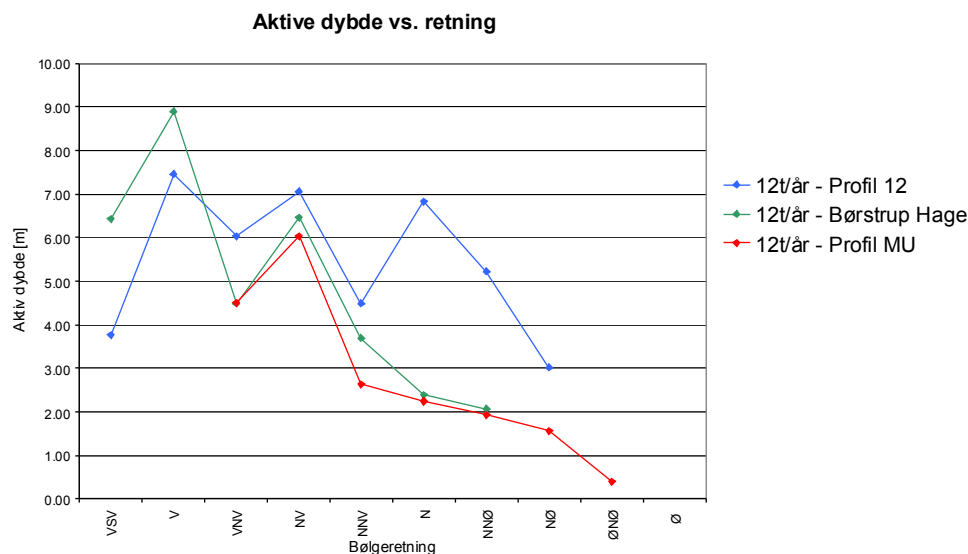
H_s = signifikante bølgehøjde [m]

T_s = bølgeperiodensvarende til H_s [sek]

g = tyngde accelerationen, 9,81 m/s²

Den aktive dybde beregnes ud fra en bølgehændelse med en hyppighed svarende til 12t/år.

Figur 7-5 viser den aktive dybde beregnet for de forskellige vindretninger ved Rågeleje (Profil 12), Gilleleje (Børstrup Hage) samt ved Munkerup (Profil MU) baseret på ekstremvindene præsenteret i Tabel 3-4 til Tabel 3-6.



Figur 7-5 Aktive dybde i forhold til bølgeretning baseret på Tabel 3-4 til Tabel 3-6 ved Rågeleje (Profil 12), Gilleleje (Børstrup Hage) og Munkerup (Profil MU)

Figuren viser, at den aktive dybde generelt varierer i mellem 2 og 7,5 m for forskellige vindretninger. Det er dog den maksimale aktive dybde, som bestemmer, den maksimale udstrækning af sandfodringsprofilen.

Ifølge Ref. /8/ vurderes den aktive dybde til 7,5m mellem Hundested og Gilleleje og til 6 m mellem Gilleleje og Helsingør, hvilket stemmer overens med ovenstående beregning.

Sammenligningen mellem de eksisterende profiler og de teoretiske sandfodringsprofiler viser dog, at sandfodringsprofilerne skærer de eksisterende profiler på lavere vand end den aktive dybde. Dette betyder, at sandfodringsmængderne reduceres betydeligt i forhold til, hvis de eksisterende profiler var så stejle, at sandfodringsprofilen skulle have en udstrækning, der går helt ud til den aktive dybde.

Det kan konkluderes, at sandfodring er en brugbar metode til at genskabe sandstrandene på Nordkysten. De anvendte eksisterende kystprofiler er generelt tilstrækkelige flade til at sandfodringsprofilen vil have en begrænset udstrækning i forhold til den maksimale længde bestemt ud fra den aktive dybde.

Analysen af kystprofilerne viser, at de påkrævede sandfodringsmængder generelt er realistiske og overkommelige set i lyset af længden af Nordkysten.

7.7 Vedligeholdelsesfodring

En sandfodring på strækningen mellem Tisvilde og Gilbjerg Hoved vil være udsat for erosion. Det samlede tab som følge af den kystparallel transport vurderes at være i størrelsesorden 40.000 til 50.000 m³/år, se Figur 4-14. For at

opretholde en god strand skal der således efter den initiale fodring vedligeholdelsesfodres med tilsvarende mængder fremover.

Det vurderes, at en stor del af vedligeholdelsesfodringerne med fordel skal udføres i den vestlige ende af kommunens strækning for at komme hele kommunens kyst til gode. Desuden skal der fodres på udsatte lokaliteter.

Transporten øst for havnen er på i størrelsesordenen $30.000\text{m}^3/\text{år}$, se Figur 4-14. Havnen blokerer størstedelen af den kystparallelle transport. Der oprenses i størrelsesordenen $15.000\text{m}^3/\text{år}$ i sejlrenden, som klappes på 4 m vand, hvor det sandsynligvis bliver liggende for størstedelens vedkommende. Den aktive dybde er på i størrelsesordenen 6 m øst for havnen, se Figur 7-5. Størstedelen af transporten vurderes dog at foregå på mellem 0 og 3 m vand. Det betyder, at sandet, som klappes på 4 m vand kun langsomt vil kunne komme kysten nedstrøms for til gode.

På baggrund af beregningerne vurderes den samlede erosion af kysten øst for Gilleleje at være i størrelsesordenen 15.000 til $25.000\text{m}^3/\text{år}$. For at opretholde en attraktiv sandstrand øst for havnen skal der vedligeholdelsesfodres med samme sandmængde.

I fremtiden bør det sand, der oprenses i sejlrenden ved Gilleleje Havn benyttes som sandfodring øst for havnen. Dette vil kunne øge den rekreative værdi af kysten ned mod Munkerup og samtidig reducere vedligeholdelsesbehovet med sand importeret udefra.

Det er sandsynligt, at oprensningmængderne i sejlrenden vil øges i takt med at sandet fra sandfodringen på strækningerne mellem Tisvilde og Tinkerup bevæger sig op langs kysten. Det er på nuværende grundlag ikke muligt at kvantificere, hvor meget oprensningen forøges.

For at optimere vedligeholdelsesindsatsen anbefales det at udføre større vedligeholdelsesfodringerne med 2 til 3 år mellemrum for at kunne reducere mobiliseringsomkostningerne og derved fodre med større mængder ad gangen.

7.8 Stenkonstruktioner

Der er i skitseprojektet ikke inkluderet design af hård kystbeskyttelse.

Det anbefales, at de enkelte kystbeskyttelseslag foretager en overordnet tilstandsvurdering med henblik på sanering af de mest nedslidte og u hensigtsmæssige kystbeskyttelses anlæg specielt ude på stranden.

I skitseprojektet er der inkluderet forslag til etablering af enkelte stenkonstruktioner på udsatte strækninger. Konstruktionernes funktion er at nedsætte erosionen af stranden og derved vedligeholdelsen af de etablerede sandstrande.

7.9 Badesikkerhed

Nordsjællandske livreddere må ofte i aktion for at redde folk, der er fanget i et hestehul bag en af Nordkystens mange moler og bølgebrydere.

Det opfordres derfor til, at der ryddes op i eventuelle virkningsløse konstruktioner før eller parallelt med sandfodringerne, dels på de strækninger der fodres, men også langs den øvrige kyst idet sandet fra fodringerne med tiden vil sprede sig over hele strækningen.

Man bør undgå at bade i nærheden af bølgebrydere, stenhøfter og moler, når der er bølger.

Sandfodringen vil betyde at vanddybden langs kysten og ved konstruktionerne reduceres. Dette kan være med til at øge badesikkerheden, da der således ikke er så store bølger mellem konstruktionerne, hvilket er den primære årsag til dannelsen af hestehuller.

Det er dog naturligt, at der forekommer hestehuller langs Nordkysten specielt de på strækninger, som er forholdsvis stabile og således har en lille bølgeindfaldsvinkel. Det er især mellem Støngehuse og Tisvilde samt ved Droningmølle, der er fundet naturlige hestehuller.

7.10 Anlægsoverslag

7.10.1 Enhedspriser

Der er blevet udarbejdet et økonomisk overslag for anlægsudgifterne for de opstillede skitseforslag. Prisoverslagene er beregnet ud fra enhedspriserne angivet i Tabel 7-2, som er baseret på COWIs seneste erfaringer i Danmark.

Tabel 7-2 Enhedspriser benyttet i forbindelse med prisoverslag for skitseforslag

Beskrivelse	Enhed	Enhedspris [kr. ekskl. moms]
Sand	m ³	50
Anstilling af rørledninger mm	stk / indpumpningssted	100.000

Skitseforslagene indeholder ikke beskrivelser og omkostninger forbundet med oprydning af eksisterende nedslidt og ineffektiv kystbeskyttelse på stranden.

Skitseforslagene indeholder heller ikke overslag på de foreslåede stenkonstruktioner, som ligger udenfor rammerne af sandfodringsprojektet. Sådanne konstruktioner vil i givet fald skulle etableres af de enkelte kystbeskyttelseslag.

Tegning A005644-PT-020 til 023 samt Figur 7-4 viser en opgørelse over enhedsmængder, der sammen med enhedspriserne ligger til grund for prisoverslagene.

7.10.2 Generelle ekstraomkostninger

Der er en række generelle ekstraomkostninger på i alt 16%, som skal lægges oven i anlægsudgifterne baseret på enhedspriserne, se Tabel 7-3

Tabel 7-3 Tillæg til standard enhedspriser

Alle priser er eksklusiv moms	
+ 4%	Mobilisering af arbejdsplads / år
+4%	Kyststudier og projektering
+2,5%	Opmåling før start og hvert år
+2,5%	Opfølgning, udbud og monitorering
+3%	Uforudsete udgifter

Det skal bemærkes, at de samlede prisoverslag er eksklusiv moms.

Tillægspriserne er baseret på et større samlet projekt for hele kyststrækningen, og at de derfor ikke vil være retvisende for mindre enkeltprojekter.

Prisoverslagene præsenteres i de følgende afsnit i forbindelse med beskrivelsen af skitseprojekterne.

7.10.3 Usikkerheder

Anlægsoverslagene vil være behæftet med en vis usikkerhed, da de er baseret på skitseprojektet, men vurderes at være tilstrækkelig robuste til at danne grundlag for et politisk valg af form og udstrækning af sandfodringsprojektet.

Den største usikkerhed på prisoverslaget henføres til enhedsprisen på sand, da det er en altafgørende parameter for projektet.

Prisen på sand vil afhænge af det mest fordelagtige indvindingsområde for de enkelte delstrækninger og sejlafstanden til samme. Der er flere potentielle indvindingsområder langs Nordkysten. Desuden spiller markedssituationen en rolle for prisen.

Der er betydelig usikkerhed på de samlede sandmængder, da skitseprojektet er baseret på gamle kystpejlinger, som kan have ændret sig i den mellemliggende periode.

Der er også betydelig usikkerhed på, hvor meget sand der er til rådighed i området og hvilken kvalitet der kan anskaffes indenfor den opsatte budgetramme.

Hertil kommer usikkerheden på råstofloven, som vil blive ændret pr 1. januar 2010, som kan påvirke enhedsprisen på sandet.

Det skal holdes for øje, at vurderingen af sandfodringens virkning ikke baseres på numeriske modelberegninger eller aktuelle bathymetriske opmålinger og derfor vil være et foreløbigt skøn behæftet med betydelig usikkerhed.

Dog er det vigtigt at anføre, at det vurderes som muligt at gennemføre et rigtig godt sandfodringsprojekt indenfor en overordnet pris på 37-42 mio. kr. (2009 prisniveau), som detaljeret i næste afsnit.

Sandfodringsprojektet er robust forstået på den måde, at det vil være muligt at op eller nedjustere de aktuelle fodringsmængder lidt, så man tilpasser sig det overordnede budget og markedssituationen på sandfodring i de enkelte tre år, hvor der skal initialfoders.

8 Forslag til sandfodring

8.1 Sandfodring på Nordkysten - Forslag 1

Forslag 1 omhandler en række kyststrækninger, som er egnede til initialsandfodring og hvor behovet for kystgenopretning er stort.

Den kystparallelle sedimenttransport på Nordkysten er generelt fra vest mod øst. For at få en langsigtet virkning af sandfodringen i kommunen og genoprette den rekreative værdi af kysten øst for Tisvilde, anbefales det at starte med en initialsandfodring mellem Tisvildeleje Bølgebryderen og Helene Kilde (1250m). Stranden er flere steder forsvundet på denne strækning, som er præget af mange små konstruktioner i vandet.

Stranden mellem Melby Vænge til Klitgårdsvænget ved Vincentstien er generelt i dårlig forfatning på en 2850m lang strækning. De eksisterende kystbeskyttelseskonstruktioner er generelt utilstrækkelige både med hensyn til konstruktionernes dimensioner og indbyrdes afstand. Det har betydet, at sandstranden er smal og helt er forsvundet på flere strækninger. Det anbefales derfor at sandfodre på denne strækning.

Rågeleje Bølgebryderen har gennem tiden medført betydelig læsideerosion, der i dag truer stabiliteten af den store betonmur langs kystvejen. Der er således et behov for at styrke stranden foran betonmuren. Desuden er der i Rågeleje et stort rekreativt potentiale med gode parkeringsforhold. Det anbefales derfor at sandfodre ved Rågeleje. Sandfodringen starter 500m vest for Rågeleje Molen og strækker sig 900m op langs kysten mod Rågeleje Strandpark, hvilket i alt giver 1400m.

Kystprofilet er stejlere på den østlige del af strækningen mellem Rågeleje Molen og Trillingerne. Det kan derfor overvejes at anvende grovere sand til fodringen øst for Rågeleje Molen for at bevare et stejlt profil og derved reducere fodringsmængden. Sandfodringen vil, ud over at skabe en attraktiv strand også beskytte kystvejen, som ofte har været udsat for stormskader. For at minimere problemer med sandfygning bør den eksisterende vegetation på kystsiden af Kystvejen bevares og udbygges lokalt. Dette kan medføre, at der med tiden dannes små klitter.

Øst for kystfremspringet ved Kampenhaug er stranden forsvundet og der ligger nu kun en uskøn stenskråning med en langrække nedslidte og mere eller mindre

virkningsløse konstruktioner ude i vandet og på stranden. Der er flere store og effektive skråningsbeskyttelser på strækningen, men den rekreative værdi af strækningen er meget begrænset. Det anbefales at sandfodre på en 900m lang strækning fra Havstokken til Langestykket for at genoprette stranden og derved øge den rekreative værdi af kysten.

For at udbygge sandstranden i Tinkerup foreslås det at fodre på strækningen mellem Tinkerupvej og Gilbjerg Ferieby (800m). Dette vil genoprette stranden mellem de små bølgebrydere, hvor der i dag kun er en smal strand.

Gilleleje Havn har med tiden medført betydelig læsideerosion øst for havnen ned mod Nakkehoved Fyr, som har betydet, at stranden generelt er stenet. For at opretholde en attraktiv sandstrand øst for havnen er der blevet sandfodret i mindre skala de seneste år. I 2009 blev der ifølge kommunen sandfodret med 850m³ øst for Gilleleje Havn og 3150m³ ved Strandbakkerne. Bølgerne har skråt indfald på kysten øst for havnen, hvilket betyder, at den kystparallelle materialetransport er betydelig. Størstedelen af det udlagte sand forsvinder derfor i vinterhalvåret og det er nødvendigt at fodre hvert år.

For at forbedre de rekreative muligheder øst for Gilleleje Havn, foreslås det at udvide sandfodringen til at dække hele strækningen mellem Gilleleje Havn og Strandbakkerne (800m). Sandfodringen vil gradvist eroderes bort og vandre ned langs stranden og på første revle mod Dronningmølle. Dette kan øge mængden af sand på stranden i Munkerup. Der er dog et stejlt kystprofil ved Nakkehoved Fyr, som betyder at en del af sandet kan tabes ud på dybt vand.

Tabel 8-1 viser en oversigt over prisoverslaget for Forslag 1. Forslag omfatter 625.000 m³ sand fordelt over 6 fodringsstrækninger. Den samlede anlægspris er estimeret til 37 mio. kr. eksklusiv moms.

Tabel 8-2 viser, hvorledes initialsandfodringen tænkes fordelt over 3 år. Der er i prioriteringen lagt vægt på at hele kysten skal få glæde af sandfodringen så hurtigt som muligt. Desuden skal initialsandfodringerne de 3 første år være nogenlunde lige store af hensyn til finansieringen.

Forslag 1				
Strækning	Profil [Nr]	Volumen [m³/m]	Længde [m]	Volumen [m³]
Tisvilde til Helene Kilde	8	70	1,250	87,500
Melbys Vænge til Klitgårdsvænget	8	70	2,850	199,500
Rågeleje vest	10	54	500	27,000
Rågeleje øst	12	175	900	157,500
Kampenhaug til Langestykket	14	70	900	63,000
Tinkerupvej til Gilbjerg Ferieby	15	41	800	32,800
Gilleleje Havn til Strandbakkerne	GH	64	800	51,200
Sandfodringsmængde I alt		[m ³]		618,500
Anstilling med rørledninger mm		[stk]		10
Enhedspriser				
		[kr/enhed]		[kr]
Sand		50		30,925,000
Anstilling med rørledninger mm		100000		1,000,000
Subtotal før mobilisering mm				31,925,000
Mobilisering af arbejdsplads / år	4,0%			1,277,000
Kyststudier og projektering	4,0%			1,277,000
Opmåling før start og hvert år	2,5%			798,125
Opfølgning, udbud og monitoring	2,5%			798,125
Uforudsete udgifter	3,0%			957,750
Anlægsbudget				37,033,000

Tabel 8-1 Prisoverslag på Forslag 1 - Samlet

Forslag 1			År 1	År 2	År 3
Strækning	Profil [Nr]	Volumen [m³/m]	Volumen [m³]	Volumen [m³]	Volumen [m³]
Tisvilde til Helene Kilde	8	70	87,500		
Melbys Vænge til Klitgårdsvænget	8	70	66,500		133,000
Rågeleje vest	10	54	27,000		
Rågeleje øst	12	175	26,250	78,750	52,500
Kampenhaug til Langestykket	14	70		63,000	
Tinkerupvej til Gilbjerg Ferieby	15	41		32,800	
Gilleleje Havn til Strandbakkerne	GH	64	25,600		25,600
Sandfodringsmængde I alt		[m ³]	232,850	174,550	211,100
Anstilling med rørledninger mm		[stk]	4	3	3
Enhedspriser					
		[kr/enhed]	[kr]	[kr]	[kr]
Sand		50	11,642,500	8,727,500	10,555,000
Anstilling med rørledninger mm		100000	400,000	300,000	300,000
Subtotal før mobilisering mm			12,042,500	9,027,500	10,855,000
Mobilisering af arbejdsplads / år	4,0%		481,700	361,100	434,200
Kyststudier og projektering	4,0%		1,277,000		
Opmåling før start og hvert år	2,5%		301,063	225,688	271,375
Opfølgning, udbud og monitoring	2,5%		301,063	225,688	271,375
Uforudsete udgifter	3,0%		361,275	270,825	325,650
Anlægsbudget			14,764,600	10,110,800	12,157,600

Tabel 8-2 Prisoverslag på Forslag 1 - fordelt over tre år

8.2 Sandfodring på Nordkysten - Forslag 2

Forslag 2 omhandler en række kyststrækninger, som er egnede til initialsandfodring og hvor behovet for kystgenopretning er stort. Derudover indeholder forslaget anbefalinger for et mindre antal kystbeskyttelseskonstruktioner. Konstruktionernes funktion er at holde på sandstranden på udsatte steder, hvor man ønsker at skabe en permanent fremrykning af sandstranden. Konstruktionerne kan reducere vedligeholdelsen af sandfodringen på de beskyttede strækninger og modvirke, at der dannes en stenbrolægning på stranden, som kan være tilfældet når sedimentet får lov til at erodere uhindret. Konstruktionerne er ikke medregnet i prisoverslaget, da den hårde kystbeskyttelse administreres af de enkelte kystlag og således ikke skal finansieres af sandfodringsprojektet.

I lighed med Forslag 1 foreslås sandfodringen at starte ved Tisvildeleje Bølgebryderen og strække sig mod øst til stien ved Helene Kilde (1250m). Det kan overvejes at udlægge en fodsikring af sten foran den høje lodrette betonmur for at reducere bølgerefleksionen og derved beskytte mod stormskader. Der er mange små konstruktioner på strækningen, som bør saneres for at kunne holde på en del af det sand der udlægges på strækningen og derved forøge den rekreative værdi af sandfodringen og give en mere vedvarende beskyttelse af skråningerne.

Generelt er stranden fra Melby Vænge til Klitgårdsvænget ved Vincentstien i dårlig forfatning på en 2850m lang strækning. De eksisterende kystbeskyttelseskonstruktioner er generelt i dårlig forfatning både med hensyn til konstruktionernes dimensioner og indbyrdes afstand. Det anbefales derfor at sandfodre på denne strækning for at øge beskyttelsen og skråningerne og forbedre den rekreative værdi af stranden. Konstruktionerne på strækningen bør også saneres for at øge den rekreative værdi af stranden og for bedre at kunne stabilisere stranden .

Ved Vincentstien er stranden forsvundet helt og der er problemer med skrænterosion ved enden af den eksisterende skråningsbeskyttelse, som kan true bebyggelsen langs toppen af skrånningen. For at holde på sandet foran husene ved Vincentstien anbefales det at etablere en ny bølgebryder. Det kan desuden være nødvendigt at forlænge skråningsbeskyttelsen for at stabilisere klinten foran de mest udsatte huse.

For at forøge den rekreative værdi af kysten ved Strandbjerggård kan det overvejes at fjerne resterne af de små høfder, der i dag har begrænset kystteknisk effekt. Herved kan den smukke strækning føres tilbage til sin naturlige fremtoning uden menneskeskabte konstruktioner. Dette kan medføre begrænset erosion af den stærke ralstrandvold, men det vurderes ikke at ville medføre større problemer, da der ikke er bebyggelse umiddelbart bagved.

Kommunen har udtrykt ønske om at sandfodre ved Strandbjerggård, for at udnytte de rekreative muligheder langs den naturlige kyststrækning med åbent bagland. Det foreslås derfor at fodre på en 500m lang strækning for at øge den rekreative værdi af stranden. Da bølgeindfaldsvinklen er forholdsvis stor på

strækningen, som i dag er domineret af sten, må det forventes at en sandstrand på denne strækning vil kræve en del vedligeholdelse.

Rågeleje Bølgebryderen har gennem tiden medført betydelig læsideerosion, der i dag truer stabiliteten af den store betonpromenade langs kystvejen. Der er således et behov for at styrke stranden foran betonmuren. Desuden er der i Rågeleje et stort rekreativt potentiale med gode parkeringsforhold. Det anbefales derfor at sandfodre ved Rågeleje. Sandfodringen startes 500 m vest for Rågeleje Molen og strækker 900m øst for Molen op mod Rågeleje Strandpark på en i alt 1400m lang strækning.

Da kystprofilen er stejlere på den østlige del af strækningen mellem Rågeleje Molen og Trillingerne kan det overvejes at fodre med groft sand på denne strækning. En sådan sandfodring vil udover at skabe en attraktiv strand også beskytte kystvejen, som ofte har været udsat for stormskader.

For at minimere problemer med sandfygning skal den eksisterende vegetation på kystsiden af Kystvejen bevares og måske udbygges lokalt. Dette kan medføre, at der med tiden dannes små klitter.

For at forbedre effekten af sandfodringen og derved nedsætte vedligeholdelsen af fodringsindsatsen kan der etableres to konstruktioner i nærheden af den store betonpromenade ved Rågeleje. Konstruktionerne kunne opbygges som lavvandede flak, der er landfast med lave høfder. Denne type konstruktion vil kunne sikre optimal sandtransport langs kysten og samtidig benyttes rekreativt til surfing, som er en populær vandsportsaktivitet i Rågeleje.

Desuden kan den gamle bølgebryder ved Rågeleje ombygges til et rev til surfing. Dette kan ske ved, at vanddybden henover konstruktionen forøges og det overskydende stenmateriale udlægges foran. Der kan således skabes bølgeforhold, som er sikkerhedsmæssige forsvarlige og optimale for surfing. Revet vil kunne medvirke til at øge den rekreative værdi af kysten i Rågeleje samtidig med at beskyttelsen af kysten bevares.

De eksisterende nedslidte træhøfder umiddelbart øst for Rågeleje bør fjernes, da de ingen kystteknisk funktion har og desuden skæmmer stranden.

De foreslåede konstruktioner er ment som erstatning af de eksisterende nedslidte høfder. De mere velholdte træhøfder vest for Trillingerne bibeholdes.

Øst for kystfremspringet ved Kampenhaug er stranden forsvundet og der ligger nu kun en uskøn stenskråning med en lang række nedslidte og mere eller mindre virkningsløse konstruktioner ude i vandet og på stranden. Der er flere store og effektive skråningsbeskyttelser på strækningen, men den rekreative værdi af strækningen er meget begrænset. Det anbefales at sandfodre på en 900m lang strækning fra Havstokken til Langestykket for at genoprette stranden og derved øge den rekreative værdi af strækningen. De eksisterende konstruktioner på stranden og i vandet bør saneres og for de flestes vedkommende fjernes, før der etableres sandfodring. For at stabilisere den nye sandstrand og derved reducere vedligeholdelsesudgifterne anbefales det at etablere en ny konstruktion umid-

delbart vest for Langestykket. Der kan eventuelt dannes et lavvandet flak forbundet med en lav høfde, som kan være med til at holde på sandet på strækningen og genskabe den fri passage langs kysten uden om den fremskudte skråningsbeskyttelse ved Strandbakkevej.

For at udbygge sandstranden i Tinkerup foreslås det at fodre på strækningen mellem Tinkerupvej og Feriebyen (800m). Dette vil genoprette stranden mellem de små bølgebrydere, hvor der i dag kun er en smal strand.

Den østligste bølgebryder ved Feriebyen flyttes lidt mod øst og ombygges til en høfde, som kan medvirke til at holde på en del af strandet på strækningen vest for. Da der er ekstra nyt sand på stranden vest for forventes det ikke, at der kommer nævneværdig læsideerosion øst for konstruktionen.

Gilleleje Havn har med tiden medført betydelig læsideerosion øst for havnen ned mod Nakkehoved Fyr, som har betydet, at stranden generelt er stenet. Der er i dag ikke strand på en stor del af kysten mellem Strandbakkerne og Nakkehoved Fyr. Bølgerne har et skråt indfald på kysten øst for havnen, hvilket betyder, at den kystparallelle materialetransport er betydelig.

For at forbedre de rekreative muligheder øst for Gilleleje Havn, foreslås det at udvide sandfodringen til at dække hele strækningen mellem Gilleleje Havn og Strandbakkerne (800m). For at øge levetiden af sandføringen øst for Gilleleje Havn foreslås det at omlægge to eller tre af de eksisterende bølgebrydere, således at tabet af sand reduceres og der derved stadig vil være sand på strandene efter nogle år uden fodring.

En del af sandfodringen vil dog gradvist eroderes bort og vandre ned langs stranden og på første revle mod Dronningmølle. Dette kan øge mængden af sand på stranden i Munkerup. Der er dog et stejlt kystprofil ved Nakkehoved Fyr, som betyder at en del af sandet kan tabes ud på dybt vand.

Det kan desuden overvejes at sandfodre ved Munkerup på en 1400 m lang strækning mellem Jacobslystvej og Munkerup Have for at øge den rekreative værdi af stranden her og øge beskyttelsen af kysten. Sedimenttransportkapaciteten vurderes dog at være stor som følge af den store bølgeindfaldsvinkel på strækningen, hvilket betyder, at tabet af sand langs kysten må forventes at være betydelig. Omvendt er den inderste del af kystprofilet forholdsvis fladt ved Munkerup, hvilket kan medvirke til at reducere den kystparallelle materialevandring.

Tabel 8-3 viser en oversigt over prisoverslaget for Forslag 2. Forslag omfatter 700.000 m³ sand fordelt over 6 fodringsstrækninger. Den samlede anlægspris er estimeret til 41,5 mio. kr. eksklusiv moms.

Tabel 8-4 viser hvorledes initialsandfodringen tænkes fordelt over 3 år. Der er i prioriteringen lagt vægt på at hele kysten skal få glæde af sandfodringen så hurtigt som muligt. Desuden skal initialsandfodringerne de 3 første år være nogenlunde lige store af hensyn til finansieringen.

Forslag 2				
Strækning	Profil [Nr]	Volumen [m³/m]	Længde [m]	Volumen [m³]
Tisvilde til Helene Kilde	8	70	1,250	87,500
Melbys Vænge til Klitgårdsvænget	8	70	2,850	199,500
Strandbjerggård	10	54	500	27,000
Rågeleje vest	10	54	500	27,000
Rågeleje øst	12	175	900	157,500
Kampenhaug til Langestykket	14	70	900	63,000
Tinkerupvej til Gilbjerg Ferieby	15	41	800	32,800
Gilleleje Havn til Strandbakkerne	GH	64	800	51,200
Munkerup	MU	33	1,400	46,200
Sandfodringsmængde I alt			<i>[m³]</i>	691,700
Anstilling med rørledninger mm			<i>[stk]</i>	12
Enhedspriser			<i>[kr/enhed]</i>	<i>[kr]</i>
Sand		50		34,585,000
Anstilling med rørledninger mm		100000		1,200,000
Subtotal før mobilisering mm				35,785,000
Mobilisering af arbejdsplads / år	4,0%			1,431,400
Kyststudier og projektering	4,0%			1,431,400
Opmåling før start og hvert år	2,5%			894,625
Opfølgning, udbud og monitorering	2,5%			894,625
Uforudsete udgifter	3,0%			1,073,550
Anlægsbudget				41,510,600

Tabel 8-3 Prisoverslag på Forslag 2 - Samlet

Forslag 2			År 1	År 2	År 3
Strækning	Profil [Nr]	Volumen [m³/m]	Volumen [m³]	Volumen [m³]	Volumen [m³]
Tisvilde til Helene Kilde	8	70	87,500		
Melbys Vænge til Klitgårdsvænget	8	70	99,750		99,750
Strandbjerggård	10	54			27,000
Rågeleje vest	10	54	27,000		
Rågeleje øst	12	175	26,250	52,500	78,750
Kampenhaug til Langestykket	14	70		63,000	
Tinkerupvej til Gilbjerg Ferieby	15	41		32,800	
Gilleleje Havn til Strandbakkerne	GH	64	25,600		25,600
Munkerup	MU	33		46,200	
Sandfodringsmængde I alt			<i>[m³]</i>	266,100	194,500
Anstilling med rørledninger mm			<i>[stk]</i>	4	4
Enhedspriser			<i>[kr/enhed]</i>	<i>[kr]</i>	<i>[kr]</i>
Sand		50	13,305,000	9,725,000	11,555,000
Anstilling med rørledninger mm		100000	400,000	400,000	400,000
Subtotal før mobilisering mm				13,705,000	11,955,000
Mobilisering af arbejdsplads / år	4,0%		548,200	405,000	478,200
Kyststudier og projektering	4,0%		1,431,400		
Opmåling før start og hvert år	2,5%		342,625	253,125	298,875
Opfølgning, udbud og monitorering	2,5%		342,625	253,125	298,875
Uforudsete udgifter	3,0%		411,150	303,750	358,650
Anlægsbudget			16,781,000	11,340,000	13,389,600

Tabel 8-4 Prisoverslag på Forslag 2 - fordelt over tre år

8.3 Vedligeholdelsesfodring

Det samlede underskud af sand som følge af den kystparallel transport vurderes at være i størrelsesorden 40.000 til 50.000 m³/år mellem Tisvilde og Gilbjerg Hoved, se Figur 4-14. Det samlede underskud af sand øst for Gilleleje vurderes at være i størrelsesordenen 15.000 til 25.000 m³/år. Dette tab skyldes Gilleleje Havn og kan reduceres eller helt elimineres, hvis der løbende foretages flytning af sand fra vestsiden af havnen til østsiden.

For at opretholde en bred sandstrand på Nordkysten i Gribskov Kommune vurderes det således samlet set, at der efter initialfodringen skal vedligeholdelsesfodres med i størrelsesordenen 50.000-60.000 m³/år, se Tabel 8-3.

Det vurderes, at en stor del af vedligeholdelsesfodringerne med fordel skal udføres i den vestlige ende af kommunens strækning for at komme hele kommunens kyst til gode, se Tabel 8-3. Desuden skal der fodres på udsatte lokaliteter.

For at opretholde en attraktiv sandstrand øst for Gilleleje Havn skal der også vedligeholdelsesfodres her. I fremtiden bør det sand, der oprenses i sejlrenden ved Gilleleje Havn benyttes som sandfodring øst for havnen. Dette vil kunne øge den rekreative værdi af kysten ned mod Munkerup og samtidig reducere vedligeholdelsesbehovet med sand importeret udefra.

Vedligeholdelsesfodring efter		1 år	2 år	3 år
Strækning		<i>Volumen [m³]</i>	<i>Volumen [m³]</i>	<i>Volumen [m³]</i>
Tisvilde til Helene Kilde		25,000	50,000	75,000
Rågeleje vest		15,000	30,000	45,000
Gilleleje Havn til Strandbakkerne		15,000	30,000	45,000
Sandfodringsmængde I alt	<i>[m³]</i>	55,000	110,000	165,000
Anstilling med rørledninger mm	<i>[stk]</i>	3	3	3
Enhedspriser		<i>[kr]</i>	<i>[kr]</i>	<i>[kr]</i>
Sand	<i>[kr/enhed]</i>	55	53	50
Anstilling med rørledninger mm	100000	3,025,000	5,830,000	8,250,000
Subtotal før mobilisering mm		3,325,000	6,130,000	8,550,000
Mobilisering af arbejdsplads		250,000	250,000	250,000
Kyststudier og projektering		250,000	250,000	250,000
Opmåling		150,000	150,000	150,000
Opfølgning, udbud og monitoring		175,000	175,000	175,000
Uforudsete udgifter		200,000	200,000	200,000
Anlægsbudget samlet		4,350,000	7,155,000	9,575,000
Anlægsbudget per år		4,350,000	3,577,500	3,192,000

Tabel 8-5 Prisoverslag på vedligeholdelsesfodring efter 1, 2 eller 3 år

For at optimere vedligeholdelsesindsatsen anbefales det at udføre større vedligeholdelsesfodringerne med 2 til 3 år mellemrum for at kunne reducere mobiliseringsomkostningerne og derved fodre med større mængder ad gangen så prisen per indpumpet m³ sand bliver reduceret.

På lidt længere sigt vil en del af det indpumpede sand passere grænsen til Helsingør Kommune. Det vil derfor være formålstjenligt, hvis sandfodringsprojektet udvides til at omfatte Helsingør Kommune som minimum.

9 Sammenfatning

Der er udarbejdet skitseprojekt for en regional og koordineret sandfodring på Nordkysten af Sjælland langs udvalgte strækninger på Gribskov Kommunes 28 km lange kyst.

Strandene i Nordsjælland har gennem tiden været udsat for vedvarende kysterosion. Kysttilbagerykningen har medført, at sandstrandene flere steder er forsvundet eller nu er dækket af sten.

For at beskytte bebyggelsen langs kysten er der gennem tiden etableret utallige skråningsbeskyttelser, høfder og bølgebrydere af varierende kvalitet. De eksisterende anlæg er mange steder nedslidte og har ofte ikke kunnet fastholde en attraktiv sandstrand.

Formålet med skitseprojektet for sandfodringsprojektet på Nordkysten har været at give Gribskov Kommune et overordnet kystteknisk gennemarbejdet materiale, som kan danne grundlag for en politisk beslutning vedrørende form og omfang af en regional og koordineret sandfodring langs kommunens kyststrækning.

Sandfodringen sigter mod at genskabe sandstrandene i Gribskov Kommune og forøger herved beskyttelsen af kysten, som supplement til den eksisterende hårde kystbeskyttelse. Sandfodringsprojektet har desuden karakter af naturgenopretning og forøger den rekreative værdi af kysten. Sandfodringen øger samtidig den æstetiske værdi af kysten ved at dække en del af den eksisterende hårde og nedslidte kystbeskyttelse.

Projektet omfatter ikke sanering af den eksisterende hårde kystbeskyttelse, som administreres af de enkelte kystsikringslag. Projektet lægger dog op til, at der bør ryddes op i de uvirksomme hårde anlæg før en kommende initialsandfodring for at sikre en høj rekreativ værdi af strandene fremover og optimal udnyttelse af sandfodringerne til at beskytte kysten mod erosion.

Baseret på kystinspektionerne og den kysttekniske analyse og vurdering, er der opstillet 2 alternative forslag til sandfodring langs Gribskov Kommunes kyst.

Forslagene tager højde for de forskellige naturforhold, der gør sig gældende på strækningen. Fodringsindsatsen foreslås delt op på en række delstrækninger for at komme så mange som muligt til gode fra starten.

De to skitseforslag lever op til kommunens målsætning for sandfodringsprojektet i kystteknisk henseende.

Skitseprojektet har vist, at sandfodring er en brugbar metode til at genskabe sandstrandene på Nordkysten. De anvendte eksisterende kystprofiler er generelt tilstrækkelige flade til at sandfodringsprofilet vil have en begrænset udstrækning i forhold til den maksimale længde bestemt ud fra den aktive dybde. Analysen af kystprofilerne viser, at de påkrævede sandfodringsmængder generelt er realistiske i forhold til at beskytte Nordkysten i kommunen.

Der er dog en række udsatte lokaliteter, hvor kystprofilet er for stejlt til at sandfodring er en optimal løsning, så som ved Rågeleje Strandpark, Gilbjerg Hoved og Nakkehoved. Sådanne strækninger er ikke prioriteret i forbindelse med skitseforslagene for initialsandfodringen.

Gribskov Kommune ligger med sine 28 km langs kyststrækning mellem Halsnæs og Helsingør Kommuner. Naturen er således indrettet, at sandfodringsprojektet ikke vil indvirke negativt på kysten i de nærliggende kommuner. Grundet den overordnede østgående transport vil sandfodringen overhovedet ikke påvirke situationen i Halsnæs kommune, men på sigt vil det have en gavnlig virkning i Helsingør Kommune, da fodringsandet på sigt vil transporteres over kommunegrænsen mod øst.

Sandfodringen skal vedligeholdes med års mellemrum for at erstatte tabet af sand langs kysten som følge af den kystparallelle nettotransport fra vest mod øst. Materialevandringen betyder dog også, at hele kysten vil få glæde af sandfodringsindsatsen på de prioriterede strækninger.

I fremtiden bør det sand der oprenses i sejlrenden ved Gilleleje Havn benyttes som sandfodring øst for havnen. Dette vil kunne øge den rekreative værdi af kysten ned mod Munkerup. På lidt længere sigt vil en del af det indpumpede sand passere grænsen til Helsingør Kommune.

Sediment transporten på Nordkysten af Sjælland er gennemgående fra vest mod øst. De kysttekniske problematikker er generelt de samme langs hele kysten. Det vil derfor være formålstjenligt, hvis sandfodringsprojektet udvides til både at inkludere Halsnæs, Gribskov og Helsingør kommune, som alle ligger i den samme sedimentcelle.

Sandfodringen vil kunne medvirke til at bevare sandstrandene i takt med en moderat global havspejlstigning, som følge af menneskeskabte klimaændringer. Såfremt der ikke sandfodres vil sandstrandene gradvist forsvinde langs Nordkysten og presset på den eksisterende hårde kystbeskyttelse stige i takt med havspejlet.

10 Litteraturliste

- Ref. /1/ *www.Dendanskehavnelods.dk*
- Ref. /2/ *Kystdirektoratet (2007) Højvandsstatistikker. KDI*
- Ref. /3/ *IPCC Fourth Assessment Report.
Working Group I Report "The Physical Science Basis"
Technical Summary
<http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-ts.pdf>*
- Ref. /4/ *Hurdle and Stive (1988) Revision of SPM1984 Wave Hindcast Model to Avoid Inconsistencies in Engineering Applications. Coastal Engineering 12.*
- Ref. /5/ *Komar P.D (1998) Beach Processes and Sedimentation. Prentice Hall*
- Ref. /6/ *Mangor, Karsten (2004) Shoreline Management Guidelines. DHI*
- Ref. /7/ *Biering Erik (2007) Gribskov Kommunes kyst mod Kattegat og Øresund. En rapport om strande og kystbeskyttelse*
- Ref. /8/ *Hostrup-Schultz og Sørensen (1978) Nordkysten, Kystpleje og kystsikring. Basisrapport. Fællesudvalget for kystpleje og kystsikring på Nordkysten*
- Ref. /9/ *Hostrup-Schultz og Sørensen (1978) Nordkysten, Kystpleje og kystsikring. Skitseforslag. Fællesudvalget for kystpleje og kystsikring på Nordkysten*
- Ref. /10/ *Climate change research - Danish contributions
Danish climate centre
DMI 2001*
- Ref. /11/ *Professor Stefan Rahmstorf, Potsdam universitet
Foredrag i COWI 11 maj 2009.*
- Ref. /12/ *Dean R. G (2001) Beach Nourishment - Theory and Practice. World Scientific.*

Bilag 1: Ekstremvandstande målt i Hornbæk

DATO	DNN (cm)	DVR90 (cm)	TRENDFRI (cm)
1. januar 1922	179	173	177
7. november 1985	170	164	164
18. december 1921	164	158	162
2. november 1921	160	154	158
4. oktober 1927	152	146	150
20. november 1973	155	149	150
10. oktober 1923	149	143	147
10. september 1903	144	138	143
16. december 1982	147	141	141
30. januar 1892	139	133	139
5. december 1967	144	138	139
11. januar 1995	145	139	139
25. november 1981	143	137	138
6. december 1895	137	131	137
23. oktober 1948	139	133	136
22. december 1954	140	134	136
29. december 1986	142	136	136
10. september 1924	137	131	135
12. oktober 1929	137	131	135
17. februar 1962	139	133	135
15. februar 1989	141	135	135
30. januar 2000	141	135	134
10. oktober 1926	135	129	133
27. februar 1990	139	133	133
1. november 2006	139	133	132
5. december 1899	131	125	131
18. september 1948	134	128	131
22. november 1903	131	125	130
1. februar 1905	131	125	130
16. januar 1896	129	123	129
28. september 1914	130	124	129
25. november 1964	133	127	129
29. januar 2002	136	130	129
14. december 1912	129	123	128
9. oktober 1930	129	123	127
22. oktober 1971	132	126	127
21. februar 1953	129	123	125
14. marts 1992	131	125	125
5. februar 1999	132	126	125
8. januar 2005	132	126	125

Bilag 2: Tegninger